

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROMORFOLÓGICOS DA  
ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
DISTROFÉRICO TÍPICO SUBMETIDO AO MANEJO  
AGRÍCOLA**

**LAURA FERNANDA SIMÕES DA SILVA**

CAMPINAS  
JULHO DE 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROMORFOLÓGICOS DA  
ESTRUTURA DE UM LATOSSOLO VERMELHO  
DISTROFÉRICO TÍPICO SUBMETIDO AO MANEJO  
AGRÍCOLA**

Tese de Doutorado submetida à banca  
examinadora para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Agrícola, na Área de  
Concentração Água e Solo.

**Laura Fernanda Simões da Silva**  
Orientadora: Dra. Mara de Andrade Marinho  
Co-Orientador: Dr. Edson Eiji Matsura

CAMPINAS  
JULHO DE 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -  
UNICAMP

Si38a Silva, Laura Fernanda Simões da  
Atributos físicos e micromorfológicos da estrutura de  
um Latossolo Vermelho distroférico típico submetido  
ao manejo agrícola / Laura Fernanda Simões da Silva. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: Mara de Andrade Marinho, Edson Eiji  
Matsura.

Tese de Doutorado - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Solos - Classificação. 2. Solos - Composição. 3.  
Solos - Manejo. 4. Latossolos. 5. Plantio direto. I.  
Marinho, Mara de Andrade. II. Matsura, Edson Eiji. III.  
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de  
Engenharia Agrícola. IV. Título.

Título em Inglês: Physical and micromorphological attributes of the structure  
of a Rhodic Hapludox under agricultural management

Palavras-chave em Inglês: Soils - Classification, Soils - Composition, Soils -  
Management, Oxisols, No-Tillage

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Doutor em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Antonio Paz Gonzalez, Carlos Roberto Espíndola,  
Zigomar Menezes de Souza, Ricardo Ralisch

Data da defesa: 22-07-2011

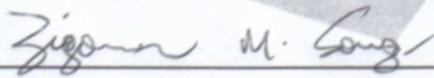
Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Tese de Doutorado** defendida por **Laura Fernanda Simões da Silva**, aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de julho de 2011, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

  
\_\_\_\_\_  
**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Mara de Andrade Marinho – Presidente e Orientadora**  
**Feagri/Unicamp**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Antonio Paz Gonzalez - Membro Titular**  
**Universidad de Coruña - Espanha**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola - Membro Titular**  
**IG/Unicamp**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza - Membro Titular**  
**Feagri/Unicamp**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ricardo Ralisch - Membro Titular**  
**UEL**

## A ÁGUIA E AS GALINHAS

"Um camponês criou um filhotinho de águia junto com suas galinhas. Tratando-a da mesma maneira que tratava as galinhas, de modo que ela pensasse que também era uma galinha. Dando a mesma comida jogada no chão, a mesma água num bebedouro rente ao solo, e fazendo-a ciscar para complementar a alimentação, como se fosse uma galinha.

E a águia passou a se portar como se galinha fosse.

Certo dia passou por sua casa um naturalista, que vendo a águia ciscando no chão, foi falar com o camponês:

- Isto não é uma galinha, é uma águia! O camponês retrucou:

- Agora ela não é mais uma águia, agora ela é uma galinha!

O naturalista disse:

- Não, uma águia é sempre uma águia, vamos ver uma coisa...

Levou-a para cima da casa do camponês e elevou-a nos braços e disse:

- Voa, você é uma águia, assuma sua natureza!

- Mas a águia não voou, e o camponês disse:

- Eu não falei que ela agora era uma galinha!

O naturalista disse:

- Amanhã, veremos...No dia seguinte, logo de manhã, eles subiram até o alto de uma montanha.

O naturalista levantou a águia e disse:

- Águia, veja este horizonte, veja o sol lá em cima, e os campos verdes lá em baixo, veja, todas estas nuvens podem ser suas.

Desperte para sua natureza, e voe como águia que és...

A águia começou a ver tudo aquilo, e foi ficando maravilhada com a beleza das coisas que nunca tinha visto, ficou um pouco confusa no início, sem entender o porquê tinha ficado tanto tempo alienada.

Então ela sentiu seu sangue de águia correr nas veias, perfilou, devagar, suas asas e partiu num vôo lindo, até que desapareceu no horizonte azul."

Criam as pessoas como se galinhas fossem, porém, elas são águias. Por isso, todos podem voar, se quisermos. Voe cada vez mais alto, não se contente com os grãos que lhe jogam para ciscar.

Porém não podemos nos limitar a sermos somente galinha ou somente águia. Como galinhas somos seres concretos e históricos, mas jamais devemos esquecer nossa abertura infinita, nossa paixão indomável, nosso projeto infinito, nossa dimensão águia. Se não buscarmos o impossível (a águia) jamais conseguiremos o possível (a galinha).

(Do livro **A águia e a galinha, a metáfora da condição humana** de Leonardo Boff, 1997)

## ***DEDICO***

Aos meus pais

***Maria Adelaide Simões da Silva***

***Raimundo Nonato da Silva***

Que apesar de todos obstáculos que a vida lhes proporcionou, nunca perderam as esperanças e continuaram lutando por uma vida melhor e, foram fontes de sabedoria, entusiasmo, carinho, confiança e formadores do meu caráter.

## ***OFEREÇO***

As minhas irmãs e irmão

***Amanda C. Simões da Silva***

***Bárbara C. Simões da Silva***

***Augusto N. Simões da Silva***

Que nestes anos me apoiaram e acreditaram nesta conquista.

## AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa só pôde ser realizada graças ao apoio e a colaboração de amigos e colegas e algumas instituições, com os quais tive imenso prazer e o privilégio de conviver. Dessa forma, gostaria de agradecer a:

A vida, pois, pela sua grandiosa sabedoria e simples complexidade permitiu-me evoluir nas de experiências, algumas vezes dolorosas, outras interessantes e até mesmo engraçadas.

Meus pais, Maria Adelaide Simões da Silva e Raimundo Nonato da Silva, que, durante toda minha vida, sempre estiveram disponíveis para ajudar quando fosse ou não preciso. Não posso deixar de mencionar, neste momento tão importante da minha vida, que eu os amo muito e que daria minha vida, se assim pudesse, como forma de demonstração desse imenso amor e carinho que sinto.

A minhas queridas irmãs, Amanda e Bárbara (minhas melhores amigas) uma mescla de alegria desordenada e sensibilidade com o que passei meus melhores momentos (infância, adolescência, graduação, pós-graduação, festas...afinal considero que tenho amigas para sempre).

Meus orientadores e amigos, Dra. Mara de Andrade Marinho e Dr. Edson Eiji Matsura, pela confiança depositada e orientação, imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho.

O professor Dr. Ricardo Ralisch da Universidade Estadual de Londrina (UEL), pelos ensinamentos e sugestões da técnica do perfil cultural.

O professor Dr. Miguel Cooper da Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” (ESALQ), pela colaboração na análise das lâminas e ensinamentos transmitidos na área de estudo de micromorfologia, pela atenção dada e oportunidades de uso do Laboratório de Microscopia do Departamento de Solos da ESALQ.

O professor Dr. Brivaldo de Almeida Gome, da Universidade Federal Rural de Permanbuco (UFRPE) e a técnica Sônia, da Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz” (ESALQ) pela ajuda na confecção das lâminas e blocos.

O professor Dr. José Aguilar da Universidade de Granada, pelo aceite em me receber como sua última estagiária ao longo de sua carreira, pelo acompanhamento e ensinamentos, pelo carinho e atenção sempre dispensados, pela amizade consolidada e pelos agradáveis momentos proporcionados.

O grupo de Edafologia y Química Agrícola de la Universidade de Granada ( José Aguilar, Emilia Fernández, Olga Maria, Noelia Jiménez, Elena, Francisco Martín, Carlos Dorronsoro, Manuel Sierra, Manuel Sánchez, Francisco Javier, Yolanda Matínez, Manuela Rodrigo), pela acolhida, apoio e infra-estrutura, amizade, companheirismo, marchas, tapas e sobretudo agradável momentos compartilhados. Viva Andaluzia!

Os amigos da pós-graduação da FEAGRI/UNICAMP: Tânia, Marcio, Douglas, Welligton, Eder, Roger, Vânia, Rojane, Michele Picoli, Michele Cotta, Lorena, Gilka, Fernando, Gustavo, Ronny e Franciana pelo convívio diário, que jamais serão esquecidos, pela paciência, compreensão e, sobretudo pelo companheirismo.

O Anderson pela paciência, companheirismo e boa vontade com que sempre se dispôs ativamente a colaborar nas atividades do projeto.

Os meus amigos de pós-graduação da ESALQ/ USP: Mariana, Selene, Raul, Renata Bovi, Renata Momoli e Thalita, pela agradável convivência em Piracicaba.

As moradoras da república: Paula, Helen, Giovana e Deborah pela amizade e apoio que recebi durante todos esses anos.

Os funcionários Antonio Donizete, Antonio Freire, Carlos Roberto, João Costa e Jamilson, pela contribuição no desenvolvimento das atividades de campo.

O técnico Agmon Rocha, pela amizade e inúmeras horas dedicadas ao meu computador.

A coordenadoria de Pós-Graduação e a área de concentração Água e Solo do Programa de Engenharia Agrícola/FEAGRI/UNICAMP, pela oportunidade de cursar o Doutorado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa cedida no país e no exterior (Doutorado Sanduíche/ Processo BEX 5564/09-03).

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa cedida e pelo apoio financeiro ao projeto com recursos do MCT/CNPq Edital Universal 14/2008/ processo 477605/2008.

Todos os pesquisadores e funcionários da Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI pelos conhecimentos técnicos e de vida transmitidos.

Enfim, todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE TABELAS.....	xix
LISTA DE TABELAS.....	xix
RESUMO.....	xx
ABSTRACT .....	xxii
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. HIPÓTESES .....	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. Objetivo Geral .....	3
3.2 Objetivos Específicos .....	3
4. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
4.1. Qualidade do solo .....	4
4.2. Indicadores físicos de qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo.....	6
4.3. Perfil Cultural .....	9
4.4. Micromorfologia e análise de imagens.....	15
4.5. Referencias bibliográficas .....	20
5. DESENVOLVIMENTO DA TESE .....	33
5.1. Caracterização morfológica e físico-hídrica de unidades morfológicamente homogêneas caracterizadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Rhodic Hapludox) submetido a dois sistemas de manejo agrícola .....	33
RESUMO.....	33
5.1.1. INTRODUÇÃO.....	35
5.1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
5.1.2.1. Localização e descrição da área de estudo .....	37
5.1.2.2. Histórico de uso das parcelas experimentais (1990-2003 e 2003-Atual) .....	38
5.1.2.3. Referências para os atributos analisados .....	43
5.1.2.4. Caracterização dos perfis culturais em cada sistema de manejo e na parcela Memória .....	43
5.1.2.5. Atributos físicos e hídricos das UMH's .....	47
5.1.2.5.1. Análise Granulométrica e Densidade de partículas (Dp) .....	47

5.1.2.5.2. Curva de retenção de água no solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	47
5.1.2.6. Análises Estatísticas dos dados.....	48
5.1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1.3.1. Perfil cultural e as Unidades Morfológicamente Homogêneas - UMH's.....	49
5.1.3.1.1. Parcela Memória (Referência da condição estrutural do solo após ser mantido em pousio sob revegetação natural durante mais de 20 anos).....	49
5.1.3.1.2. Parcela P1 Sistema Plantio Direto (SPD).....	54
5.1.3.1.3. Parcela P8 Sistema Convencional(SC).....	60
5.1.3.2. Atributos físicos e hídricos das UMH's .....	65
5.1.3.2.2. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade.....	67
5.1.4. CONCLUSÃO.....	74
5.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
5.2. Micromorfologia e micromorfometria de unidades estruturais morfológicamente homogêneas caracterizadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Rhodic Hapludox) cultivado sob dois sistemas de manejo agrícola.....	81
RESUMO.....	81
5.2.1. INTRODUÇÃO.....	83
5.2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	85
5.2.2.1. Análises Micromorfológicas.....	85
5.2.2.1.1. Coleta e preparação de amostras para análise micromorfológica.....	85
5.2.2.1.2. Descrição e interpretação das lâminas delgadas.....	89
5.2.2.1.3 Análise de imagens.....	89
5.2.2.1.4. Análises Estatísticas dos dados.....	93
5.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
5.2.3.1. Descrições micromorfológicas dos solos .....	93
5.2.3.1.1. Perfil de solo da Parcela Memória.....	93
5.2.3.1.2. Perfil cultural sob Sistema Plantio Direto (SPD) (Parcela P1).....	104
5.2.3.1.3. Perfil cultural sob Sistema Convencional (SC) (Parcela P8) .....	109
5.2.3.2. Caracterização micromorfométrica do espaço poral de amostras indeformadas de solo por análise de imagens.....	113

5.2.3.2.1. Porosidade do solo (computada pela área da lâmina ou do bloco ocupada por macro e mesoporos em relação à área total da lâmina).....	113
5.2.3.2.2. Tamanho e forma dos poróides .....	119
5.2.3.2.3. Distribuição dos poros .....	126
5.2.1.4. CONCLUSÃO.....	133
5.2.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	134
5.3. Avaliação e quantificação da variação de umidade de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Rhodic Hapludox) cultivado sob dois sistemas de manejo agrícola.....	139
RESUMO.....	139
5.3.1. INTRODUÇÃO.....	140
5.3.2. MATERIAL E MÉTODOS.....	141
5.3.2.1. Calibração dos blocos de gesso .....	141
5.3.2.2. Monitoramento da umidade atual nas parcelas experimentais .....	145
5.2.2.3. Avaliação da Cultura .....	146
5.3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	148
5.3.3.1. Calibração do bloco de gesso .....	148
5.3.3.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo nas parcelas experimentais sob SC e SPD.....	150
5.3.3.3. Ensaios biométricos e produtividade da cultura do milho.....	158
5.3.4. CONCLUSÃO.....	159
5.3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	160
ANEXO 1 .....	163
ANEXO 2 .....	164
ANEXO 3a .....	166
ANEXO 3b .....	177
ANEXO 4 .....	178
ANEXO 5 .....	181
ANEXO 6 .....	184
ANEXO 7 .....	187
ANEXO 8 .....	188
ANEXO 9 .....	189

ANEXO 10 ..... 190

## LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.1. Localização da área experimental da faculdade de engenharia agrícola-unicamp, com detalhe de vista aérea das parcelas experimentais, destacando-se os seguintes sistemas: plantio direto (SPD) e convencional (SC). P1-P4 repetições do SPD; P5-P8 repetições do SC. ....	42
Figura 5.1.2. Representação esquemática das diferentes organizações do perfil cultural sob parcela Memória, em Campinas, SP.....	50
Figura 5.1.3. Aspecto do perfil cultural do solo da parcela Memória com destaque em (a) para a umh do tipo L (livre), volume de solo solto, constituído de terra fina e agregados e torrões de tamanhos variados sem nenhuma coesão; em (b), restos de folhas e galhos em estágios variados de decomposição e grandes quantidades de raízes.....	51
Figura 5.1.4. Aspecto do volume do tipo $F_{pt\mu\Delta}+tf$ extraído do perfil cultural do solo da parcela Memória, notando-se a estrutura forte em blocos subangulares e a presença marcante de raízes entre os torrões.....	52
Figura 5.1.5. Perfil cultural do solo da parcela Memória, com destaque para a UMH do tipo $F_{mt\Delta\mu}$ , com estrutura de blocos subangulares. ....	52
Figura 5.1.6. Aspecto da umh do tipo $C\Delta\mu$ do perfil cultural do solo da parcela Memória, com estrutura forte grande blocos subangulares e angulares. ....	53
Figura 5.1.7. Representação esquemática das diferentes organizações do perfil cultural sob Sistema Plantio Direto, em Campinas, SP.....	56
Figura 5.1.9. Perfil cultural do solo sob SPD, com destaque para a umh do tipo $F_{pt\mu\Delta}+tf$ situado na cova da planta de milho.....	57
Figura 5.1.10. Aspecto da estrutura microagregada de volume nam do perfil cultural do solo sob SPD. ....	59
Figura 5.1.11. Perfil cultural do solo sob SC com destaque para a umh do tipo L (livre), com raízes em grande quantidade, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas e orientadas em todas as direções. ....	61
Figura 5.1.12. Representação esquemática das diferentes organizações do perfil cultural sob sistema convencional, em Campinas, SP. ....	62
Figura 5.1.13. Aspecto da umh do tipo $C\Delta\mu$ e $C\Delta$ do perfil cultural do solo sob SC, com estrutura forte grande blocos subangulares e angulares. ....	64

Figura 5.2.1. Coleta de amostras indeformadas de solo nas umh's: delimitação das caixas no perfil cultural em cada UMH (a), detalhe do bloco do solo esculpido no perfil (b), colocação da caixa de papelão no bloco de solo esculpido (c), retirado do bloco de solo (d). .....	86
Figura 5.2.2. Etapas de impregnação das amostras: amostras secas (a), amostras em recipientes plásticos com resina nos dessecadores (b) e (c), amostras impregnadas (d). .....	87
Figura 5.2.3. Preparação das amostras: corte dos blocos com serra (a), polimento do bloco sobre camada abrasiva em diSCO rotatório (b), acabamento fino das lâminas com pó abrasivo (c), lâminas prontas (d). .....	88
Figura 5.2.4. Análises de imagens: câmera digital acoplada à lupa binocular (a), detalhe da iluminação dos blocos polidos com luz ultra violeta (b), delimitação das áreas fotomicrografias nos blocos polidos (c). .....	90
Figura 5.2.5. Fotomicrografias da porosidade do solo da unidade nam: detalhamento da porosidade do tipo empilhamento complexo (a) e cavidades arredondadas e policôncavas (b). .....	94
Figura 5.2.6. Distribuição relativa da unidade NAM: pórfiro-enáulica (a), enáulica (b) e porfírica (c). .....	95
Figura 5.2.7. Feições pedológicas na unidade nam: revestimento de argila (ferri-argilãs) ao redor dos agregados coalescidos (a), preenchimento solto descontínuo (b) e preenchimento denso contínuo com extinção cruzada com nícois cruzados (c). .....	96
Figura 5.2.8. Distribuição relativa da unidade CΔμ: porfírica fissurada formando blocos subangulares separados por uma porosidade fissural e cavidades policôncavas no interior (a), sub-estrutura microgranular coalescida (b) e microestrutura microgranular (enáulica) dentro de um canal preenchido (c). .....	98
Figura 5.2.9. Fotomicrografias da porosidade na unidade CΔμ: porosidade fissural grande (a) e as cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (b). .....	99
Figura 5.2.10. Fotomicrografias da UMH FmtΔμ do perfil de solo da parcela Memória: argila iluviada rica em ferro revestindo e preenchendo a porosidade (a) e idem à anterior com nícois cruzados com destaque na extinção forte contínua. ....	100

Figura 5.2.11. Fotomicrografia da UMH Fmt $\Delta\mu$ em perfil de solo da parcela Memória: detalhe do adensamento da parede de um canal pela ação de uma raiz (a) e fragmento de raiz em decomposição dentro do canal (b).....	101
Figura 5.2.12. Fotomicrografia da UMH Fpt $\mu\Delta$ +tf do perfil de solo da parcela Memória: blocos subangulares com pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida e parcialmente acomodado (a) com uma subestrutura em blocos subangulares formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial (b). ....	102
Figura 5.2.13. Fotomicrografia UMH Fpt $\mu\Delta$ +tf: feição pedológica de excremento (coprólito). .....	103
Figura 5.2.14. Fotomicrografia da UMH C $\Delta\mu$ do perfil cultural sob SPD: poros de empilhamento composto nos canais e cavidades biológicas com preenchimento solto contínuo. ....	105
Figura 5.2.15. Fotomicrografia da umh C $\Delta\mu$ no perfil cultural sob SPD: indícios de atividade biológica na matriz (a); ampliação da foto (a) com destaque da atividade bem próxima da raiz. ....	106
Figura 5.2.16. Fotomicrografia umh Fmt $\Delta\mu$ e Fpt $\mu\Delta$ +tf sob SPD: indícios de atividade biológica na matriz e fragmentos de raízes em decomposição (a,b,c,d) com destaque de coprólitos nos poros (b) e excretas arredondadas (e,f). ....	108
Figura 5.2.17. Distribuição relativa da unidade nam no perfil cultural sob SC: enáulica (a) e pórfito-enáulica (b).....	110
Figura 5.2.18. Fotomicrografias da porosidade predominante nas unidades C $\mu\Delta$ e C $\Delta\mu$ sob SC: cavidades arredondadas e policôncavas grandes (a) e porosidade fissural (b), respectivamente. ....	111
Figura 5.2.19. Resultados dos teste de média da porosidade do solo para UMH's do perfil cultural sob SPD. ....	116
Figura 5.2.20. Resultados dos teste de média da porosidade do solo para UMH's do perfil cultural sob SC. ....	117
Figura 5.2.21. Distribuição da porosidade segundo a forma e o tamanho dos poróides observados nas UMH's da parcela Memória. Arr= arredondados, alon= alongados, comp= complexos.....	121

Figura 5.2.22. Distribuição da porosidade total segundo a forma e o tamanho dos poróides das UMH's do perfil cultural sob SPD. Arr=arredondados, alon= alongados, comp= complexos.....	122
Figura 5.2.23. Distribuição da porosidade total segundo a forma e o tamanho dos poróides nas UMH's do perfil cultural sob SC. Arr=arredondados, alon= alongados, comp= complexos.....	124
Figura 5.2.24. Distribuição do número de poróides e área em classe de diâmetro de poróides das UMH's do perfil de solo da parcela Memória. NTP = número total de poros e atp= área total de poros.....	128
Figura 5.2.25. Distribuição do número de poróides e área em classe de diâmetro de poróides das UMH's no perfil cultural sob SPD. NTP = número total de poros e atp= área total de poros. ....	130
Figura 5.2.26. Distribuição do número de poróides e área em classe de diâmetro de poróides das UMH's no perfil cultural sob SC. NTP = número total de poros e atp= área total de poros. ....	132
Figura 5.3.1. Detalhes da etapa de calibração dos blocos de gesso em laboratório: (a) saturação dos blocos; (b) blocos envoltos por camada de lama do Lvdf; (c) montagem dos cilindros com os blocos no interior; (d) saturação dos cilindros montados; (e) cilindros na placa cerâmica do estrator de umidade; (f) medidor digital dos blocos de gesso.....	144
Figura 5.3.2. Esquema de localização dos sensores de umidade na parcela experimental. ....	145
Figura 5.3.3. Curva de calibração e equação de ajuste entre as medidas do medidor dos blocos de gesso e os potenciais matriciais na faixa entre 0 e 100 kpa. ....	149
Figura 5.3.4. Curva de calibração e equação de ajuste entre as medidas do medidor dos blocos de gesso e os potenciais matriciais na faixa entre 0 e 1500 kpa. ....	149
Figura 5.3.5. Sistema convencional: em (a) variação temporal da umidade volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores digitais de umidade: blocos de gesso e tensímetros; (b) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo bloco de gesso; (c) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo tensímetro digital.....	152

Figura 5.3.6. Sistema plantio direto: em (a) variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores digitais de umidade: blocos de gesso e tensímetros; (b) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo bloco de gesso, (c) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital. ....153

Figura 5.3.7. Sistema convencional: em (a) variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores de umidade digitais: blocos de gesso e tensímetros digitais; (b) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo bloco de gesso, (c) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital. ....155

Figura 5.3.8. Sistema plantio direto: em (a) variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois sensores de umidade digitais: blocos de gesso e tensímetros; (b) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método estufa e as estimadas pelo bloco de gesso, (c) gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital. ....157

Figura 5.3.9. Dados de produtividade da cultura do milho sob dois sistemas de manejo agrícola em área de Latossolo Vermelho distroférico típico para duas safras. ....159

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1.1. Caracterização da fertilidade química do solo na profundidade entre 0,0 – 0,2 m em duas parcelas experimentais em campinas (SP) cultivadas com milho sob Sistema Plantio Direto (SPD) e sistema convencional com grade aradora (SC). ....	38
Tabela 5.1.2. Descrição dos tratamentos do ensaio I (anterior) e do ensaio II (atual) na área das parcelas com sistemas coletores de enxurrada do campo experimental da feagri/unicamp, campinas – SP.....	40
Tabela 5.1.3. Modos de organização do perfil de solo <sup>(1)</sup> .....	45
Tabela 5.1.4. Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.....	46
Tabela 5.1.5. Teores médios de argila, areia total, silte, relação silte/argila e densidade de partículas (Dp) das UMH's sob cada perfil. ....	66
Tabela 5.1.6 Estatística descritiva para os atributos do solo das UMH's da parcela Memória.	68
Tabela 5.1.7 Estatística descritiva para os os atributos do solo das os atributos do solo das das umh's da parcela sob SPD. ....	69
Tabela 5.1.8 Estatística descritiva para os atributos do solo das das UMH's da parcela sob SC .....	70
Tabela 5.1.9 Valores médios de porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e densidade do solo (Ds) argila, areia das umh's sob cada perfil para o Latossolo Vermelho distroférico típico. ....	72
Tabela 5.2.1. Classificação dos poros de acordo com o formato e tamanho.....	92
Tabela 5.2.2. Estatística descritiva dos dados de porosidade do solo (%) de UMH's identificadas no perfil da parcela Memória. ....	114
Tabela 5.2.3. Valores médios de porosidade do solo (%) de UMH's identificadas em perfis da parcela Memória e sob SPD e SC.....	118
Tabela 5.3.1. Estatística descritiva dos valores médios da leitura do medidor digital de bloco de gesso durante a calibração de blocos de gesso ( média de 29 sensores).....	148
Tabela 5.3.2. Valores médios de atributos do ensaio biométrico de duas safras da cultura do milho para dois sistemas de manejo agrícola: sistema convencional (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD).....	158

## RESUMO

A estrutura é um dos atributos mais importantes do solo sob o ponto de vista agrícola, sendo não somente influenciada pelo clima, atividade biológica e práticas de manejo, mas também por forças de natureza mecânica e físico-química. Nesse contexto, o trabalho teve por objetivo geral avaliar a influência do uso e do manejo agrícola sobre a qualidade estrutural de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (*Rhodic Hapludox*). A avaliação foi realizada com base em indicadores físicos tradicionais e empregando técnicas de análise micromorfológica e micromorfométrica. A pesquisa foi desenvolvida em Campinas, SP, em duas parcelas experimentais cultivadas com milho, uma sob Sistema Plantio Direto (SPD) e outra sob Sistema Convencional (SC). A amostragem do solo foi realizada em unidades morfológicamente homogêneas (UMH's) identificadas em perfis culturais descritos em cada sistema de manejo. Extraíram-se amostras deformadas e em anel volumétrico de cada UMH para fins de caracterização morfológica, físico-hídrica e micromorfológica. Também foi descrito um perfil do mesmo solo em uma área referida por parcela Memória, mantida sem uso e sob revegetação natural há mais de 20 anos, sendo adotada como referência local da qualidade estrutural do solo após vários anos sem uso agrícola. Os resultados evidenciaram sob SC ocorrência na profundidade entre 2,5 e 20 cm de estruturas fragmentadas similares à da parcela Memória e referidas por  $F_{pt\mu\Delta+tf}$ ,  $F_{pt\Delta\mu}$  apresentando densidades de 1,21 e 1,32  $kg\ dm^{-3}$ , respectivamente. Na profundidade entre 20 e 35 cm, o volume de solo apresenta-se contínuo e compacto ( $C\Delta\mu$ ) com pouquíssimas raízes apresentando densidade do solo superior em torno de 1,46  $kg\ dm^{-3}$ . A atividade biológica em todas as estruturas do perfil cultural sob SC é inferior à da parcela Memória e à do SPD. No perfil cultural do SPD também se observou um volume de solo com estruturas fragmentadas  $F_{mt\Delta\mu}$  (1,32  $kg\ dm^{-3}$ ) e  $F_{pt\mu\Delta+tf}$  (1,26  $kg\ dm^{-3}$ ) e entre 7 e 45 cm, um volume com estrutura contínua compacta do tipo  $C\Delta\mu$ , mas sem restrição ao sistema radicular (1,42  $kg\ dm^{-3}$ ). Os resultados micromorfológicos quantitativo e qualitativo indicam que o solo sob SC sofreu alterações microestruturais indicativas de estresse físico com matriz do tipo enáulica-porfírica, ou mais compacta, com coalescência de agregados, redução da porosidade total, e incremento de poros fissurais quando comparado com a parcela Memória e o SPD. Conclui-se que a metodologia do perfil cultural associada às análises micromorfológicas e físico-hídricas nas UMH's sob cada sistema de manejo revelou-se muito útil na avaliação do efeito do manejo agrícola na

qualidade estrutural do solo e traz informações adicionais relevantes para diferenciação entre os sistemas de manejo, demonstrando resultados mais favoráveis sob SPD.

**Palavras-chave:** Manejo do Solo, Perfil Cultural, Características micromorfológicas do solo, Estrutura do solo, Sistema Plantio Direto.

## ABSTRACT

Soil structure is one of its most important attribute concerning the agricultural point of view, being influenced not only by climate, biological activity and management practices, but also by mechanical and physical- chemical forces acting in it. In this context, the main purpose of this work was to evaluate the influence of agricultural use and management on the structural quality of a *Rhodic Hapludox*. The evaluation was carried out considering traditional physical indicators and also by employing micromorphological and micromorphometrical techniques. The study was developed at Campinas, SP, in an experimental area with maize under no-till system (NT) and conventional system (CS). Soil sampling was performed from homogeneous morphological units (HMU's) as identified in cultural profiles described under each management system. Disturbed and undisturbed soil samples were taken from each HMU for morphological, physical and micromorphological characterizations. Also a soil profile was described in an area referred as Memoria, which has been maintained under natural vegetation for more than 20 years, being adopted as a local reference of the structural soil quality after a long period without agricultural use. Under CS, at soil depths between 2.5 and 20 cm, the results show the occurrence of fragmented porous structures, referred by  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  and  $F_{pt}\Delta\mu$ , with bulk density values of 1.21 and 1.32  $kg\ dm^{-3}$ , respectively, which are similar to the fragmented structure at Memory. At the depth between 20 and 35cm, the soil structure becomes continuous and compact ( $C\Delta\mu$ ), with a high bulk density value (1.46  $kg\ dm^{-3}$ ) and rare roots. The biological activity in all structures under CS is inferior to those under NT and Memory. On cultural profile under NT system was also observed fragmented porous structures, named  $F_{mt}\mu\Delta$  (1.32  $kg\ dm^{-3}$ ) and  $F_{pt}\Delta\mu+tf$  (1.26  $kg\ dm^{-3}$ ), and deeper, between depths of 7 and 45 cm, a continuous compact structure type  $C\mu\Delta$  (1.42 $kg\ dm^{-3}$ ) also occurs, but in this case, not restrictive to the root system. The more expressive results derived from the soil micromorphological and micromorphometrical characterization indicate that under CS the matrix-type is porphyric–enaulic, meaning a structure more compact, with aggregates' coalescence, reduced total porosity and increment of fissural pores, when compared with the soil at Memory and under NT system, being all those micro-structural alterations indicative of physical stress. Concluding, the cultural profile methodology associated with the micromorphological, micromorphometric and physical analyses of the HMU's under each

management system have given additional information and a wider comprehension about the agricultural management effects on soil structural quality, being the more favorable structural condition characterized under NT system.

Key words: Cultural Profile, morphological soil characteristics, soil structure, no-till system, conventional system.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A implantação de sistemas agrícolas promove modificações na qualidade física, química e biológica do solo, em intensidade e magnitude que dependem do uso e do manejo em questão. Em função desse fato, diversas pesquisas têm sido direcionadas para avaliação dos efeitos dos sistemas de manejo nos diferentes aspectos da qualidade dos solos. No contexto do uso agrícola sustentável desse recurso natural, destaca-se a busca por indicadores que permitam qualificar e quantificar a condição atual do solo, de maneira a permitir o monitoramento das mudanças que nele vão ocorrendo ao longo do tempo em virtude de sua utilização. Um requisito básico acerca de um indicador de qualidade é que possua valor prognóstico, de modo a orientar medidas de intervenção nos sistemas agrícolas que previnam a degradação irreversível dos recursos (LAL, 1999).

Do ponto-de-vista da avaliação da qualidade física do solo, a granulometria, a estrutura, a transmissão e a retenção de água e a capacidade de água disponível são indicadores aplicáveis, de acordo com LAL (1999). Segundo DREES et al. (1994), as mudanças que podem ser mensuradas se relacionam em grande parte com alterações na estrutura do solo. No entanto, a estrutura, em si, característica do solo definida pelo arranjo ou disposição espacial de suas partículas constituintes, é um atributo complexo e difícil de ser quantificado diretamente. Um aspecto associado à estrutura vem a ser a agregação do solo, ou reunião de suas partículas individuais em conjuntos, denominados unidades estruturais, *peds* ou agregados, que apresentam certa estabilidade frente à atuação de forças externas. Em conjunto, a estrutura e a agregação do solo definem a porosidade e a estabilidade da porosidade ou volume de vazios, que em última instância determina a aeração, a capacidade de retenção e o movimento de água no solo.

O intervalo hídrico ótimo (IHO), definido por SILVA et al. (1994) como sendo a faixa de umidade do solo onde as limitações ao crescimento vegetal, relacionadas com umidade, aeração e resistência mecânica à penetração de raízes são minimizadas, é um exemplo de indicador integrado de avaliação da qualidade estrutural do solo. Outro indicador de qualidade física do solo, que retrata a condição estrutural determinada pela microestrutura, é referido por índice S, que foi definido por DEXTER (2004), como sendo o valor da inclinação da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão.

Estudos de qualidade física do solo envolvendo a aplicação do IHO e do índice S ainda são pouco numerosos no Brasil. A determinação desses indicadores se faz a partir da amostragem do solo em anéis volumétricos, comumente extraídos ao acaso em parcelas experimentais ou áreas de produção, em respeito aos princípios de independência e aleatoriedade exigidos para a análise estatística clássica dos dados. No entanto, o manejo determina a ocorrência de feições diferenciadas no solo em função da posição que se considere para análise na área de produção, se na linha de plantio, no rodado de máquinas ou no meio da rua. Essas diferenciações ficam evidentes quando da análise morfoestrutural de perfis culturais (TAVARES FILHO et al., 1999), quando se avalia morfologicamente e em condição de campo a condição da estrutura do solo relacionando com o manejo. O estudo do perfil cultural permite avaliar o efeito do manejo no crescimento das raízes e, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas. Assim, pressupõe-se que um passo adiante no estudo comparativo entre sistemas de manejo, seja a avaliação da qualidade estrutural do solo a partir do estudo do perfil cultural, de maneira a empregar as diferentes organizações morfoestruturais identificadas como orientadoras da amostragem para fins de caracterização do solo.

Pressupõe-se, ainda, que o estudo micromorfológico do solo, seguindo a mesma orientação de amostragem, traz relevante conhecimento e compreensão acerca das relações entre qualidade estrutural-manejo agrícola-produção, uma vez que os estudos micromorfológicos, tanto qualitativos como quantitativos, trazem como principal vantagem em relação a outras escalas de observação do solo o levantamento de informações acerca de continuidade e conectividade dos poros, presença de bioporos, etc., que auxiliam a interpretação do comportamento e da dinâmica do solo e, por conseguinte, a compreensão de como as práticas de manejo afetam sua qualidade física (CASTRO et al., 2003).

Assim, com base em observação e em informações da literatura especializada, levantaram-se as hipóteses de trabalho que nortearam o presente estudo e que são descritas a seguir.

## **2. HIPÓTESES**

- (i) Nos estudos de avaliação da qualidade do solo para fins de produção agrícola, a posição de amostragem do solo deve ser considerada, pois o manejo agrícola impõe significativa diversidade de condições;

- (ii) A avaliação morfológica do solo pelo método do perfil cultural, ao permitir identificar as estruturas associadas aos diferentes sistemas de manejo e as que diretamente influenciam o desenvolvimento do sistema radicular, traz subsídios para orientação da amostragem do solo;
- (iii) A avaliação micromorfológica e micromorfométrica de estruturas do solo podem ser empregadas como indicadoras de evidências de mudanças estruturais advindas do uso agrícola;
- (iv) A avaliação das unidades morfológicamente homogêneas identificadas nos perfis culturais, tomando por base atributos clássicos da física do solo (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade, entre outros) e atributos micromorfológicos e micromorfométricos, é uma abordagem integrada com efeito sinérgico quanto ao conhecimento que adviria de se empregar esses métodos de análise separadamente;

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral da presente pesquisa foi avaliar a influência do uso e do manejo agrícola sobre a qualidade física de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Unidade Barão Geraldo), com base em indicadores físicos tradicionais e empregando técnicas de análise micromorfológica e micromorfométrica, aplicados em unidades morfológicamente homogêneas (UMH), identificadas a partir do estudo morfológico do solo em perfis culturais.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- (i) Realizar o estudo de perfis culturais em área experimental cultivada com milho sob Sistema Plantio Direto e Sistema Convencional com grade aradoradora (Capítulo 1);
- (ii) Realizar o estudo morfológico de perfil do mesmo solo em área contígua a do ensaio, mantida sob revegetação natural desde 1989 e adotada como referência (Capítulo 1);

- (iii) Caracterizar as diferentes UMH's dos perfis culturais com base em atributos físico-hídricos (Capítulo 1);
- (iv) Caracterizar as diferentes unidades morfológicas homogêneas (UMHs) dos diferentes perfis culturais empregando técnicas de análise micromorfológica e micromorfométrica (Capítulo 2);
- (iv) Monitorar a umidade do solo em locais selecionados nas parcelas experimentais para avaliação da qualidade ao longo do ciclo da cultura do milho, tomando por critério o intervalo hídrico ótimo caracterizado para a classe de solo em questão (Capítulo 3).

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. Qualidade do solo**

Nos últimos anos, o crescente interesse pelo conceito de qualidade do solo, considerado um indicador-chave de sustentabilidade, tem sido estimulado pela conscientização em relação à sua função vital no ecossistema e pelo aumento das superfícies degradadas no mundo.

DORAN e PARKIN (1994) relatam que a avaliação da qualidade do solo pode ser realizada pelo monitoramento de seus atributos ou características físicas, químicas e biológicas que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais.

Considerando-se o solo como um sistema em que ocorre uma interação constante e dinâmica dos processos físicos, químicos e biológicos, que são variáveis dependendo do tipo de solo, do clima, do manejo e das culturas implantadas, pode-se pressupor que a mensuração da sua qualidade seja complexa.

Segundo CARTER et al. (1997), antes de se determinar a qualidade do solo é necessário estabelecer um valor com relação à sua capacidade para cumprir uma função específica. Quando esta é estabelecida, pode-se definir e caracterizar os processos e atributos descritivos dessa função, os indicadores a eles relacionados e as metodologias para medi-los. Tais autores ressaltam também que os índices de qualidade do solo devem ser desenvolvidos para cada situação específica e avaliados especialmente quanto aos valores críticos.

STENBERG (1999) enfatiza que nenhum indicador, individualmente, conseguirá descrever e quantificar todos os aspectos de qualidade do solo, pois deve haver relação entre todos os atributos do solo. Os critérios para seleção de indicadores relacionam-se principalmente com sua utilidade em definir os processos do ecossistema.

Sabe-se que a qualidade física do solo é manifestada em vários aspectos. Exemplos de empobrecimento da qualidade física do solo são exibidos por um ou mais sintomas: perda da capacidade de infiltração de água, aumento da densidade e resistência do solo à penetração, perda da capacidade de aeração, baixa permeabilidade às raízes, entres outros (HAKANSSON et al., 1988; IMHOFF et al., 2000).

Os solos com boas condições físicas exibem sintomas opostos aos descritos acima. Segundo LETEY (1985) um solo de textura média, apresentando níveis intermediários de densidade do solo, boa agregação, taxa de infiltração adequada e sem impedimento à drenagem seria um solo com boas condições físicas, a partir do qual altas produtividades poderiam ser esperadas caso não haja limitações químicas.

Comumente, porém, a introdução de sistemas agrícolas em substituição às florestas causa um desequilíbrio no ecossistema, modificando as propriedades do solo, cuja intensidade varia com as condições de clima, uso e manejo adotado e a natureza do solo (GODEFROY e JACQUIN, 1975). Com o uso intensivo dos solos, geralmente ocorre a deterioração das suas propriedades físicas. Modificações na densidade e na porosidade do solo podem variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores de matéria orgânica do solo e da frequência de cultivo (ARAUJO et al., 2004, CAMARGO e ALLEONI, 1997).

Para DEXTER (2004), a razão para todos os sintomas da degradação física do solo se relaciona com a piora da estrutura do solo.

SCHERTZ (1983) enfatiza que o solo é um recurso natural essencial e finito, sendo que alguns de seus atributos, como no caso da estrutura, requerem longos períodos de tempo para formação ou renovação. Tal constatação qualifica o solo como sendo um recurso natural não renovável em uma escala de tempo humana.

Para quantificação da qualidade da estrutura do solo em condições de clima temperado, THOMASSON (1978) propôs categorias considerando a sua capacidade de aeração e o seu conteúdo de água disponível DE MARIA et al. (1997) testaram a classificação de THOMASSON em ambientes tropicais, pelo qual solos com valores de densidade do solo e de

resistência do solo à penetração mais elevados do que aqueles considerados por ROSOLEN et al. (1994) como restritivos ao crescimento radicular, classificaram-se como detentores de estrutura de boa qualidade..

Dessa forma, a caracterização da qualidade estrutural do solo sob diferentes sistemas de manejo e o desenvolvimento de indicadores físicos para monitoramento das alterações induzidas pelo manejo agrícola ao longo do tempo são aspectos fundamentais da pesquisa em manejo e conservação do solo visando fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo assim para tornar o solo menos suscetível à perda da capacidade produtiva.

#### **4.2. Indicadores físicos de qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo**

Atributos como densidade, porosidade, resistência do solo à penetração, condutividade hidráulica saturada e também a curva de retenção de água do solo têm sido comumente utilizados como atributos indicadores para avaliar a qualidade física do solo sob um determinado manejo. Dentre esses indicadores, a densidade do solo e a porosidade do solo são os atributos físicos mais utilizados em função da relativa facilidade de determinação e baixo custo de obtenção das medidas.

BERTOL et al. (2004) observaram que a densidade do solo na camada superficial é maior no Sistema Plantio Direto do que no Sistema Convencional e no campo nativo, enquanto que nas camadas subsuperficiais este atributo apresenta valores maiores no preparo convencional do que na semeadura direta e campo nativo. Em relação ao volume de macroporos, tais autores também detectaram na camada superficial e subsuperficial esta mesma tendência, refletindo-se na redução do volume total de poros e no aumento do volume de microporos.

SILVA et al. (2000) encontraram efeito do sistema de preparo convencional, cultivo mínimo e plantio direto na densidade do solo. Dentre os sistemas estudados, observaram que o Sistema Plantio Direto apresentou uma distribuição de poros mais uniforme com a profundidade, refletindo a melhor estruturação natural do solo. Resultado semelhante foi encontrado por SOUZA e ALVES (2003), onde o solo em plantio direto apresentou melhores

condições estruturais, evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo.

Em relação ao atributo resistência do solo a penetração (RP), TORMENA et al. (2002) constataram maiores valores sob Sistema Plantio Direto comparado ao preparo convencional e preparo mínimo, até a profundidade de 0,25 m. Os menores valores de RP sob preparo convencional comparado ao preparo mínimo devem-se ao revolvimento parcial do solo pelo escarificador, visto que a umidade do solo é maior sob preparo mínimo do que sob preparo convencional.

TAVARES FILHO (2001) constatou que até 0,15 m o Sistema Plantio Direto apresentou maiores valores de RP em relação ao preparo convencional e que entre 0,15 m e 0,40 m não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos. Estes resultados confirmam a afirmativa de DERPSCH et al. (1986) de que no plantio direto a compactação do solo é mais superficial, concentrada na camada de 0-0,20 m, mais especificamente em torno de 0,10 m de profundidade, com amplitude de variação entre 0,075 e 0,170 m. Esta parece ser uma ocorrência comum nos solos sob plantio direto (DE MARIA et al., 1999; ALVES e SUZUKI, 2004; LIMA et al., 2006).

Segundo TAYLOR e BRAR (1991), os níveis críticos de resistência do solo à penetração para o crescimento das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Em função de a resistência do solo à penetração estar diretamente relacionada à umidade do solo, apresentando relação inversa, tem sido bastante difícil estabelecer, no campo, os valores críticos de resistência, em função do processo de umedecimento e secagem do solo que altera rapidamente o estado do solo de uma possível condição limitante para não limitante, em termos de resistência mecânica.

De modo geral, valores de RP maiores do que 2 MPa têm sido considerados fortemente restritivos ao crescimento das raízes e das plantas (TORMENA e ROLOFF, 1996; MEROTO JR. e MUNDSTOCK, 1999).

SCHAEFER et al. (2001) relatam que o efeito do preparo sobre os valores de porosidade e densidade do solo pode ser pouco evidente, sendo mais comuns os efeitos na forma e distribuição dos poros ao longo do perfil do solo.

Neste sentido, KLEIN e LIBARDI (2002b) ressaltam que a curva de retenção de água é essencial em estudos de qualidade do solo com vista às alterações na distribuição do tamanho dos poros bem como a retenção, o movimento e a disponibilidade de água no mesmo.

Os resultados de RAWLS et al. (1991) mostram que sob elevados potenciais matriciais ( $\Psi_m$ ), a curva de retenção é influenciada por poros estruturais associados ao efeito da matéria orgânica na formação e na estabilidade da estrutura do solo. Sob baixos  $\Psi_m$ , a composição granulométrica e a mineralogia do solo tornam-se mais importantes na retenção devido à superfície disponível para adsorção de água (GUPTA e LARSON, 1979).

MACHADO et al. (2008) observaram que as curvas de retenção de água nos solos sob pousio denotam maior retenção de água no solo em comparação ao solo cultivado. Segundo os autores, o aumento na densidade do solo promoveu modificações na distribuição de poros nos solos sob cultivo e sob pousio, principalmente naqueles poros que retêm água em  $\Psi_m$  maiores que -100 hPa, evidenciado pela forte redução de umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e do parâmetro  $n$  do modelo de ajuste de van Genuchten. Essas modificações nas características de retenção de água resultam em mudanças na qualidade física dos solos (DEXTER, 2004).

Outro atributo afetado por alterações na distribuição do tamanho dos poros é a condutividade hidráulica. GENRO JUNIOR (2002) observou que a condutividade hidráulica a 20-30 cm de profundidade no solo cultivado de maneira convencional é bem menor do que no solo cultivado sob plantio direto. Valores mais altos de condutividade hidráulica do solo saturado nos sistemas plantio direto e cultivo mínimo podem ser explicados pela continuidade dos poros e pela maior atividade biológica da micro, meso e macrofauna, sendo que este fato é concordante com o resultado obtido por CASTRO (1995).

Além das propriedades físicas do solo citadas anteriormente, os índices ou parâmetros de qualidade física do solo contribuem para a análise de sua estrutura. Neste sentido, SILVA et al. (1994) e DEXTER (2004) propuseram o intervalo hídrico ótimo (IHO) e o índice S, respectivamente, como índices integrados de avaliação da qualidade estrutural do solo.

O IHO foi definido por SILVA et al. (1994) como sendo a faixa de umidade do solo onde as limitações ao crescimento vegetal, relacionadas com umidade, aeração e resistência mecânica à penetração de raízes são minimizadas.

Segundo ARAUJO et al. (2004), no solo sob mata nativa, o volume de água definido pelo IHO foi igual à capacidade de água disponível, indicativo de máxima disponibilidade hídrica,

variando de acordo com o tipo de solo. Já no solo cultivado, o aumento da Ds condicionou redução do valor do IHO decorrente do efeito simultâneo sobre a porosidade de aeração e sobre a RP. De acordo com KAY (1989), o decréscimo do IHO caracteriza a perda da qualidade física do solo, considerando a maior probabilidade de as culturas serem expostas a estresses físicos, o que foi constatado por SILVA e KAY (1994). Estes resultados evidenciam que, comparativamente ao solo sob mata nativa, a degradação da estrutura do solo pelo cultivo impõe limitações ao crescimento das plantas pela redução da água disponível, pela restrição de aeração sob elevada umidade do solo ou pela elevação da resistência do solo à penetração até níveis críticos durante o secamento do solo.

Já o índice físico “S” proposto por DEXTER (2004) foi definido pelo valor da inclinação da curva de retenção de água no solo no seu ponto de inflexão. A curva de retenção de água no solo, fisicamente expressa a distribuição de tamanhos de poros que controlam processos físicos fundamentais às plantas. Esse índice retrata a condição estrutural determinada pela microestrutura do solo, a qual engloba parte da porosidade estrutural composta por uma rede de poros interligados que são sensíveis aos efeitos dos sistemas de uso e manejo. Os resultados apresentados por DEXTER (2004) demonstram que os valores de S reduziram em condições de degradação física, sendo este um indicador sensível das condições estruturais dos solos.

FIDALSKI e TORMENA (2007) avaliaram a homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeiras com sistemas de manejo da vegetação permanente e concluíram que o índice S associado à distribuição do tamanho de poros permitiu melhor entendimento das alterações físicas resultantes do manejo do solo com vegetações permanentes nas entrelinhas do pomar de laranja.

MACHADO (2006) avaliou as mudanças na qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico, via índice S, em diferentes situações de uso e os resultados indicaram mudança na forma da curva de retenção de água no solo nos tratamentos cultivo e pousio em relação à mata, estando compatíveis com a degradação física do solo, sendo os valores de S do solo sob mata significativamente superiores aqueles do solo cultivado e sob pousio, que não se diferenciaram entre si.

### **4.3. Perfil Cultural**

A utilização agrícola intensiva do solo, independentemente do sistema de manejo adotado, promove alterações na qualidade estrutural e no espaço poroso do solo, com reflexos diretos nas formas, dimensões e arranjo dos agregados (PICCININ et al., 1999, BENITO et al., 2008, TAVARES FILHO e TESSIER, 2009 e 2010 ), que podem interferir no desenvolvimento radicular das culturas, acarretando até redução de produtividade (MELLO IVO e MIELNICZUK, 1999; PICCININ et al., 1999, MULLER et al., 2001).

Segundo MANICHON (1982), na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de manejo agrícola, o estudo morfológico do solo para diferenciação de unidades estruturais deve ser incluído no conjunto de indicadores. O diagnóstico criterioso de aspectos morfológicos da estrutura que podem ser associados ao manejo agrícola do solo é primordial para identificação de impactos, positivos ou negativos, associados aos sistemas de manejo, orientação de amostragens, identificação de locais para monitoramento de atributos-chave de importância à produtividade dos sistemas agrícolas, assim como para indicação de práticas de recuperação da qualidade estrutural do solo e de práticas conservacionistas. O método do “Perfil Cultural”, como descrito em HENIN et al. (1960), é um dos mais conhecidos para diagnóstico dos efeitos do manejo agrícola na estrutura do solo.

O “perfil cultural”, também referido na literatura por “perfil de manejo” (PICCININ, 2005), refere-se à uma seção vertical do solo de modo similar ao perfil pedológico empregado para fins de classificação taxonômica do solo. Entretanto, diferente do perfil pedológico, onde se diferenciam horizontes ou camadas pedogenéticos, no perfil cultural se busca diferenciar feições estruturais decorrentes do manejo agrícola, sendo que neste caso os volumes podem não ser necessariamente horizontais e contínuos, como é comum no caso dos horizontes ou camadas de um perfil pedológico (EMBRAPA, 2006).

De acordo com MANICHON e GAUTRONNEAU (1996), o perfil cultural vem a ser “ o conjunto dos volumes do solo individualizados pela intervenção de implementos agrícolas, pelo comportamento das raízes das plantas do local, pela influência dos fatores naturais (clima) e pelas técnicas de cultivo adotadas”.

O estudo do perfil do solo sob cultivo, em escala detalhada, caracterizando pela análise morfoestrutural as “novas” organizações surgidas, torna-se um método de grande importância como base para a compreensão de uma organização estrutural sob determinado manejo e seu comportamento. Para isso, para fins de comparação, necessário se faz ter disponível a

descrição morfológica de um perfil do mesmo solo ocorrendo sob vegetação natural e, portanto, não alterado pelo manejo. Pela análise morfoestrutural se caracteriza a condição organizacional do solo, o espaço poroso de origem estrutural, a atividade exercida tanto pela fauna do solo como pelo sistema radicular, a presença e forma da matéria orgânica, bem como o desenvolvimento, orientação e morfologia das raízes (GUIMARÃES et al., 1993). O método do perfil cultural foi aprimorado por MANICHON (1982) e reestruturado por GAUTRONNEAU e MANICHON (1987) e, tem por objetivo o conhecimento da variabilidade estrutural e seu arranjo espacial no perfil de solo alterado pelo manejo. O estudo morfológico se dá em dois níveis de descrição: Elementar, que corresponde à descrição do arranjo das partículas de solo no interior das unidades estruturais ou agregados, e do estado intra-agregados; e o Superior, que corresponde à descrição do modo com que a assembléia das próprias estruturas está disposta no espaço do perfil.

O método do perfil cultural conforme descrito por GAUTRONNEAU e MANICHON (1987) é usado no Brasil desde a década de 90, permitindo destacar diferentes unidades morfológicas no perfil, conforme o manejo adotado. TAMIA et al. (1999) denominaram as diferentes estruturas descritas em um perfil cultural como sendo unidades morfolologicamente homogêneas (UMHs).

DERSIGNY et al. (1990) caracterizaram os diferentes estados estruturais em um Latossolo Roxo cultivado nos sistemas de semeadura convencional e direta, observando particularmente a ocorrência de compactação. A descrição do perfil cultural mostrou a presença de camada compactada (C $\Delta$ , F $\Delta$ ) nos dois sistemas, mas com diferenças quanto à profundidade de ocorrência, espessura e densidade.

MEDINA (1993) estudando o efeito da aplicação de vinhaça e gesso em cultura de cana-de-açúcar sobre as características do solo, observou que a aplicação de vinhaça quando condiciona intenso tráfego de máquinas pode ocasionar compactação, com ocorrência de estruturas dos tipos C $\Delta$  ou F $\Delta$ .

RALISCH et al. (1994) utilizaram o método do perfil cultural para avaliar os efeitos do Plantio Direto, do preparo convencional e da gradagem pesada sobre as condições físicas do solo e no enraizamento de culturas. Concluíram que o perfil cultural tem sua eficiência aumentada quando além da caracterização morfológica faz-se determinações analíticas a partir de amostras das estruturas ou UMHs observadas no perfil. Especialmente no caso de camadas

compactadas,  $\Delta\mu$  e  $\mu\Delta$ , a caracterização analítica permite interpretações e conclusões mais seguras acerca dos efeitos do manejo.

Em outro trabalho, RALISCH (1995) comparou o estado estrutural de um LATOSSOLO sob vegetação de floresta de pinus e submetido a três sistemas de manejo. Observou a ocorrência de estruturas indicativas de compactação, dos tipos  $C\mu\Delta$  ou  $C\Delta\mu$ , até 50 cm de profundidade no solo sob Sistema Plantio Direto. Considerou que o manejo com arado de aivecas no preparo primário proporcionou melhores condições para o enraizamento do trigo, por ocorrer predomínio de estruturas fissuradas ( $F\Delta\mu$ ) ao invés de contínuas ( $C\Delta\mu$ ).

TAVARES FILHO (1995) comparou a estrutura de dois LATOSSOLOS, sendo um Eutrófico e outro Distrófico, submetidos ao Sistema Plantio Direto e ao preparo primário com arado de aivecas. O autor concluiu que o tipo de preparo que fornece as melhores condições físicas ao solo pode ser diferente em função do tipo de solo. O estudo que efetuou para o LATOSSOLO Distrófico manejado com semeadura direta forneceu as melhores condições de porosidade, da ordem de 60%, apesar do predomínio da estrutura contínua do tipo  $C\mu\Delta$ . No LATOSSOLO Eutrófico, o manejo com arado de aiveca no preparo primário é que forneceu as melhores condições de porosidade, da ordem de 54% para o arado de aivecas contra 48% no Sistema Plantio Direto, com predomínio para o LATOSSOLO Eutrófico de estrutura fissurada do tipo  $F\mu\Delta$ .

O método do perfil cultural foi desenvolvido para as condições de solos de clima temperado, sendo que decorrem algumas dificuldades para sua aplicação em condições de solos de clima tropical (TAVARES FILHO et al., 1999). A observação detalhada da organização estrutural proposta por GAUTRONNEAU e MANICHON (1987), mostrou-se rigorosa demais no estudo para avaliar os efeitos da mecanização sobre o solo nos trópicos, dificultando a sua interpretação.

TAVARES FILHO et al. (1999) sugeriram a utilização de critérios mais simplificados e abrangentes para interpretação, privilegiando-se mais o modo de organização do que o estado interno dos torrões. Tais autores propuseram uma adaptação do método original de diagnóstico para estudo da evolução da estrutura dos solos cultivados sob diferentes sistemas de manejo em meio tropical. Fundamentaram o método no estudo da morfologia do solo, com a delimitação dos distintos volumes antropizados, tanto em profundidade como lateralmente no perfil, com base em forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais, presença ou

ausência de poros visíveis a olho nu e continuidade destes, forma e dureza de agregados e torrões, dentre outros fatores.

Segundo TAVARES FILHO et al. (1999), a adaptação da metodologia do perfil cultural para solos tropicais teve como finalidade permitir diagnósticos e prognósticos especificamente decorrentes dos diferentes sistemas de manejo do solo e de populações vegetais. Com isso, pode-se entender e, conseqüentemente, intervir nos processos de compactação e selamento do solo, auxiliar na escolha da técnica de amostragem de solo mais apropriada, orientar a análise das interações bio-físico-químicas do solo, etc.

Os primeiros resultados da adequação desse método às condições de solos tropicais podem ser consultados nos trabalhos de TAVARES FILHO et al. (1999), MULLER et al. (2001), FREGONEZI et al. (2001) e NEVES et al. (2003).

TAVARES FILHO et al. (1999) relataram a evolução das estruturas após 9 anos de implantação de pomar em área de LATOSSOLO ROXO cultivada com citros e diferentes adubos verdes. A partir das informações obtidas pela técnica do perfil cultural, os autores observaram que o solo apresentou estruturas tendendo à compactação ( $F\Delta\mu$ ,  $C\Delta\mu$ ) e, em alguns pontos, estruturas bem compactadas tipo ( $C\Delta$ ), em comparação com o mesmo solo mantido sob mata natural e localizado a menos de cem metros do experimento em questão. Sob mata, o solo se mostrou poroso e com predomínio de estruturas  $C\mu$  por todo o perfil. Segundo os autores, as alterações estruturais nos perfis culturais se devem ao tráfego de máquinas por ocasião das operações de roçagem e colheita da produção.

MULLER et al. (2001) analisaram a relação entre a degradação de pastagens de capim colônia manejadas com queima e as propriedades físicas e morfológicas de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO da Amazônia com base na metodologia do perfil cultural. Verificaram que a degradação da pastagem diminuiu a cobertura do solo, resultando em aumento da densidade do solo e em diminuição da porosidade total e do grau de flocculação da argila na camada superficial, na qual foi identificada estrutura contínua ( $\Delta\mu$ ) sem porosidade visível a olho nu.

Já NEVES et al. (2003) observaram que o método do perfil cultural apresenta boa correlação com as análises físicas realizadas em laboratório, como densidade do solo e porosidade total. Os autores identificaram para o solo em estudo, que as estruturas definidas por  $\Delta$  (compactado) e  $\Delta\mu$  (em processo de compactação) apresentaram valores

significativamente mais altos de densidade do solo e mais baixos de porosidade total quando comparados aos valores desses atributos caracterizados na estrutura definida por  $\mu$  (microagregado, sem compactação).

CARDOSO et al. (2006) avaliaram os efeitos da compactação do solo sobre suas propriedades morfoestruturais e o desenvolvimento radicular da soja, sob Sistema Plantio Direto, em um experimento conduzido num LATOSSOLO VERMELHO Distroférico, em Londrina, PR. O trabalho revelou que a presença de camadas mais compactas no perfil do solo provocou o desenvolvimento radicular em zonas de menor resistência, em poros biológicos e nas fissuras do solo. Porém, graças à adequada disponibilidade hídrica durante o período avaliado, não foram caracterizadas diferenças significativas entre tratamentos para produção de grãos.

GIAROLA et al. (2007) avaliaram, por meio de atributos morfológicos e físicos, as alterações ocorridas em um LATOSSOLO VERMELHO decorrentes da sua utilização para produção de feno, tendo como referência um solo sob floresta nativa. Concluíram que as alterações ocorridas comprovavam a degradação física do solo cultivado, sendo que a análise morfológica no perfil permitiu identificar e localizar drásticas alterações na estrutura e a presença de camadas compactadas na área cultivada, concordando com os resultados obtidos por TAVARES FILHO (1999) e RALISCH (2002).

Mediante os bons resultados relatados em trabalhos na literatura, novas abordagens foram propostas para o método do perfil cultural. Segundo PEREIRA NETO e GUIMARÃES (2005) havia a necessidade de incorporar mais um conceito analítico a esse processo, deixando de ser produto de mera observação, mas podendo ser alvo de comparações com métodos diferentes como, por exemplo, amostragens de solo em diferentes profundidades. Tais autores quantificaram as estruturas homogêneas do perfil do solo, tanto de forma relativa (percentual) quanto absoluta (métrica), por meio do uso de um SIG (sistema de informações geográficas).

Já o trabalho de PEREIRA NETO et al. (2007) é um exemplo recente de aplicação do método do perfil cultural no estudo da qualidade estrutural do solo. Os autores analisaram o tempo de consolidação do Sistema Plantio Direto em área de LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO, textura argilosa, no estado de Goiás, constatando que as estruturas onde o plantio direto foi implantado há menos de oito anos assemelharam-se as estruturas do sistema de

plantio convencional, e que no solo sob Sistema Plantio Direto implantado há mais de nove anos, as estruturas se assemelharam aquelas do perfil sob floresta.

Na Literatura, esse método tem se mostrado eficiente não só no estudo da variação estrutural, mas também no estudo das interações das características físicas, químicas e biológicas do solo, que são afetadas pela porosidade e movimentação da água (MULLER et al., 2001; FREGONEZI et al., 2001, BENITO et al., 2008, TAVARES FILHO e TESSIER, 2009).

No entanto, estudos utilizando as informações obtidas com a metodologia do perfil cultural associados a estudos micromorfológicos e micromorfométricos ainda são escassos nas condições de uso e manejo dos solos brasileiros.

Entende-se que a associação do estudo em perfis culturais com métodos micromorfológicos de análise, ao relevar a condição estrutural do solo em escala de detalhe, traz novos elementos para compreensão das relações solo-planta-manejo, tornando mais eficaz o diagnóstico da qualidade do solo cultivado..

#### **4.4. Micromorfologia e análise de imagens**

A micromorfologia do solo é definida como a ciência que estuda a organização tridimensional dos constituintes do solo, por métodos microscópicos, comumente usando técnicas de lâminas finas (delgadas) (MERMUT, 1992). Segundo BULLOCK et al. (1985) essa organização é definida por fábrica ou contextura ou trama e se refere à organização total do solo expressado pelo arranjo espacial dos constituintes do solo (sólido, líquido, gasoso), a sua forma, tamanho e frequência, considerado desde um ponto de vista de configuração, funcional e genético.

O estudo micromorfológico do solo permite observar os componentes estruturais do solo na sua forma natural, de maneira a identificar fragmentos de minerais primários (material grosseiro), arranjo do material fino ou plasma (microagregação, orientação, composição) e porosidade (proporção, tipo) (CASTRO et al. ,2003).

CASTRO et al. (2003) relatam que esta ciência até meados da década de 80 foi amplamente utilizada quase que exclusivamente para estudos pedogenéticos, procurando elucidar problemas ligados aos processos de formação do solo. Mais recentemente a aplicação

desta técnica tem se destacado no âmbito das ciências agrárias, no estudo de estrutura e porosidade do solo, em problemas de manejo e conservação do solo e da água (MIEDEMA, 1997).

CASTRO et al. (2003) reforçam que com o auxílio das técnicas de processamento e de análise digital de imagem, a micromorfologia é também capaz de fornecer resultados de porosidade do solo e permeabilidade com precisão, além de possibilitar a visualização das alterações estruturais causadas pela compactação e adensamento. Segundo MERMUT (1992), a observação direta do espaço poroso é importante para se compreender como as práticas de manejo afetam a qualidade física do solo.

O uso de técnicas de análise de imagens nos estudos qualitativos e quantitativos da estrutura do solo tem se tornado mais comum, dado o maior acesso a equipamentos e programas e ao número crescente de pesquisadores na área. Segundo VIANA et al. (2004), a associação dessas técnicas permite o estudo quantitativo de modificações estruturais em amostras indeformadas de solos em lâminas delgadas.

Em muitas partes do mundo, a análise de imagens vem sendo desenvolvida e aperfeiçoada por diversos micromorfologistas como uma técnica eficiente para a quantificação da estrutura, do espaço poroso, da distribuição de poros, bem como, para a caracterização da irregularidade, orientação, forma e tamanho dos poros, pelo uso de lâminas delgadas ou de blocos de solo (PROTZ et al., 1987; DEEKS et al., 1999, COOPER, 1999).

PROTZ et al. (1987) e MURPHY et al. (1977a) enfatizam que a aplicação da análise de imagem computarizada para medir a porosidade e a estrutura do solo está se tornando parte integral das pesquisas em solos. Estudos dos macroporos por meio de técnicas de análise de imagens possuem imensa importância nos trabalhos sobre movimento de água e ar no solo (BULLOCK e THOMASSON, 1979; VOGEL e BADEL, 1994).

Trabalhos pioneiros usando análise de imagens para quantificar e caracterizar a porosidade de amostras de solos impregnadas foram realizados por JONGERIUS et al. (1972) e MURPHY et al. (1977a, b).

BULLOCK e THOMASSON (1979) fizeram comparações de medidas de macroporosidade derivadas da análise de imagens com aquelas oriundas da retenção de água, método comumente utilizado na determinação da distribuição de poros por tamanho. PLAGIAI et al. (1998) investigaram o efeito de diferentes práticas de manejo na estrutura do

solo, em especial na porosidade do solo em lâminas delgadas. Os autores demonstraram que diferentes processos de preparo de solo condicionam modificações distintas nas propriedades físicas do solo, sendo que o manejo convencional foi o que apresentou os maiores impactos negativos na qualidade do solo pela formação de selamento na camada superficial, com consequente diminuição da porosidade. PAGLIAI et al. (2003) demonstraram que após tráfego intenso ocorreu compactação no subsolo, causando redução da porosidade nos poros alongados e de transmissão resultando em valores inadequados para o movimento de água e crescimento de raízes.

Com relação ao efeito do tráfego de implementos agrícolas no solo, MARSILI et al. (1998) observaram em lâminas delgadas que a passagem da roda do trator causou compactação do solo, principalmente, nas camadas superficiais. As áreas compactadas apresentavam uma estrutura fortemente massiva ao passo que, em áreas que não sofreram tráfego, a estrutura apresentava blocos angulares e subangulares. Na camada superficial, os poros finos alongados encontravam-se orientados no sentido paralelo ao topo do solo, de modo que formavam estruturas em placa, típicas de solos compactados. Os autores ainda observaram que os poros alongados não possuíam uma continuidade vertical, resultando em uma diminuição da infiltração de água pelo solo e, conseqüentemente, podendo ocasionar erosão dependendo da declividade do terreno.

KRIBAA et al. (2001) encontraram diferenças quantitativas e qualitativas na macroporosidade entre os sistemas de escarificação e aração nas análises de lâminas delgadas. Os discos do implemento usado na aração produziram agregados compactos, enquanto que a escarificação gerou agregados grumosos, levando a um conjunto de solos soltos, com poros de diâmetros equivalentes maiores do que 1 mm. Observaram ainda uma estreita relação entre a estrutura do solo, criada pelas diferentes operações de cultivo, e a condutividade hidráulica.

De um modo geral, as principais aplicações da micromorfologia e da análise de imagens de solos segundo MIEDEMA (1997) tem sido para estudo dos efeitos sobre a do solo. Assim, encontram-se na literatura estudos sobre compactação do solo (MURPHY et al., 1977a; CURMI et al, 1994; OLIVEIRA et al., 2000; SILVA e CABEDA, 2006; LIMA et al., 2005 e 2006; SOUZA et al., 2006); sistemas de cultivo e manejo (SOARES et al. 2005a e b; JUHÁSZ et al., 2007; VERA et al., 2007; REATTO et al., 2010), secamento do solo (GUIDI et al., 1978, PIRES et al, 2009); regeneração da estrutura em solos com *self-mulching* e sem

*self-mulching* (PILLAI-McGARRY e COLLIS-GEORGE, 1990 a e b); aplicação de fertilizantes, esterco e outros materiais orgânicos (PAGLIAI et al., 1983; PULLEMAN et al., 2005; ZANUZZI et al., 2009); erosão e conservação (NORTON e SCHROEDER, 1987) e encrostamento superficial (BRESSON e VALENTIN, 1994; CASTILHO, 2010).

Nas condições de uso e manejo dos solos brasileiros, ainda são escassos os estudos que quantifiquem alterações físico-hídricas e morfológicas da estrutura do solo sob determinado manejo empregando análise de imagens. Com essa abordagem, um dos primeiros trabalhos relatados é o de CURMI et al. (1994), que estudaram a degradação da estrutura de LATOSSOLO ROXO submetido a cultivo em Guaira, SP. Tais autores observaram que os poros intra-agregados não foram afetados pelo processo de compactação. Já os inter-agregados tiveram seu tamanho e formato reduzidos com perda de 33% do volume total e os poros provenientes da atividade biológica, tipo canais, desapareceram quando submetidos a processos de compactação.

No Brasil, SCHAEFER et al. (2001) verificaram que nos solos onde o preparo foi feito com grade pesada e arado de disco e somente grade pesada, houve a formação de poros planares próximos à superfície do solo, concentrados nos primeiros centímetros. De acordo com os autores, a existência de poros fissurais indica adensamento do solo, fenômeno este que está associado ao encrostamento ou selamento superficial. Nos tratamentos com grade pesada perceberam um indício de adensamento do solo em subsuperfície. Esta compactação se caracterizou por um empacotamento do solo em torrões, formando zonas compactadas, separadas umas das outras, com poucos poros interligados. Consideraram que devido à compactação e ao selamento superficial do solo, as taxas de infiltração e a retenção de água poderiam se tornar baixas.

Esforço neste sentido também foi realizado por SOARES et al. (2005a), que estudaram as alterações físicas e morfológicas em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar sob sistema tradicional de manejo. Observaram por meio de análises micromorfológicas a redução da macroporosidade e da infiltração de água no solo, sendo esta redução mais intensa nos solos cultivados com cana-de-açúcar.

SOUZA et al. (2006) avaliaram a relação entre atributos micromorfológicos e físicos de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, sob cultivo com cana-de-açúcar. Ressaltaram que os altos valores da densidade do solo, microporosidade e resistência do solo à

penetração, e os baixos valores da macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo saturado, principalmente no horizonte AB, eram indicativos de compactação, confirmada pela análise de imagens (micromorfologia). Tais resultados são concordantes com os de SOARES et al. (2005b), que em suas observações microscópicas das lâminas delgadas também revelaram diferenciações da geometria do espaço poroso, em consequência de alterações causadas pelo manejo.

PIRES et al. (2009) utilizaram a análise de imagens na avaliação de possíveis modificações na distribuição do tamanho, número e formato dos poros de amostras de solos depois de submetidas a sequências de ciclos de umedecimento e secamento. Segundo os autores, tais ciclos produziram mudanças significativas nos poros irregulares grandes no LATOSSOLO VERMELHOAMARELO (LVAd) e LATOSSOLO VERMELHO (LVd), ambos Distróficos, e nos poros arredondados do NITOSSOLO VERMELHO Eutrófico (NVe). Observaram também mudanças importantes nos poros com diâmetro (35, 75 e 150  $\mu\text{m}$ ) para todos os solos. O uso de análise de imagens permitiu explicar importantes mudanças nos sistemas de poros (forma, número e tamanho de distribuição) devidas aos ciclos de umedecimento e secamento.

Apesar dos grandes avanços nesta área e, de alguns trabalhos que demonstram a utilização desta técnica nas alterações físico-hídricas e morfológicas da estrutura do solo sob determinado manejo, observa-se uma grande necessidade de se conhecer com mais detalhes os efeitos dos diferentes sistemas de manejos sobre a estrutura do solo e o desenvolvimento e produção das culturas.

Em grande parte dos trabalhos nesta área, as amostragens são orientadas por horizontes ou por profundidade e não propriamente considerando as estruturas ocorrendo em dado horizonte ou profundidade, como definidas pelas UMH's nos perfis culturais. O presente trabalho parte do pressuposto que tal orientação na amostragem traz ganhos na interpretação dos atributos, auxiliando ainda mais o entendimento e compreensão acerca da qualidade estrutural do solo quando submetido a um determinado manejo agrícola.

Neste contexto, a combinação do perfil cultural com o estudo micromorfológico se torna uma proposição diferenciada na análise e elucidação de alterações estruturais e impactos associados ao manejo agrícola na qualidade do solo sob cultivo.

#### 4.5. Referencias bibliográficas

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.A.E.A.S.. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum. Agronomy (Online)**, Maringá, PR, v. 26, n.1, p. 27-34, 2004.

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

BENITO N.P.; GUIMARÃES M.F.; PASINI, A.. Caracterização de sistemas de manejo em Latossolo Vermelho utilizando parâmetros biológicos, físicos e químicos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.29, n.3, p. 473-484, 2008.

BERTOL, I. et al.. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n.1, p. 155-163, 2004.

BRESSON, L.M.; VALENTIN, C. Soil surface crust formation: contribution of micromorphology. In: RINGROASE-VOASE A.J.; HUMPHREYS, G.S., eds. **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam, Development in Soil Science, n.22, Elsevier 1994. p.737-762.

BULLOCK, P. et al.. **Handbook for soil thin section description**. Albrington: Waine Reserch,1985. 152p.

BULLOCK, P.; THOMASSON, A.J.. Rothamsted studies of soil structure. II. Measurement and characterization of macroporosity by image analysis and comparison with data from water retention measurements. **Journal of Soil Science**, v.30, n.3, p. 391-413, September 1979.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F.. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ, 1997. 132p.

CARDOSO, E.G. et al.. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, n.3, p.493-501, mar. 2006.

CARTER, M.R. et al.. Concepts of soil quality and their significance. In: GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. (eds.). Soil quality for crop production and ecosystem health. New York: Developments in Soil Science, 1997, n.25. Elsevier, p.1-19.

CASTLHO, S.S.C.P.. **Evolução de crostas superficiais sob chuva natural em diferentes solos da região de Piracicaba, SP**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CASTRO, O. M.. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função de seu preparo na cultura do milho (Zea mays L)**. 1995. 174 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

CASTRO, S. S. de et al.. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N. et al. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 107-164.

COOPER, M.. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizontes B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 132 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

CURMI, P.; KERTTZMAN, F. F.; QUEIROZ NETO, J. P.. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: RINGROSE-VOASE A.J. & HUMPHERYS G.S., eds. Soil micromorphology: studies in management and genesis. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, 9., Townsville, 1994. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 596-579. (Developments in Soil Science, 22).

DE MARIA, I.C.; VIEIRA, S.R.; DECHEN, S.C.F.. Análise de parâmetros indicadores da qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ecologia**, Rio Claro, SP, v. 1, p. 32-34, 1997.

DE MARIA, I.C; CASTRO, O.M., SOUZA DIAS, H.. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.3, p. 703-709, 1999.

DEEKS, L.K. et al.. Quantification of pore size distribution and the movement of solutes through isolated soil blocks. **Geoderma**, Amsterdam, v. 90, p. 65-86, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H.. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.8, p. 253-263, 1986.

DERSIGNY, C.; GUIMARÃES, M.F.; VISINTIN, T.M.R. Observação do estado estrutural e da repartição espacial do sistema radicular do milho cultivado num Latossolo Roxo. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 8, Londrina, 1990. **Resumos...** Londrina, PR, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p.76.

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

DORAN J.W., PARKIN, T.B.. Defining and assessing quality. In: DORAN, J.W. et al. (Ed.), **Defining soil quality for a sustainable environment**. Baltimore: SSSA, 1994. p. 3-21. (Spec. Publ. 35).

DREES, L. R. et al.. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison v.58, p. 508-517, 1994.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranjeira com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, n.4, p.637-645, 2007.

FREGONEZI, G. A. F. et al.. Modificações morfológicas e físicas de um latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.4, p. 1017-1027, 2001.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H.. **Guide méthodique du profil cultural**. Lyon, CEREF-GEARA, 1987. 71p.

GENRO JR., S. A. **Alteração da compactação do solo com o uso de rotação de culturas no Sistema Plantio Direto**. 2002. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Biodinâmica do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2002.

GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; DUTRA, A.C.. Degradação física de um latossolo vermelho utilizado para a produção intensiva de forragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 863-873, 2007.

GODEFROY, J.; JACQUIN, F. Relation entre la stabilité structurale des sols cultivés et le apports organiques en conditions tropicales;comparasion avec les sols forestiers. **Fruits**, v. 30, p.595-612, 1975.

GUIDI, G.; PAGLIAI, M.; PETRUZZELLI, G.. Quantitative size evaluation of cracks and clods in artificially dried soil samples. **Geoderma**, Amsterdam, v. 19, p. 105-113, 1978.

GUIMARÃES, M .F.; RALISCH, R.; MEDINA, C. C.. O perfil cultural e as modificações da estrutura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, 1993, Goiânia. **Resumos...** Goiânia, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p. 23-24.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E.. Estimation soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**, v. 15, n. 6, p. 1633- 1635, 1979, doi:10.1029/WR015i006p01633.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B.; RILEY, H.. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p. 239-282, 1988.

HENIN, S. et al.. **Le profil cultural**: Principes de physique du sol. Paris, Masson, 1960. 320p.

IMHOFF, S; SILVA, A.P., TORMENA, C.A. Spatial heterogeneity of soil properties in areas under elephant-grass shortduration grazing system. **Plant Soil**, Dordrecht, v.219, p.161-168, 2000.

JUHÁSZ, C .E. P. et al.. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 64, n.4, p. 344-354, July/August 2007.

KAY, B.D.. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v.12, p. 1-51, 1989.

KRIBAA, M. et al.. Effect of various cultivation methods on the structure and hydraulic properties of a soil in a semi-arid climate. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, p. 43-53, 2001.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.32, n.6, p. 945-953, 2002 a.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n.5, p. 857-867, 2002b.

LAL, R.. Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos; tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente-Documentos, 03).

LETEY, J.. Relationship between soil physical properties and crop production. In: STEWART B. A. (ed.). **Advances in Soil Science I**; New York, v.1, p.277-294, 1985.

LIMA, H.V. et al.. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n.5, p. 677-684, 2005.

LIMA, C.L.R. et al.. Qualidade físico-hídrico e rendimento de soja (*Glycine Max L.*) e feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 36, p. 1172-1178, 2006.

MACHADO, J. L., TORMENA, C. A., FIDALSKI, J.. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.495-502, 2008.

MACHADO, J. L.. **Qualidade física de solos em distintos sistemas de uso e manejo quantificada pelo índice S**. 2006. 65f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2006.

MANICHON, H.; GAUTRONNEAU, Y. **Guía metódica del perfil cultural** – Informe 54. La Paz: IBTA/ORSTOM, 1996. 29p.

MANICHON, H.. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique.** 1982. 241f. Tese (Doutorado) - Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 1982.

MARSILI, A. et al.. Changes of some physical properties of a Clay soil following passage of rubber-and metal-tracked tractors. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.49, p.185-199,1998.

MEDINA, C.C.. **Estudo da aplicação de gesso, calcário e vinhaça na produção e enraizamento de cana-de-açúcar (Saccharum spp).** 1993. 175f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1993.

MELO IVO, W.M.P.; MIELNICZUK, J.. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.1, p.135-143, 1999.

MERMUT, A.R.. **Introduction to soil micromorphology.** Saskatoon: University of Saskatchewan, Department of Soil Science, 1992.115p.

MEROTTO, A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.2, p. 197-202, 1999.

MIEDEMA, R.. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. **Advances in Agronomy**, New York, v. 59, p. 119-169, **1997**.

MULLER, M. M. L. et al.. Degradação de pastagens na Região Amazônica: Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.36, n.11, p.1409-1418, 2001.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; BISWELL, K.J.. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part II. Applications. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, p. 509-518, 1977a.

MURPHY, C.P.; BULLOCK, P.; BISWELL, K.J.. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis. Part I. Principles and techniques. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.28, p.498-508, 1977b.

NEVES, C. S. V. J. et al.. Soil bulk density and porosity of homogeneous morphological units identified by the cropping profile method in clayey Oxisols in Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, The Netherlands, v.71, n.2, p.109-119, 2003.

NORTON, L.D. & SCHROEDER, S.L.. The effects of various cultivation methods on soil loss: A micromorphological approach. In: FEDOROFF, N.; BRESSON, L.M. and COURTY, M.A. (eds.) **Soil micromorphology**. L'Association Francaise pour l'Etude du sol. Plaisir, France, 1987, p. 431-436.

OLIVEIRA, C.V. et al.. Atributos micromorfológicos de solos do Projeto Jaíba, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.1, p. 117-128, 2000.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMONTE, G. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, p. 391-403, 1983.

PAGLIAI, M. et al.. Tillage impact on soil quality. I. soil porosity and related physical properties. **Italian Journal Agronomy**, Rome, v.2, p.11-20, 1998.

PAGLIAI, M. et al.. Changes in some physical properties of a Clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium Power. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.73, p.119-129, 2003.

PEREIRA NETO, O. C.; GUIMARÃES, M. F. Método para quantificar pequenas áreas (perfil do solo) utilizando SIG. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v.26, n.4, p.495-500, 2005.

PEREIRA NETO, O.C. et al.. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.11, n.5, p.489- 496, 2007.

PICCININ, J. 1. **Modificações no perfil de solo sob plantio direto com intervenções mecânica sob sucessão e rotação de culturas**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PICCININ, J.L.; TORRES, E.& SARAIVA, O.F. Compactação e desenvolvimento radicular da soja em latossolo roxo submetido aos sistemas de plantio direto e convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA- DESAFIOS E SOLUÇÕES DO COMPLEXO SOJA NO BRASIL. **Anais...**Embrapa Soja,1999.

PILLAI-McGRRAY, U.P.P.; COLLIS-GEORGE, N. Laboratory simulation of the soil surface morphology of self-mulching and non-selfmulching Vertisols. II. Materials, method and preliminary results. **Australian Journal of Soil Research**, Collingwood, v.28, p.141-152, 1990 a.

PIRES, L. F. et al. Pore system changes of damaged Brazilian oxisols and nitosols induced by wet-dry cycles as seen in 2-D micromorphologic image analysis. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, RJ, v. 81, n.1, p.151-161, 2009.

PROTZ, R.; SHIPITALO, M.J.; MERMUT, A.R. Image analysis of soil- present and future. **Geoderma**, Amsterdam, v.40, p.115-125, 1987.

RALISCH, R. Compactação de solos. **Cultivar Máquinas**. Pelotas, RS, v.5, p.9-11, 2002.

RALISCH, R.. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um latossolo roxo**. 1995. 65f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1995.

RALISCH, R., GUIMARÃES, M.F., MEDINA, C.C.. The cultural profile methodology utilization to evaluate the tillage effects and tillage equipment efficiency. In: WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 12, 1994, Milano. **Proceedings...** Merelbeke, CIGR, 1994. p.1273-1279.

RAWLS, W.J.; GISH, T.J. & BRAKENSIEK, D.L. Estimating soil water retention from soil physical properties and characteristics. **Advances Soil Science**, v.16, p.213-234, 1991.

ROSOLEN, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S.. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, SP, v.53, p. 259- 266, 1994.

SANTOS, M.C. Estudos micromorfológicos aplicados à avaliação da coesão em solos. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju, **Anais...** Aracaju, SE, EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2001. p. 67-91.

SCHAEFER, C.E.R. et al.. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.3, p.765-769, 2001.

SILVA, A.J.N., CABEDA, M.S.V.. Modificações na matriz de um Argissolo Amarelo Coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, PB, v.10, n.3, p.554–562, 2006.

SILVA, A. P; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.2, p.191-199, 2000.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; FOLONI, L.L. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.35, p.353-359, 2005a.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; PEREIRA, W.L.M.. Physical properties of soils under intensive agricultural management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n. p.165-172, 2005b.

SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica em um Latossolo Vermelho de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, 25:27-34, 2003.

SOUZA, Z.M. et al.. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.487-492, 2006.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Acta Agriculturae Scandinavia**, Estocolmo, v. 49, p. 1-24, 1999.

TAMIA, A. et al.. Influence du travail du sol sur l'évolution physique d'un sol forestier ferrallitique après défrichement motorisé. **Étude et Gestion des Sols**. Orleans, France, v. 6, n.1, p.27-39, 1999.

TAVARES FILHO, J. **Organisation et comportement des latosols du Paraná (Brésil). Influence de leur mise en valeur.** 1995. 229f. Tese (Doutorado en Science de la Terre, área de concentração Física do Solo) - Université Hanry Poicará - Nancy I, 1995.

TAVARES FILHO, J., TESSIER, D. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n. 3, p.899-906, 2010.

TAVARES FILHO, J. et al.. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n. 2, p.393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J. et al.. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, n.3. p.725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J. TESSIER, D.. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n.6, p.1837-1844, 2009.

TAYLOR, H. M.; BRAR, G. S.. Effect of soil compaction on root development. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, p. 111- 119, 1991.

THOMSASSON, A.J.. Towards and objective classification of soil structure. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v. 29, p. 38-46, 1978.

TORMENA, C.A. et al.. .Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, SP, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002.

TORMENA, C.A; ROLOFF, G.. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, SP, v.20, p.333-339, 1996.

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**, Viçosa, MG, v.28, n.1 p.11-19, 2004.

VOGEL, H.J.; BABEL, U. Experimental relationship between the micromorphological pore size distribution and the water retention characteristic. **Development in Soil Science**, v. 22, p.591-600, 1994.

## **5. DESENVOLVIMENTO DA TESE**

### **5.1. Caracterização morfológica e físico-hídrica de unidades morfológicamente homogêneas caracterizadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (Rhodic Hapludox) submetido a dois sistemas de manejo agrícola**

#### **RESUMO**

A caracterização do perfil cultural possibilita identificar as distintas feições morfológicas, referidas por “unidades estruturais morfológicamente homogêneas- UMH’s, associadas a um dado sistema de manejo agrícola, permitindo avaliar seus efeitos sobre a qualidade do solo. O objetivo do trabalho foi identificar e descrever as UMH’s de perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas (SP), após 6 anos de cultivo com milho sob Sistema Convencional com grade aradora no preparo primário (SC) e sob Sistema Plantio Direto (SPD), empregando o método do perfil cultural. O presente trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP. Para caracterização dos perfis culturais, foram abertas duas trincheiras, uma em cada sistema de manejo, em áreas contíguas às das parcelas experimentais, no sentido transversal à linha de plantio, durante a fase de pleno florescimento da cultura do milho. A descrição morfológica dos perfis de solo foi realizada segundo a metodologia do perfil cultural, quando foram identificadas e descritas as UMH’s e sob cada sistema de manejo agrícola. Para fins de comparação e avaliação do efeito do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo, também foi descrito um perfil em área contígua às parcelas experimentais, mantida sem uso agrícola e sob revegetação natural desde 1989 referida por parcela Memória e adotada como referência local da regeneração estrutural do solo. Os resultados revelam que até 20 cm de profundidade o perfil da parcela Memória apresenta estruturas fragmentadas (F) em pequenos e médios torrões (pt e mt), cujos estados internos variam de poroso ( $\mu$ ) a compacto ( $\Delta$ ) mais terra fina (tf), referidas por  $F_{pt\mu\Delta+tf}$  e  $F_{mt\Delta\mu}$  cujos valores de densidade do solo são respectivamente de  $(1,26 \text{ kg dm}^{-3})$  e  $(1,30 \text{ kg dm}^{-3})$ . Apesar do longo tempo em pousio, o solo da parcela Memória exhibe estrutura contínua (C) compacta designadas por  $C_{\Delta\mu}$  na profundidade de 20 a 35 cm com densidade do solo de 1,34

kg dm<sup>-3</sup>. A atividade biológica do solo no perfil da parcela Memória é superior à do solo sob SC e sob SPD, encontrando-se minhocas, cupins, formigas e corós. Sob SC, observou-se a ocorrência na profundidade entre 0 e 3 cm, de um volume de solo com estrutura livre (L), típica de solo trabalhado por implementos de revolvimento, como no caso da grade aradora utilizada no preparo primário. Abaixo deste volume, observou-se a ocorrência na profundidade entre 2,5 e 20 cm de estruturas fragmentadas similares à da parcela Memória e referidas por Fpt $\mu\Delta$ +tf , Fmt $\mu\Delta$  , Fpt $\mu\Delta$  apresentando densidades de 1,21 e 1,32 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Na profundidade entre 20 e 35 cm, o volume de solo apresenta-se contínuo e compacto (C $\mu$ ) sem porosidade visível a olho nú; com pouquíssimas raízes apresentando densidade do solo em torno de 1,46 kg dm<sup>-3</sup>. A atividade biológica em todas as estruturas do perfil cultural sob SC é inferior à da parcela Memória e à do SPD. No perfil cultural do SPD também se observou um volume de solo (0-16 cm) com estruturas fragmentadas semelhantes às anteriores dos tipos Fmt $\mu\Delta$  (1,32 kg dm<sup>-3</sup>) e Fpt $\mu\Delta$ +tf (1,26 kg dm<sup>-3</sup>). Abaixo deste volume, entre 7 e 45 cm, foi observada estrutura contínua compacta do tipo C $\mu$ , mas sem restrição ao sistema radicular (1,42 kg dm<sup>-3</sup>). A partir dessa profundidade (> 45 cm), não mais se verificam sinais de alteração da estrutura pelo manejo, caracterizando estrutura do tipo NAM. Conclui-se que as distintas UMH's encontradas sob SPD e parcela Memória refletem modificações estruturais com valores similares de densidade e porosidade do solo, evidenciando recuperação da qualidade estrutural do solo sob SPD, com o passar do tempo de adoção do sistema. Apesar da ocorrência de estruturas compactadas no solo sob SPD, não foi observada restrição ao enraizamento das plantas de milho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Unidades Morfológicamente Homogêneas (UMH's), Sistema Plantio Direto, Qualidade estrutural, Densidade do solo.

### 5.1.1. INTRODUÇÃO

A degradação da estrutura do solo, decorrente da compactação, provoca efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas, com prejuízos ao desenvolvimento da planta e à produção de alimentos (LETEY, 1985; BEUTLER et al., 2006; SILVA et al., 2010). Tal processo resulta na diminuição dos espaços porosos entre os agregados e ruptura destes, diminuindo o volume de poros, aumentando a densidade e resistência do solo à penetração das raízes (TAVARES FILHO et al., 2001). Na maioria das vezes, este processo em solos cultivados está relacionada com o tráfego de máquinas e implementos (COLLARES et al., 2006), com a redução dos teores de matéria orgânica e com menor estabilidade da estrutura do solo (DE MARIA et al., 1999).

Nos últimos anos, métodos mais conservacionistas de manejo do solo, como o preparo reduzido e o Sistema Plantio Direto, vêm sendo adotados em substituição aos convencionais. Os métodos conservacionistas, por não revolverem o solo ou revolvê-lo apenas parcialmente, afetam a estrutura de modo diferente dos preparos convencionais, com influência favorável sobre o desenvolvimento do sistema radicular das plantas e, por consequência, em sua produtividade.

No caso dos sistemas convencionais, as alterações estruturais podem levar a mudanças significativas na qualidade, com efeito negativo na infiltração e disponibilidade de água para as plantas, e na aeração do solo, reduzindo o volume de solo explorável pelas raízes das plantas cultivadas, com consequências graves em termos de degradação do solo e colheitas reduzidas.

Tais limitações podem ser diagnosticadas a partir da utilização de diferentes metodologias, as quais permitem avaliar a real condição física do solo. Segundo BATEY e MCKENZIE (2006) a qualidade estrutural do solo pode ser identificada por meio de avaliações visual e tátil, realizadas e concluídas diretamente no campo. Tais autores complementam que as avaliações visuais do solo permitem o exame detalhado dos aspectos da estrutura e podem indicar as profundidades ou camadas mais compactadas e relevantes para amostragens e análises mais específicas.

No Brasil, o método do Perfil Cultural (GAUTRONNEAU e MANICHON, 1987) foi o único empregado no diagnóstico do estado estrutural do solo no campo (TAVARES FILHO et

al., 1999; DERSIGNY et al.,1990, FREGONEZI et al., 2001). Tal método permite verificar, em solos agrícolas, o estado físico de horizontes antropizados em decorrência do tráfego de máquinas e da ação dos órgãos ativos dos implementos agrícolas (MANICHON, 1982; TAVARES FILHO et al., 1999).

Estudos sobre a morfologia e compactação de Latossolos com base no estudo de perfis mostram que a compactação do solo afeta não apenas os primeiros centímetros do solo, mas também camadas mais profundas de até 50 cm (TAVARES FILHO e TESSIER, 1998; TAVARES FILHO et al., 1999; TAVARES FILHO et al., 2001). De acordo com ASSOULINE et al., 1997), os Latossolos muito argilosos originários de basalto são altamente suscetíveis à compactação quando trabalhados em condições de umidade acima do ponto de friabilidade.

TAVARES FILHO e TESSIER (2009) estudaram as alterações morfoestruturais e da porosidade de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico sob preparo convencional e Sistema Plantio Direto por meio da descrição dos perfis de solo empregando o método do perfil cultural. Segundo os autores, os resultados permitiram concluir que o uso contínuo por 31 anos induziu diferenças estruturais nos perfis de solo sob manejo, em relação ao solo sob mata nativa. No caso do perfil sob plantio direto, observaram uma única unidade morfológicamente homogênea (UMH's) na camada de 0-0,6 m, designada por FΔ, isto é, com estrutura fragmentada e estado interno dos torrões compacto, sendo os agregados representados por blocos subangulares com superfícies lisas e presença de bioporos. Abaixo desta UMH, entre 0,60 e 1,00 m, a estrutura do solo foi similar àquela sob floresta (referência -μ), isto é, estrutura microagregada porosa com bioporos presentes.

Nesse mesmo trabalho, o perfil do solo sob preparo convencional apresentou uma maior diversificação estrutural devido ao maior número de operações agrícolas. Na camada de 0-0,2 m do solo, foi identificado um volume com estrutura contínua e compacta que se quebrava em blocos angulares referida por CΔ e abaixo desse volume, na profundidade entre 0,2-0,5 m, foi identificada uma UMH do tipo contínua compacta (CΔ) que se quebrava em agregados fortemente coesos com superfícies lisas e, ausência de poros e bioporos dentro e entre agregados. Abaixo dessa camada, a estrutura do solo encontrado passa a ser a mesma que no solo sob mata (referência-μ), isto é, estrutura microagregada e porosa.

Diante do exposto, neste capítulo são apresentadas as descrições dos perfis culturais do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas (SP) cultivado com milho sob sistema convencional (SC) e sob Sistema Plantio Direto (SPD) após 6 anos de implantação de um ensaio de manejo.

## **5.1.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1.2.1. Localização e descrição da área de estudo**

O presente trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, no município de Campinas/SP, com coordenadas geográficas 22° 48' 57" de latitude sul e 47° 03' 33" de longitude oeste, e altitude média local de 640 m.

O tipo climático regional segundo a classificação de Köppen é uma transição entre o tipo mesotérmico com inverno seco (Cwa) e verão quente (Cfa), com média anual da umidade relativa do ar entre 72,2% e 47,6%. A temperatura média anual é de 22,4 °C, sendo que a temperatura do mês mais quente (Fevereiro) é superior a 22°C e a do mês mais frio (Junho) inferior a 18°C. A precipitação média anual é de 1.382 mm, com o período chuvoso compreendido entre os meses de outubro a março (1.048 mm). Já o período mais seco ocorre de junho a setembro. As precipitações mensais durante o ciclo da cultura do milho ao longo de duas safras, 2008/2009 e 2009/2010, encontra-se no Anexo 1.

O LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (*Rhodic Hapludox*) da área experimental se caracteriza por ser muito profundo, de textura argilosa ou muito argilosa, com teor médio de argila de 610 g kg<sup>-1</sup>; estrutura microagregada forte muito pequena granular, e consistência úmida, friável e muito friável. Esse solo também se caracteriza pela ocorrência de elevados teores de ferro total entre 180 e 360 g kg<sup>-1</sup>, herdados do material de origem (OLIVEIRA et al., 1979). No levantamento semidetalhado de solos realizado por OLIVEIRA et al. (1979) este solo foi enquadrado na unidade de mapeamento Barão Geraldo.

Foram avaliadas duas parcelas experimentais situadas em vertente com 0,09 m m<sup>-1</sup> de declividade, exposição oeste e orientação norte-sul, com dimensões de 20 m de largura x 30 m

de comprimento, compondo uma area útil de 600 m<sup>2</sup> cada. Cultivadas com milho para grão da variedade SHS 4050 (Santa Helena Sementes), uma foi manejada sob Sistema Convencional com grade aradora em nível no preparo primário do solo (SC) e a outra sob Sistema Plantio Direto (SPD), sendo avaliadas duas safras de verão, 2008/2009 e 2009/2010, correspondentes ao sexto e sétimo anos de ensaio de manejo de longa duração instalado em 2003.

A determinação das necessidades de adubação se baseou nos resultados das análises de fertilidade do solo (Tabela 5.1.1) e na produtividade potencial da variedade.

Tabela 5.1.1. Caracterização da fertilidade química do solo na profundidade entre 0,0 – 0,2 m em duas parcelas experimentais em Campinas (SP) cultivadas com milho sob Sistema Plantio Direto (SPD) e Sistema Convencional com grade aradora (SC).

Sistema de Manejo	Atributo								
	pH CaCl <sub>2</sub>	MO	Mg	Potássio (K)	Fósforo (P)	CTC	SB	H +AL	V
		g dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%
SC	5,1	36	10	1,9	14	90,2	47,9	42	53
SPD	4,9	35	12	5,6	74	106,9	64,6	42	60

Sendo: V= saturação por bases; CTC= capacidade de troca catiônica; SB= soma de bases trocáveis; H+AL= acidez potencial, MO = Matéria Orgânica Mg= Magnésio

### 5.1.2.2. Histórico de uso das parcelas experimentais (1990-2003 e 2003-Atual)

O histórico de uso e manejo das parcelas experimentais teve seu início no biênio 1985/86, podendo ser resumido em duas fases correspondentes ao desenvolvimento de dois ensaios de longa duração referidos por Ensaios I (1990-2003, anterior) e II (2003- em andamento, atual). Anteriormente ao Ensaio I a área era reflorestada com eucaliptos, cuja destoca com correntão promoveu compactação severa do solo.

No biênio 85/86 foram implantados na área do Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola nove parcelas, sendo oito dotadas com sistemas coletores da perda de terra e água e uma sem sistema coletor, que foi mantida como “Memória”. A construção da infra-estrutura foi concluída em Agosto de 1986, quando se efetuou toda sistematização e

homogeneização do solo das parcelas com relação aos aspectos químicos, físicos, biológicos e topográficos.

Durante o ano agrícola de 1986/87, todas as parcelas foram subsoladas e plantadas com crotalária, objetivando à maior uniformidade possível da área experimental. No ano agrícola seguinte (1987/88), realizou-se semeadura de milho em toda a área, precedida de nova subsolagem. No ano subsequente (1988/89), a cultura de soja foi implantada em toda a área, objetivando a prática de rotação de culturas, novamente utilizando a subsolagem. Em 1989/90, cultivou-se à cultura de milho, em toda a área, com nova subsolagem. Em 1990/91, implantaram-se tratamentos diferenciados nas oito parcelas com talhão coletor e, desde então, a parcela Memória tem sido mantida em pousio, para revegetação natural. Os sistemas de preparo do solo do Ensaio I foram: P1- Grade Aradora; P2- Sistema Alternado; P3- Escarificação; P4- Plantio Direto; P5- Arado de disco em nível; P6- Roçado; P7- Arado de disco morro abaixo; P8- Enxada rotativa.

No período de 1990 a 2003, essas parcelas foram mantidas sob os mesmos tratamentos citados, sendo sempre cultivado o milho para pipoca em sete parcelas, à exceção de P6 mantida com gramínea e roçada. Os trabalhos desenvolvidos tiveram por objetivos gerais estudar a relação entre os métodos de preparo de solo, a produtividade do milho e as perdas de terra por erosão (LUCARELLI, 1997; MEDEIROS, 2002). A parcela Memória mantida desde 1989 sem uso agrícola para revegetação natural tem sido usada como uma referência local da qualidade do solo em regeneração.

O uso e manejo contínuo das demais parcelas com distintos sistemas de manejo levaram à diferenciação de atributos físicos, químicos e biológicos do solo, da produtividade e das perdas de terra por erosão entre outros. Os resultados obtidos estão descritos com detalhes em trabalhos e dissertações de DANIEL et al. (1996); LUCARELLI et al. (1996); LUCARELLI (1997); MEDEIROS (2002), MARQUES (2006), MARQUES et al. (2010) e PUGLIESI et al. (2011).

Em julho de 2003, foi efetuada amostragem para caracterização da condição física e química do solo das parcelas para conclusão do Ensaio I (1985-2003) e início de uma nova fase da pesquisa nas parcelas (2003-Atual- Ensaio II). Após a caracterização do solo, procedeu-se uma escarificação em área total, a 0,30 m de profundidade, visando romper camadas compactadas e homogeneizar o solo das parcelas experimentais e da área entre as

parcelas, minimizando os efeitos residuais decorrentes do Ensaio I. Ainda, anteriormente à semeadura da cultura principal (milho), foi semeada aveia preta, que foi mantida como planta de cobertura nas quatro parcelas sob SPD (P1 a P4), e incorporada ao solo nas quatro parcelas sob SC (P5 a P8).

O delineamento experimental do ensaio atual é constituído por dois sistemas de manejo ou de produção (Sistema Convencional com grade aradora em nível no preparo primário (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD), com 4 replicações. A Figura 5.1.1 ilustra a área das parcelas experimentais e a Tabela 5.1.2, extraída de MARQUES et al. (2010), relaciona os tratamentos e a correspondência entre tratamentos do Ensaio I e do Ensaio II.

Tabela 5.1.2. Descrição dos tratamentos do Ensaio I (anterior) e do Ensaio II (atual) na área das parcelas com sistemas coletores de enxurrada do Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP.

Parcela	Tratamentos	Tratamentos
	Ensaio I (Anterior)	Ensaio II (Atual)
P1	Grade Aradora	Sistema Plantio Direto (SPD)
P2	Sistema Alternado <sup>1</sup>	Sistema Plantio Direto (SPD)
P3	Escarificador	Sistema Plantio Direto (SPD)
P4	Semeadura Direta	Sistema Plantio Direto (SPD)
P5	Arado de Disco em Nível	Sistema Convencional(SC)
P6	Roçado <sup>2</sup>	Sistema Convencional(SC)
P7	Arado de Disco Morro Abaixo	Sistema Convencional(SC)
P8	Enxada Rotativa	Sistema Convencional(SC)

Sendo: <sup>1</sup>Sistema Alternado de Equipamentos (primeiro ano com grade aradora, segundo ano com arado de discos, terceiro ano com arado de aivecas e quarto com escarificador); <sup>2</sup>Parcela mantida com gramíneas e Roçada sem Mobilização.

No primeiro ano agrícola, safra (2003/04), implantou-se a cultura do milho (variedade SHS 4050) como cultura de verão, nas oito parcelas experimentais. Após a colheita, foram retiradas amostras para caracterização da fertilidade química e de atributos físico-hídricos do solo, a partir de amostras deformadas e indeformadas, bem como monitoradas as perdas de terra durante o ciclo da cultura, além da produtividade e de indicadores biométricos das culturas. A

caracterização deste ensaio e parte dos resultados obtidos estão descritos com detalhe na dissertação de MARQUES (2006).

No segundo, terceiro e quarto anos agrícolas (safras 2004/05; 2005/06; 2006/07), foi efetuado o plantio de verão com a mesma variedade de milho (SHS 4050), sendo que nas safras 2005/06 e 2006/07 foram realizadas culturas de inverno, sendo cultivadas respectivamente as variedades de feijoeiro IAC- Carioca e Pérola, , sendo que as parcelas P4 (SPD) e P6 (SC) foram irrigadas por aspersão convencional. Anualmente, após a colheita da safra de verão o solo das parcelas foi amostrado para caracterização física, química e biológica. Também foram realizados ensaios para avaliação da resistência do solo à penetração e da condutividade hidráulica durante a fase de maturação fisiológica do milho. Resultados obtidos em relação às safras de verão estão descritos nos trabalhos de SILVA (2007), SILVA et al. (2009 e 2010) e em relação às safras de inverno nos trabalhos de ROQUE et al. (2010) e BIZARI et al. (2010).

Na safra 2007/2008 foi efetuado o plantio de milho (var. SHS 4050) no verão e de feijão, variedade IAC-Carioca no inverno, sendo irrigadas por aspersão convencional as parcelas P4 (SPD) e P5 (SC) e monitorados atributos químicos e físicos do solo. Após a colheita da safra de verão, o solo de todas as parcelas foi amostrado para caracterização dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Nas safras 2008/2009 e 2009/2010, foi efetuado o plantio de milho (var. SHS 4050) no verão em todas as parcelas experimentais. Para realização do presente estudo, apenas as parcelas P1 (SPD) e P8 (SC) foram monitoradas, caracterizadas e os resultados aqui relatados.

Os perfis culturais do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da área experimental foram abertos em áreas contíguas às das parcelas experimentais P1 (SPD) e P8 (SC), à época do florescimento do milho na safra de verão 2008/2009. À mesma época também foi aberto e descrito perfil do solo da parcela Memória. Já nesta safra e na seguinte (2009/2010) foram instalados sensores de umidade (blocos de gesso e tensiômetros) em duas profundidades no solo em ambas as parcelas P1 e P8 para monitoramento da umidade do solo durante todo ciclo da cultura, mas sendo também monitorados outros atributos físico-hídricos do solo. Ao final de cada safra foram efetuados ensaios biométricos para avaliação do desenvolvimento da cultura e da produção.

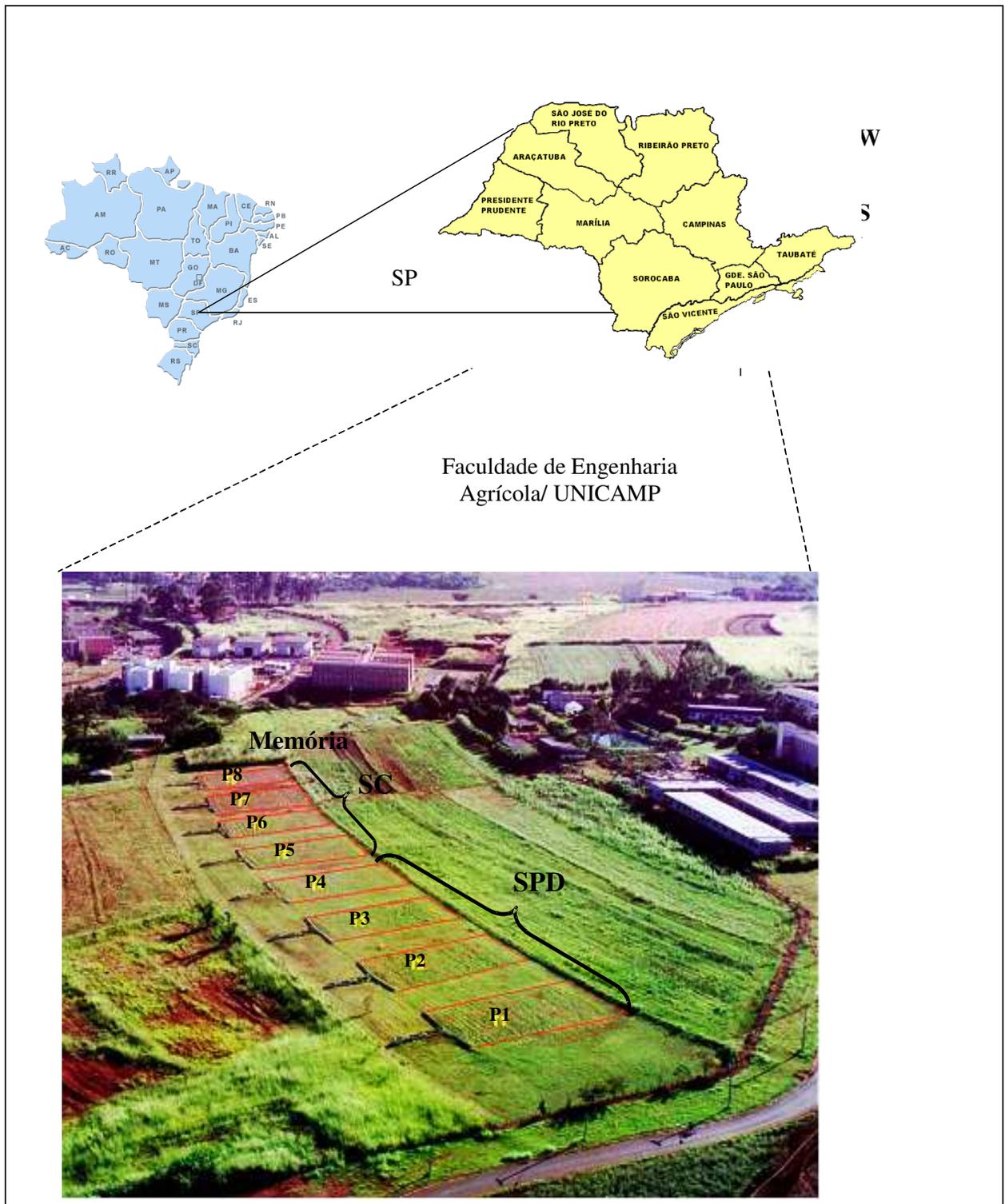


Figura 5.1.1. Localização da área experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola- Unicamp, com detalhe de vista aérea das parcelas experimentais, destacando-se os seguintes sistemas: Plantio direto (SPD) e Convencional (SC). P1-P4 repetições do SPD; P5-P8 repetições do SC.

### **5.1.2.3. Referências para os atributos analisados**

Para auxiliar a interpretação da qualidade estrutural do solo na área experimental foram adotadas duas referências, descritas a seguir.

**Referência 1** - A condição do solo sob vegetação natural de mata tropical subcaducifolia, conforme apresentado por OLIVEIRA e MENK (1984), para a qual adotou-se o perfil 1245. Do Anexo 2 consta a descrição dos principais atributos morfológicos e características físicas e químicas do perfil.

**Referência 2** - A condição do solo na parcela Memória, por estar sendo mantida sem uso agrícola e sob revegetação natural desde 1986.

### **5.1.2.4. Caracterização dos perfis culturais em cada sistema de manejo e na parcela Memória**

Para caracterização dos perfis culturais foram selecionadas áreas contíguas às das parcelas experimentais, na região entre as parcelas P1 e P2, representativa do sistema de manejo SPD e entre as parcelas P7 e P8, representativa do sistema de manejo SC. Tal procedimento visou não perturbar as parcelas experimentais por fazerem parte de projeto de longa duração acerca de indicadores de qualidade do solo e da água afetados pela erosão e pelo manejo em sistemas de produção agrícola. Por outro lado, tal procedimento é válido porque a preparação do solo é realizada de maneira contínua nas parcelas P1 a P4 (SPD) e P5 a P8 (SC), o que determina que as áreas contíguas às mesmas tenham recebido sempre os mesmos tratamentos que as parcelas em si.

Para caracterização dos perfis culturais, foram abertas trincheiras representativas dos dois sistemas, SPD e SC, e na parcela Memória, em Abril de 2009, durante a fase de pleno florescimento da cultura do milho. Nos três locais, as estruturas foram observadas e descritas de acordo com a metodologia do perfil cultural conforme originalmente proposta por GAUTRONNEAU e MANICHON (1987) e posteriormente adaptada às condições brasileiras por RALISCH et al. (1995) e TAVARES FILHO et al. (1999). As trincheiras foram abertas perpendicularmente à linha de preparo/semeadura, nas dimensões de 1,40 m de comprimento

por 0,60 m de profundidade, abrangendo duas plantas no caso do tratamento SC e SPD. Na parcela Memória, as dimensões da trincheira foram de 1,20 m de comprimento por 0,60 m de profundidade.

A metodologia do *Perfil Cultural* pressupõe diagnosticar morfológicamente o estado estrutural do solo no campo. Com auxílio de faca, foram delimitados volumes de solo alterados pelo manejo, denominados unidades morfológicamente homogêneas (UMH's), comparando-os com aqueles encontrados no solo sob a parcela Memória. Em cada perfil cultural, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas das UMH's para caracterizações físico-hídricas, químicas e biológicas.

Os critérios para descrição do modo de organização do perfil e do estado interno dos torrões constam nas Tabelas 5.1.3 e 5.1.4. Concomitantemente realizaram-se as descrições morfológicas das UMH's de acordo com os procedimentos usuais contidos em LEMOS e SANTOS et al. (2005). De modo geral, foram analisados critérios de forma, tamanho e distribuição dos elementos estruturais; presença ou ausência de poros visíveis a olho nu e a continuidade destes; forma e dureza de agregados e torrões, atividade biológica, umidade, direção e formato das raízes e fissuras, dentre outros fatores.

Tabela 5.1.3. Modos de organização do perfil de solo<sup>(1)</sup>

Nível de análise	Simbologia	Definição
I	AM	Volume de solo visualmente alterado pelo manejo, isto é, pelo maquinário agrícola e pelas raízes.
II	NAM	Volume de solo visualmente não alterado pelo manejo.
	L	Volume de solo livre, solto, constituído por terra fina, solo pulverizado, agregados e torrões de tamanhos variados (de 0 a 10 cm) sem nenhuma coesão. Comum na superfície dos solos trabalhados. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. A estabilidade em água e a coesão a seco entre agregados desse volume de solo são nulas, mas a estabilidade e a coesão dos agregados podem ser altas. A porosidade a olho nu é importante.
	F	Volume de solo fragmentado, em que a individualização de torrões é facilitada por planos de fraqueza entre as unidades estruturais, sendo estas de tamanhos variados. Quando presentes nesse volume, as raízes se desenvolvem preferencialmente entre os torrões, nas fissuras existentes. Podem ser bem ramificadas e orientadas em todas as direções, mas normalmente apresentam aspecto achatado. A porosidade é essencialmente fissural.
(Somente para volume AM)	Z	Volume de solo formado essencialmente de estrutura laminar. As raízes, quando presentes nesse volume, são tortuosas e com desenvolvimento horizontal. Normalmente, não são ramificadas e, além da tortuosidade, apresentam aspecto bem achatado.
	C	Volume de solo em que os elementos (agregados e terra fina) estão unidos, formando um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. Pode apresentar raízes em grandes quantidades, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções, quando o volume não for compacto, e, ou, não ramificadas, achatadas e tortuosas, orientadas horizontalmente, quando o volume for compacto. A porosidade é essencialmente de empilhamento de agregados, podendo apresentar cavidades arredondadas e/ou poros tubulares.

(1) Nos modos de organização L e F, além do estado interno dos torrões, devem-se classificar os torrões pelo tamanho: 1 a 5 cm = pequenos; 6 a 10 cm = médios; > 10 cm = grandes.

Tabela 5.1.4. Estado interno dos torrões presentes nos diferentes modos de organização do volume de solo antropizado.

Nível de análise	Simbologia	Definição
III	$\mu$ (Agregado não compacto)	Estado interno dos torrões caracterizado por uma distribuição de agregados com estrutura interna e externa porosa, fácil de ser observada a olho nu, com predominância de poros tipo amontoamento de agregados. Normalmente, apresenta raízes intra e entre agregados, bem ramificadas, não achatadas, com orientação vertical não prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são rugosas e a coesão a seco é pequena.
	$\Delta$ (Agregado compacto)	Agregados com estrutura angulosa (poliédrica, cúbica ou prismática), devido à forte pressão externa, com uma porosidade visível a olho nu muito pouco desenvolvida, com predominância, quando existir, de poros tubulares e, ou, cavidades arredondadas, podendo existir fissuras. Quase não apresenta raízes e estas, quando presentes, possuem poucas ramificações. São achatadas, com orientação vertical prejudicada pela compactação. As faces de ruptura são principalmente lisas e a coesão a seco é muito elevada.
	$\mu\Delta / \Delta\mu$ (Agregado $\pm$ compacto)	Estado intermediário entre agregados compactos e não compactos, com duas possibilidades: (1) Estado ( $\mu\Delta$ ): agregados que estão em processo de compactação, mas que ainda guardam predominantemente as características do estado não compacto $\mu$ sobre as características do estado compacto $\Delta$ (definidos acima); (2) Estado ( $\Delta\mu$ ): agregados que estão bem compactos, mas que ainda guardam algumas características do estado não compacto $\mu$ (definido acima).

**Obs:** Durante a análise do perfil cultural, se forem observados volumes de solo com problema de hidromorfia, volumes com concentração de matéria orgânica ou resultantes de atividade biológica, estes devem ser indicados com a seguinte simbologia: **h** para indicar hidromorfia; **b** para indicar atividade biológica, e **mo** para indicar matéria orgânica.

Nos perfis culturais de cada sistema de manejo e na parcela Memória foram selecionadas UMH's para extração de amostras deformadas e indeformadas de solo destinados à análises físico-hídricas.

### **5.1.2.5. Atributos físicos e hídricos das UMH's**

#### **5.1.2.5.1. Análise Granulométrica e Densidade de partículas (Dp)**

As análises granulométricas foram realizadas empregando o método da Pipeta, conforme descrito em (CAMARGO et al., 1986), mas com agitação mecânica empregando mesa agitadora recíproca de baixa rotação marca Marconi modelo MA 139/ CFT 40.

Para a densidade de partículas, para cada UMH's foi pesado 20 g de terra fina seca em estufa a 105°C, transferindo-se para um balão volumétrico aferido de 50 ml. Em seguida, com auxílio de uma bureta, adicionou-se 25 ml de álcool etílico. Agitou-se delicadamente e deixou-se em repouso até o dia seguinte, quando o volume do balão volumétrico foi completado vagarosamente com álcool etílico, a fim de se eliminar as bolhas.

As análises foram realizadas em triplicata no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (Campinas, SP).

#### **5.1.2.5.2. Curva de retenção de água no solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo**

Para levantamento das curvas de retenção, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e da densidade do solo (Ds) foram retiradas amostras com estrutura indeformada por meio de anel metálico do tipo Köpcke, com volume de 100 cm<sup>3</sup>, segundo a metodologia descrita em (KIEHL, 1979). O número de repetições para cada UMH's em cada sistema de manejo dependeu da área representada pelo mesmo no perfil, sendo que em algumas UMH's e sob alguns manejos devido ao seu tamanho não se realizou a amostragem indeformada com o cilindro. Para todas as UMH's amostradas o cilindro foi inserido na posição horizontal do perfil com o auxílio de uma ripa de madeira.

No laboratório, as amostras indeformadas devidamente preparadas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de 2/3 da altura dos anéis. Após o período de saturação, as amostras foram drenadas no potencial equivalente a 6 kPa utilizando panela de pressão de Richards conforme KLUTE (1986). A partir dos valores de umidade na saturação da amostra e dos valores de retenção de água,

calcularam-se os valores de macroporosidade, microporosidade e porosidade total de acordo com os métodos descritos em KIEHL (1979).

A curva de retenção de água foi determinada obtendo-se a umidade gravimétrica em painéis de pressão de Richards, com placas porosas, para as pressões de 0, 2, 6, 10, 33, 50, 75, 100, 300, 500, 700 e 1.500 kPa. Após as amostras atingirem o equilíbrio com a pressão aplicada, as mesmas foram pesadas e colocadas na estufa a 105°C por 24 horas, para determinação da umidade à base de massa e a densidade do solo. A densidade do solo foi calculada pela razão entre a massa de solo seco em estufa contido no anel pelo volume do anel, de acordo com procedimentos descritos em CAMARGO et al. (1986). A curva de retenção de água do solo foi ajustada por meio da equação proposta por Van GENUCHTEN (1980), calculando os parâmetros de entrada,  $\alpha$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $\theta_s$  e  $\theta_r$ , com o programa Soil Water Retention Curve- SWRC (DOURADO NETO et al. 2000) e fazendo o ajuste das curvas no programa MATLAB 6.5.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \psi_m)^n]^m}$$

Onde:  $\theta$ , umidade do solo determinada experimentalmente ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_s$ , umidade do solo na saturação ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\theta_r$ , umidade residual do solo ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ );  $\psi_m$ , potencial matricial da água no solo (kPa);  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ , parâmetros de ajuste do modelo.

#### 5.1.2.6. Análises Estatísticas dos dados

Os dados físicos e hídricos foram analisados utilizando delineamento inteiramente aleatorizado. Foi efetuada a análise exploratória dos dados por tratamento e por UMH's, e verificada a normalidade dos dados pelo teste de SHAPIRO-WILK (1965).

A variabilidade do conjunto de dados, expressa pelo coeficiente de variação (CV%), foi verificada de acordo com os critérios de WARRICK e NIELSEN (1980), que indicam como sendo de baixa variabilidade coeficiente de variação inferior a 12%, de média variabilidade coeficiente de variação igual ou superior a 12% e inferior a 60%, e de alta variabilidade coeficiente de variação superior a 60%. Também foi realizada análise de

variância pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de DUNCAN, com 5% de probabilidade. Para realização das análises, foi utilizando o programa computacional SAS (SAS Institute, 1990).

### **5.1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1.3.1. Perfil cultural e as Unidades Morfológicamente Homogêneas - UMH's**

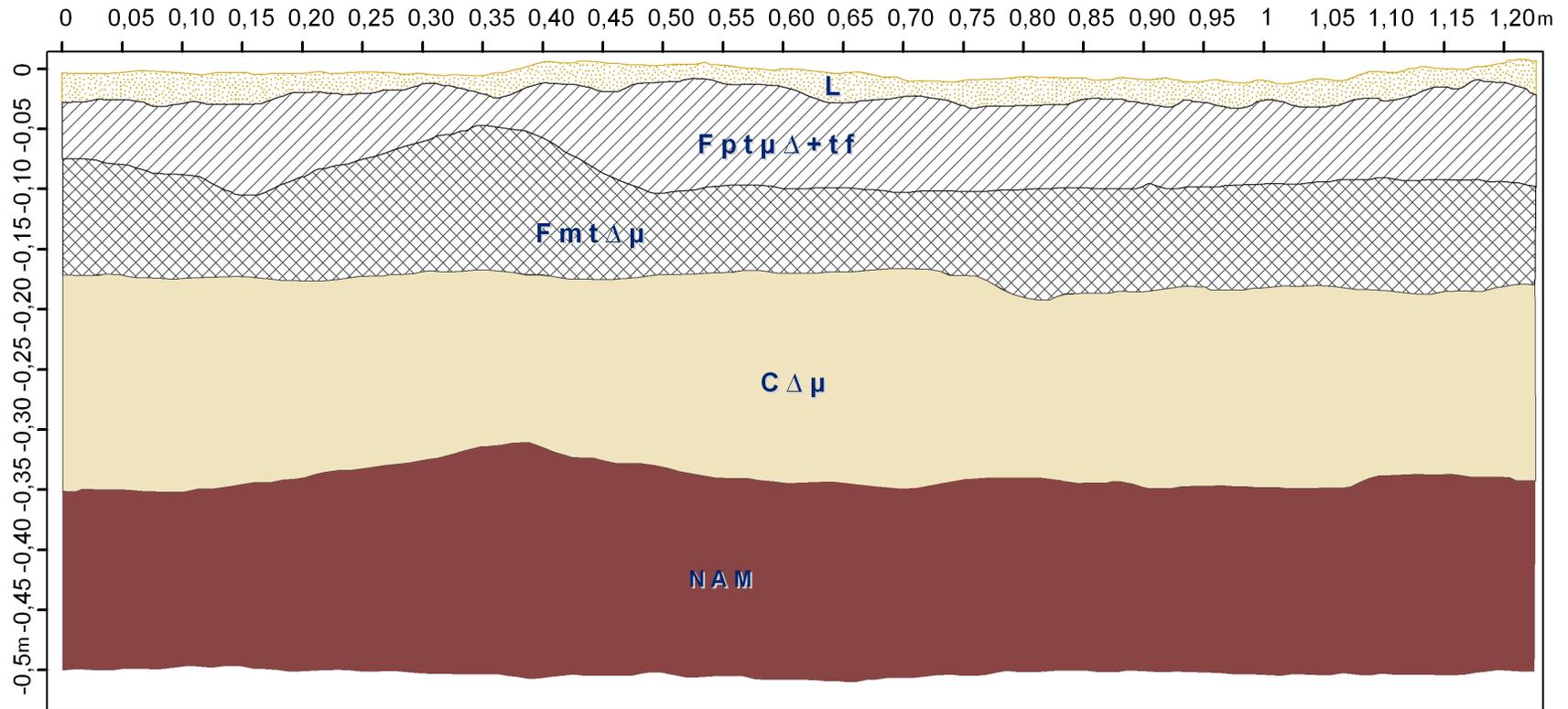
##### **5.1.3.1.1. Parcela Memória (Referência da condição estrutural do solo após ser mantido em pousio sob revegetação natural durante mais de 20 anos)**

O perfil cultural da parcela Memória é mostrado na Figura 5.1.2, observando-se a partir da superfície do solo, a seguinte seqüência de volumes: Livre (L); Fragmentado com variações de tamanho e estado interno dos agregados (Fpt $\mu\Delta$ +tf; Fmt $\Delta\mu$ ) e Contínuo ou maciço na escala do perfil, e com variação do estado interno dos agregados (C $\mu\Delta$ ) quando extraído material do volume.

As observações morfológicas do perfil revelam que a estrutura L compreende uma camada superficial delgada, com espessura de  $\pm 0$  a 2 cm e com área aproximada de 0,023 m<sup>2</sup>, cor vermelho-escura (10R 2,5/2, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, seco); textura argilosa a muito argilosa. Constituída por terra fina (solo solto) e agregados e torrões de tamanhos variados sem nenhuma coesão (Figura 5.1.3a), a estrutura é moderada pequena a média em blocos subangulares consistência solta; muito friável; plástica e pegajosa. Apresenta também restos de folhas, galhos em estágio de decomposição variado e grande quantidade de raízes não achatadas, bem ramificadas e orientadas em todas as direções (Figura 5.1.3b).

Abaixo do volume L, observa-se na Figura 5.1.2 que até 20 cm de profundidade o perfil da parcela Memória apresenta estruturas fragmentadas (F) em pequenos e médios torrões (pt e mt), com estrutura interna porosa ( $\mu\Delta$ ) ou compacta ( $\Delta\mu$ ) mais terra fina (tf) designadas por Fpt $\mu\Delta$ +tf e Fmt $\Delta\mu$ . Uma característica marcante da estrutura F (fragmentada) é a presença de torrões visíveis na escala do perfil, devido à fragmentação presente, onde as raízes se desenvolvem preferencialmente nos espaços entre os torrões e se apresentam bem ramificadas e orientadas em todas as direções.

## Memória



Legenda: F ou C = volume de solo Fragmentado ou Contínuo;  $\Delta\mu$  ou  $\mu\Delta$  = torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos  $\Delta$ , compactos  $\mu$  e agregados em processo de compactação ( $\mu\Delta$ ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

Figura 5.1.2. Representação esquemática das diferentes organizações do perfil cultural sob Parcela Memória, em Campinas, SP.



Figura 5.1.3. Aspecto do perfil cultural do solo da Parcela Memória com destaque em (a) para a UMH do tipo L (livre), volume de solo solto, constituído de terra fina e agregados e torrões de tamanhos variados sem nenhuma coesão; em (b), restos de folhas e galhos em estágios variados de decomposição e grandes quantidades de raízes.

O volume de solo do tipo  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  encontra-se na profundidade entre  $\pm 2$  e 10 cm, com área aproximada de  $0,106 \text{ m}^2$ , com cor vermelho-escura (10R 2,5/2, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, seco); textura argilosa a muito argilosa; estrutura forte média blocos subangulares; consistência macia; muito friável; plástica e pegajosa. Neste volume é possível observar a existência de resiliência da estrutura refletida no estado interno dos torrões. Estes apresentam características de processo de compactação, mas ainda guardam características predominantes do estado não compactado ( $\mu$ ) sobre as características do estado compacto ( $\Delta$ ). Este reflexo de recuperação da estrutura pode estar muito associado com a presença marcante de atividade biológica, evidenciada pela presença de coros, formigas, cupins, como observado em campo (Figura 5.1.4).



Figura 5.1.4. Aspecto do volume do tipo  $F_{\mu\Delta pt+tf}$  extraído do perfil cultural do solo da Parcela Memória, notando-se a estrutura forte em blocos subangulares e a presença marcante de raízes entre os torrões.

Ainda na Figura 5.1.2, observa-se abaixo do volume  $F_{\mu\Delta pt+tf}$ , outro volume de solo fragmentado referido por  $F_{\mu\Delta\mu}$ , ocorrendo na profundidade  $\pm 10-20$  cm e apresentando médios torrões e estado interno compacto. Esta unidade é a segunda maior nesse perfil com área de aproximadamente  $0,1059 \text{ m}^2$  e com características morfológicas de cor, textura, consistência e estrutura semelhantes ao volume anterior, distinguindo-se apenas no tamanho dos blocos subangulares presentes (Figura 5.1.5).



Figura 5.1.5. Perfil cultural do solo da Parcela Memória, com destaque para a UMH do tipo  $F_{\mu\Delta\mu}$ , com estrutura de blocos subangulares.

Importante destacar que no volume  $Fmt\Delta\mu$ , a porosidade entre agregados ainda é importante, com presença de raízes com desenvolvimento normal e orientadas em todas as direções, porém em menor quantidade quando comparada ao volume anterior. A atividade biológica é praticamente ausente, a não ser pela presença de alguns cupins.

Entre 18 - ~ 35 cm ocorre uma UMH mais compacta designada por  $C\Delta\mu$  (Figura 5.1.2), constituindo um volume de solo bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça (apédica) na escala do perfil, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. Retirando-se material desse volume, a estrutura é forte grande em blocos subangulares e angulares (Figura 5.1.6) e o estado interno dos agregados é compacto ( $\Delta\mu$ ), mas guardando ainda algumas características do estado não compacto. As demais características morfológicas, cor, textura e consistência, assemelham-se às das UMH's descritas anteriormente ( $Fmt\Delta\mu$  e  $Fpt\mu\Delta+tf$ ). Dentre as unidades alteradas pelo manejo (AM), esta UMH é a maior desse perfil cultural, com área aproximada de 0,2004 m<sup>2</sup>.



Figura 5.1.6. Aspecto da UMH do tipo  $C\Delta\mu$  do perfil cultural do solo da Parcela Memória, com estrutura forte grande blocos subangulares e angulares.

Outro aspecto observado nesta UMH, é uma ainda menor quantidade de raízes e de atividade biológica em relação às UMH's anteriores, como já era esperado devido ao estado interno dos torrões bastante compacto. No entanto, mesmo em menor quantidade, as raízes se apresentam ramificadas, não achatadas, não tortuosas e orientadas em todas as direções.

Após 35 cm de profundidade, o solo é poroso e a estrutura microagregada é forte muito pequena granular típica dos Latossolos, não se mostrando alterada pelo manejo (NAM) (Figura 5.1.2). Essa UMH apresenta coloração vermelho-escura (10R 2,5/2, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, seco), textura muito argilosa, consistência macia, friável, plástica e pegajosa, com morfologia típica das estruturas não alteradas encontradas sob perfil de mata.

A condição desse mesmo solo sob vegetação natural de mata tropical subcaducifolia, conforme relatado por OLIVEIRA e MENK (1984) (Anexo 2) é que na profundidade de 0-35cm apresenta-se com coloração bruno-avermelhado-escura (2,5YR 3/4 úmida, 2,5 YR 3/4 seca), textura argilosa, estrutura forte média granular, consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa, com transição clara e plana e abundância de raízes finas.

Contudo, a descrição do perfil cultural do solo da parcela Memória revela predomínio de estruturas com evidências de processos de compactação ( $F\Delta\mu$ ,  $C\Delta\mu$ ) até 35 cm de profundidade, apesar de estar sendo mantida sem uso agrícola por mais de 20 anos. Com base no histórico acerca do uso e manejo da área anterior ao Ensaio I, interpreta-se o fato como consequência da retirada de tocos de eucalipto com uso de correntão, que condicionou uma grande compactação do solo. Porém, a presença de raízes e de atividade biológica tem promovido a recuperação da estrutura do solo ao longo do tempo.

#### **5.1.3.1.2. Parcela P1 Sistema Plantio Direto (SPD)**

No perfil cultural do solo manejado sob SPD (Figura 5.1.7) não ocorre o tipo de estrutura L (livre), que pode ser explicado pelo não revolvimento do solo, que previne a pulverização da camada superficial, porém encontra-se em maior quantidade restos de plantas em estágio avançado de decomposição característico deste sistema, pela manutenção dos restos de cultura bem como de plantas de cobertura para formação da palhada à superfície do solo. Observa-se neste perfil um volume de solo (0- 15 cm) com estruturas do tipo fragmentada (F), com variações do estado interno dos agregados entre  $\Delta\mu/ \mu\Delta$ , com predominância de agregados  $\mu\Delta$ , possibilitando um maior enraizamento e infiltração de água no solo dentro do perfil.

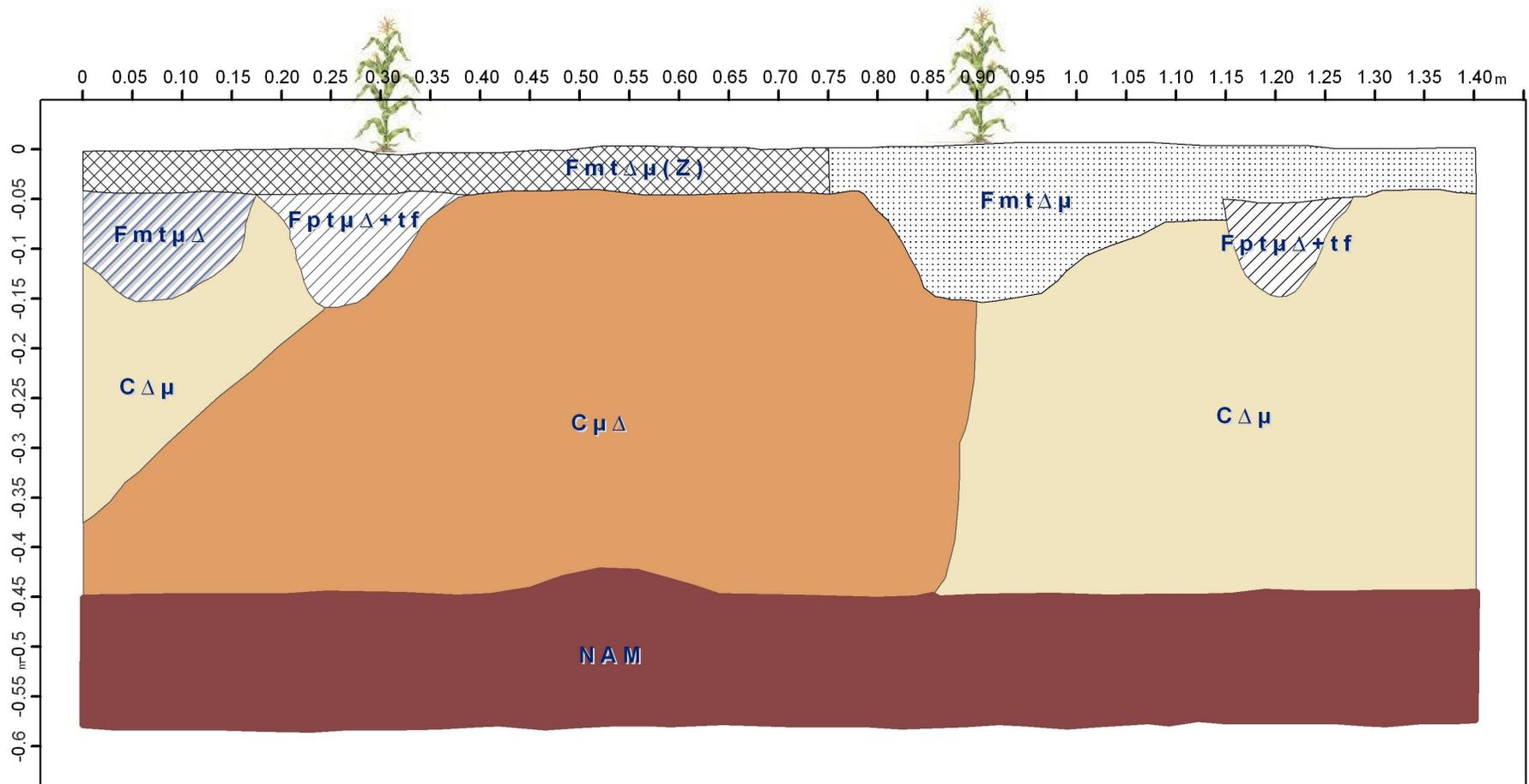
O volume do tipo  $F\mu\Delta\mu$  (z) (fragmentado, médios torrões e com agregados compactos) encontra-se na profundidade de  $\pm 0$  a 6 cm, com área aproximada de  $0,0729\text{m}^2$ ,

com cor vermelho-escura (10R 3/3, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, seco); textura argilosa a muito argilosa; a estrutura é moderada a fraca grande e média blocos subangulares (Figura 5.1.8); e consistência macia; friável; plástica e pegajosa. Neste volume, a presença de agregados com estrutura Z (laminar), denota compactação oriunda provavelmente do efeito do rodado na área e do não revolvimento do solo por este sistema de manejo.



Figura 5.1.8. Aspecto do volume do tipo Fmt $\Delta\mu$  (z) extraído do perfil cultural do solo sob SPD

## Sistema Plantio Direto



Legenda:  $F$  ou  $C$  = volume de solo Fissural ou Contínuo;  $\mu\Delta$  ou  $\mu\Delta$  = torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos  $\Delta$ , compactos  $\Delta\mu$  e agregados em processo de compactação ( $\mu\Delta$ );  $pt$ ,  $mt$ ,  $gt$  = pequenos, médios ou grandes torrões;  $tf$  = terra fina;  $L$  = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado";  $Z$  = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição.  $NAM$  = não alterado pelo manejo.

Figura 5.1.7. Representação esquemática das diferentes organizações do perfil cultural sob Sistema Plantio Direto, em Campinas, SP.

Ainda na Figura 5.1.7, observa-se na cova do milho um volume referido por  $F_{pt\mu\Delta+tf}$  (fragmentada, pequenos torrões e com muitos agregados pouco compactos + terra fina), ocorrendo na profundidade  $\pm 4-16$  cm e apresentando as características morfológicas de cor, textura e estrutura semelhantes ao volume anterior, distinguindo-se apenas no tamanho dos blocos subangulares presentes (pequeno) e consistência muito pegajosa (Figura 5.1.9). Esta unidade apresenta área de aproximadamente  $0,0211 \text{ m}^2$ . Observam-se também raízes em grande quantidade, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções.

Outros dois volumes do tipo fissural aparecem nesse perfil (Figura 5.1.7), dos tipos  $F_{mt\mu\Delta}$  (fragmentado, médio torrões e com muitos agregados pouco compactos) e  $F_{mt\Delta\mu}$  (fragmento, médio torrões e com muitos agregados muito compactos). A UMH do tipo  $F_{mt\mu\Delta}$ , encontra-se  $\pm 4$  a  $15$  cm com área aproximada de  $0,020 \text{ m}^2$ , com coloração vermelho-escura (10R 3/3, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (2,5YR 3/4, seca); textura muito argilosa; com estrutura em blocos subangulares médios de grau moderado a fraco, e consistência friável; plástica e muito pegajosa.

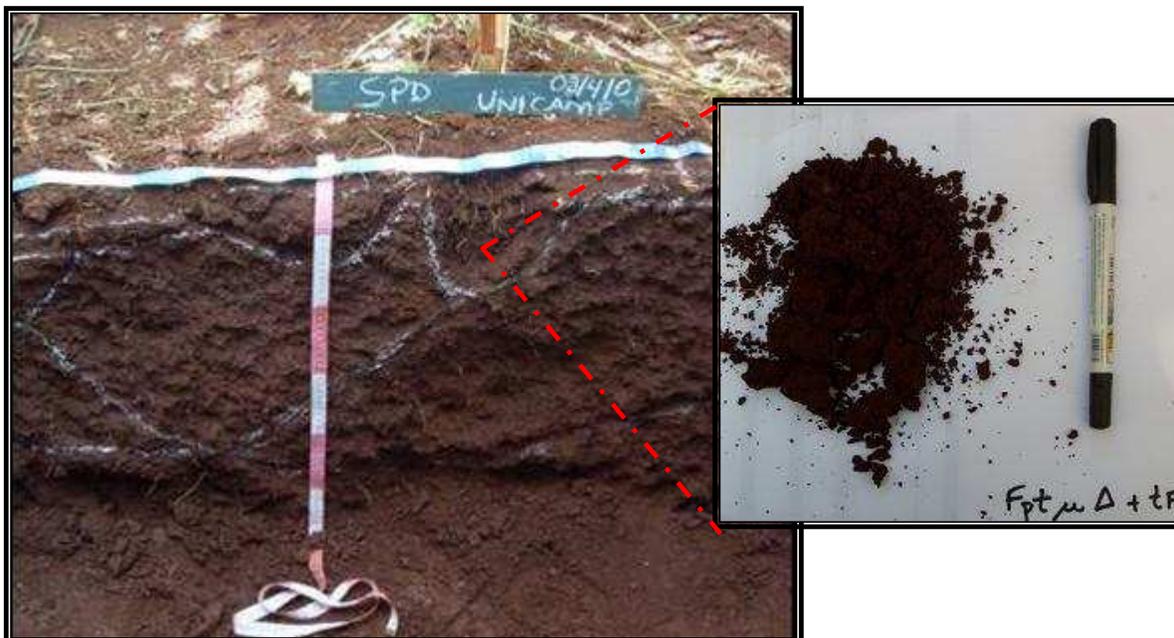


Figura 5.1.9. Perfil cultural do solo sob SPD, com destaque para a UMH do tipo  $F_{pt\mu\Delta+tf}$  situado na cova da planta de milho.

A outra UMH Fmt $\Delta\mu$ , situando-se  $\pm 4$  a 16 cm, com área aproximada de 0,0559 m<sup>2</sup>, apresenta as características morfológicas de cor, textura, consistência e estrutura semelhante ao primeiro volume descrito Fmt $\Delta\mu$  (z), distinguindo-se apenas na ausência de estruturas do tipo Z (laminar) (Figura 5.1.7).

As estruturas fragmentadas encontradas neste perfil se assemelham àquelas do perfil da Parcela Memória, sendo a característica marcante da estrutura a presença de torrões individualizados e visíveis já na escala do perfil e o desenvolvimento das raízes preferencialmente entre os torrões nos espaços entre agregados. Apesar dos volumes F apresentarem na maior parte agregados compactados ( $\Delta\mu$ ), não foi observada restrição de crescimento radicular nesta camada.

Abaixo dessa estrutura, observam-se volumes de tipo C entre 10-45 cm, com variações do estado interno dos agregados entre  $\Delta\mu/\mu\Delta$  (Figura 5.1.7). As camadas C $\Delta\mu$  e C $\mu\Delta$  apresentam cavidades biológicas, com presença ou sinais de atividade de minhocas e formigas, que junto com as raízes construíram, em parte, o arranjo dessa camada.

Os volumes C $\mu\Delta$  e C $\Delta\mu$  representam a maior área nesse perfil com cerca de 0,5216 m<sup>2</sup> e 0,3185 m<sup>2</sup>, respectivamente. Tais volumes apresentam características morfológicas semelhantes com cor vermelho-escura (10R 3/3, úmida), textura argilosa a muito argilosa, estrutura em blocos angulares grandes de grau forte, e consistência friável, plástica e muito pegajosa. Nestes dois volumes, (C $\Delta\mu$  e C $\mu\Delta$ ), não foram observadas restrições ao enraizamento, com raízes não achatadas, bem ramificadas e orientadas em todas as direções. Volumes do tipo C $\mu\Delta$  ou C $\Delta\mu$  sob Sistema Plantio Direto em Latossolo também foram encontrados nos trabalhos de RALISCH (1995) e CARDOSO et al. (2006) até 50 cm de profundidade.

Entre 45-57 cm de profundidade, o solo é poroso e a estrutura microagregada do tipo forte muito pequena granular (C $\mu$ ) típica do horizonte B Latossólico (Bw), não se mostrando alterada pelo manejo (NAM) (Figura 5.1.7). Essa UMH apresenta área aproximada de 0,2915 m<sup>2</sup>, coloração vermelho-escura (10R 3/3, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, seco), textura muito argilosa, estrutura granular muito pequena de grau forte (Figura 5.1.10), consistência macia, friável, plástica e muito pegajosa, com morfologia comparável às estruturas não alteradas encontradas no perfil da Memória e sob SC.



Figura 5.1.10. Aspecto da estrutura microagregada de volume NAM do perfil cultural do solo sob SPD.

Aparentemente as estruturas presentes neste perfil proporcionam uma boa qualidade física para crescimento e desenvolvimento do milho. Em caso de déficit hídrico durante o ciclo da cultura, o solo sob o SPD não deverá apresentar restrição de rendimento, devido às raízes estarem localizadas abaixo de 30 cm de profundidade. A atividade biológica é grande e superior à encontrada no perfil cultural do solo sob SC que será descrito em seguida, encontrando-se minhocas, cupins, formigas e corós. A distribuição do sistema radicular é uniforme ao longo do perfil, não ocorrendo concentração nas camadas superiores.

Pode-se observar que em comparação com o solo da Parcela Memória (Figura 5.1.2), o perfil cultural do solo sob SPD apresenta estruturas tendendo à compactação ( $F\Delta\mu$ ,  $C\Delta\mu$ ) e, em alguns pontos, estruturas bem compactas tipo ( $C\Delta$ ). Observa-se ainda que o SPD ocasionou compactação até 45 cm, com estruturas tipo  $C\mu\Delta$  ou  $C\Delta\mu$ , mas que não prejudicou o enraizamento do milho, que ocorreu em todo perfil. O perfil cultural do solo sob SPD se assemelha ao da Parcela Memória e ao SC. Essas observações corroboram com os resultados obtidos por PEREIRA NETO et al. (2007), onde analisaram o tempo de consolidação do Sistema Plantio Direto em área de LATOSSOLO VERMELHOAMARELO, textura argilosa, no estado de Goiás pelo método do perfil cultural. Tais autores constataram que as estruturas onde o plantio direto foi implantado há menos de oito anos (caso do presente trabalho) assemelharam-se as estruturas do sistema de plantio convencional, e que no solo sob Sistema

Plantio Direto implantado há mais de nove anos, as estruturas se assemelharam aquelas do perfil sob floresta.

Os resultados obtidos por TAVARES FILHO e TESSIER (2009) reforçam a observação de PEREIRA NETO et al. (2007), pois tais autores estudaram as alterações morfoestruturais e da porosidade de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico sob preparo convencional e semeadura direta e concluíram que o uso contínuo por 31 anos de Sistema Plantio Direto induziram diferenças estruturais nos perfis de solo sob manejo, em relação ao solo sob mata nativa. No caso do perfil sob plantio direto, observaram uma única UMH na camada de 0-0,6 m, fragmentada e compacta (FΔ) com estrutura poliédrica subangular e superfícies lisas e presença de bioporos. Abaixo desta UMH, entre 0,60 e 1,00 m, a estrutura do solo foi do mesmo tipo que sob floresta (referência -μ) com estrutura microagregada com bioporos presentes.

#### **5.1.3.1.3. Parcela P8 Sistema Convencional(SC)**

Na descrição do perfil cultural sob SC (Figura 5.1.11), observa-se maior variação da estrutura. Na superfície do perfil (0 - 3 cm), ocorre um volume de solo livre (L) típico de solo trabalhado por implementos, não compactado, poroso a olho nu, constituído de terra fina e agregados de vários tamanhos sem nenhuma coesão. As observações morfológicas do perfil revelam que a estrutura L apresenta área aproximada de 0,021 m<sup>2</sup>, com coloração vermelho-escuro-acizentada (10R 3/4, úmida) e bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/6, seca), textura argilosa a muito argilosa, estrutura granular muito pequena de grau forte, consistência solta, friável; plástica e pegajosa. Observam-se também raízes em grande quantidade, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas, orientadas em todas as direções. Na mesma profundidade, na região situada na entrelinha das plantas ocorre um volume do tipo Z (estrutura laminar), denotando compactação oriunda provavelmente do efeito do rodado na área (Figura 5.1.12).

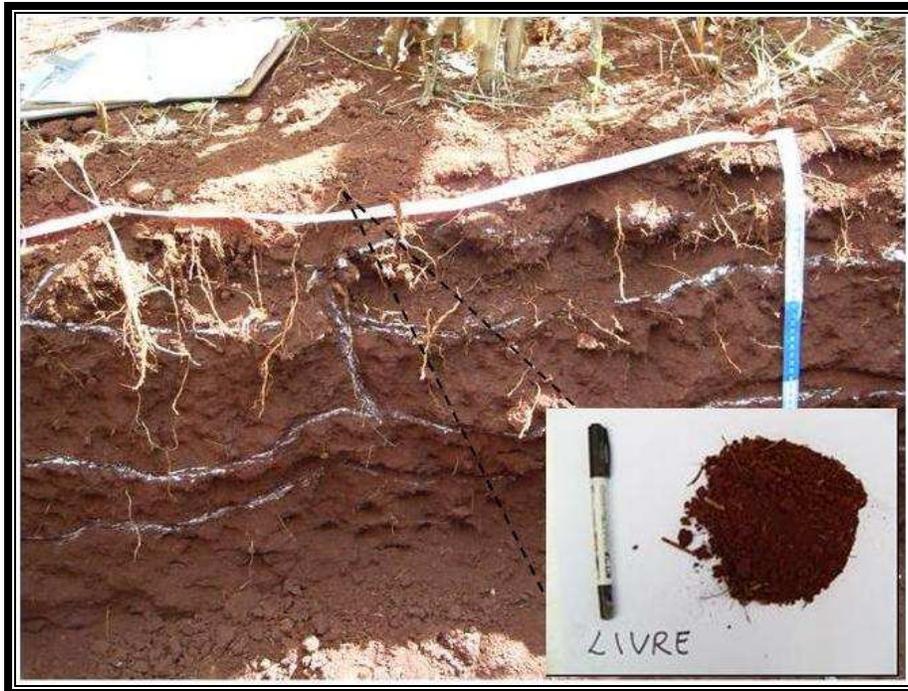


Figura 5.1.11. Perfil cultural do solo sob SC com destaque para a UMH do tipo L (livre), com raízes em grande quantidade, bem ramificadas, não achatadas e não tortuosas e orientadas em todas as direções.

Logo abaixo da estrutura L, observam-se vários volumes com estrutura do tipo F, situadas na profundidade em torno de 3-17 cm, com diferentes estados internos dos torrões (Figura 5.1.12). Na linha de semeadura, observa-se que até 9 cm de profundidade o perfil cultural do SC apresenta estruturas dos tipos  $F_{pt\mu\Delta}+tf$  (fragmentada, pequenos torrões e com muitos agregados pouco compactos + terra fina) e  $F_{mt\mu\Delta}$  (fragmentado, médios torrões e com muitos agregados pouco compactos). A UMH do tipo  $F_{pt\mu\Delta}+tf$ , encontra-se  $\pm 3$  a 8 cm com área aproximada de  $0,0717 \text{ m}^2$ , com coloração vermelho-escura (10R 3/3, úmido) e vermelho-escuro-acizentada (2,5YR 3/4, seca), textura muito argilosa, com estrutura granular muito pequena de grau forte e em blocos subangulares médios de grau moderado, e consistência macia, friável, plástica e pegajosa. A outra UMH é a  $F_{mt\mu\Delta}$ , situando-se  $\pm 3$  a 9 cm, com área aproximada de  $0,019 \text{ m}^2$ , com coloração, textura e consistência semelhante a UMH descrita acima, diferindo apenas no tamanho da estrutura sendo em blocos subangulares e angulares grandes de grau forte.



Na entrelinha, na posição do rodado, a UMH é do tipo Fmt $\Delta\mu$  (Z), ocorrendo entre 3-14 cm de profundidade, com área aproximada de 0,035 m<sup>2</sup> e apresentando características morfológicas semelhantes a UMH anterior, porém os agregados encontram-se internamente mais compactados e com evidência de estrutura laminar do tipo (Z). Tais características dos agregados demonstram o efeito do rodado das máquinas na entrelinhas do sistema de manejo.

As estruturas fragmentadas encontradas neste perfil se assemelham em muito àquelas encontradas no perfil da Parcela Memória, sendo a característica marcante da estrutura a presença de torrões individualizados e o desenvolvimento das raízes preferencialmente nos espaços entre agregados. Apesar dos volumes F apresentarem na maior parte agregados em processo de compactação ( $\mu\Delta$ ), não foi observada restrição ao crescimento radicular nesta camada, as raízes se apresentam ramificadas, não achatadas, não tortuosas e orientadas em todas as direções.

Entre 7 - ~ 43 cm ocorre uma UMH mais compacta designada por contínua (C) com variações do estado interno dos agregados entre  $\Delta\mu/ \mu\Delta$  (Figura 5.1.12), constituindo um volume bastante homogêneo, com aspecto de estrutura maciça, sendo impossível a individualização de torrões a olho nu. O volume do tipo C $\Delta\mu$  ocorre em dois locais no perfil, entre 7-25 cm e outro a 17-33 cm com área aproximada de 0,1353 m<sup>2</sup>. Tais volumes apresentam características morfológicas de coloração vermelho-escura (10R 3/3, úmida), textura argilosa a muito argilosa, estrutura em blocos angulares grandes de grau forte, e consistência friável, plástica e pegajosa (Figura 5.1.13).

Entre estes dois volumes encontra-se o volume do tipo C $\Delta$  com área aproximada de 0,0990 m<sup>2</sup> (Figura 5.1.12) e características morfológicas de coloração, textura, consistência e estrutura semelhante à UMH descrita acima diferindo apenas na menor quantidade de raízes presentes (Figura 5.1.13). Abaixo deste, ocorre um volume do tipo C $\mu\Delta$  localizado a 24-43 cm de profundidade com área aproximada de 0,1353 m<sup>2</sup> e com características morfológicas de coloração, textura, consistência e estrutura semelhantes a UMH C $\Delta$  descrita acima (Figura 5.1.12).

Um aspecto muito importante observado nos volumes C (contínuo) é uma menor quantidade de raízes e de atividade biológica em relação às UMH's do tipo F (fragmentadas), como já era esperado devido ao estado interno dos torrões apresentarem-se bastante compactos.

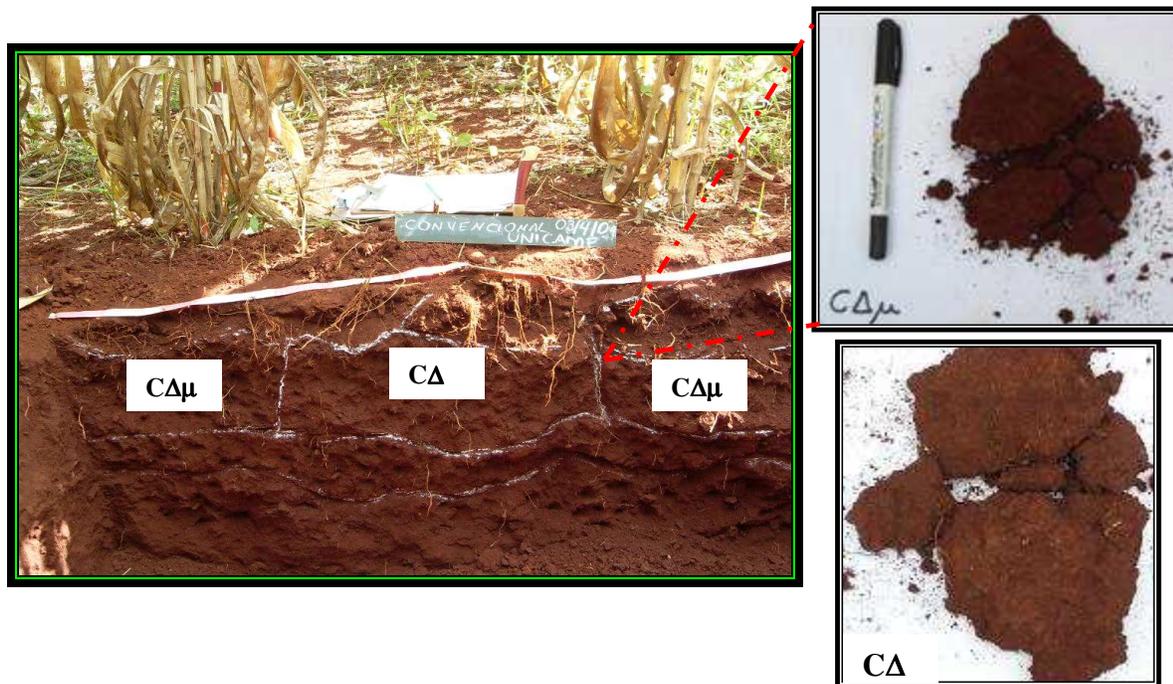


Figura 5.1.13. Aspecto da UMH do tipo CΔμ e CΔ do perfil cultural do solo sob SC, com estrutura forte grande blocos subangulares e angulares.

Outro aspecto observado no perfil cultural sob SC é o maior número de UMH's encontradas quando comparado ao perfil da parcela Memória (Figura 5.1.2) e sob SPD (Figura 5.1.7), refletindo o efeito de inúmeras operações realizadas sob este sistema. Essa mesma tendência foi constatada por TAVARES FILHO e TESSIER (2009) em perfil cultural sob sistema convencional, onde observaram uma maior subdivisão de UMH's devido à antropização.

Entre 37-57 cm de profundidade, o solo é poroso e a estrutura microagregada (Cμ) é semelhante aos volumes NAM (não alterado pelo manejo) da parcela Memória e sob SPD (Figura 5.1.12).

De maneira geral, os resultados obtidos com a metodologia do perfil cultural indicam que os efeitos do cultivo do solo pelo SC condicionam volumes fragmentados até cerca de 0,15m, nos quais as raízes se desenvolvem sem restrições. Abaixo dessa profundidade e até cerca de 0,45m a predominância de volumes contínuos e compactos condicionam porosidade visível praticamente inexistente e restrição ao crescimento radicular, sendo que tal condição

quando em presença de déficit hídrico durante a fase de crescimento e desenvolvimento da cultura pode condicionar rendimento reduzido devido às raízes estarem situadas superficialmente. Ressalta-se também que a atividade biológica em todas as estruturas do perfil sob SC é inferior às dos perfis Memória e sob SPD, encontrando-se apenas alguns cupins e formigas.

Com base nos resultados obtidos, recomendações de orientação de amostragem do solo para fins de monitoramento da qualidade para produção agrícola devem considerar essa restrição ao crescimento radicular observada no solo sob SC, onde as raízes se restringem às camadas mais superficiais, e uma maior amplitude de escolha de locais para amostragem e posicionamento de sensores no solo sob SPD, uma vez que as raízes nesse sistema ocupam toda extensão da linha de semeadura em maior profundidade.

### **5.1.3.2. Atributos físicos e hídricos das UMH's**

#### **5.1.3.2.1. Análise Granulométrica e Densidade de partículas (Dp)**

Os resultados da granulometria não mostraram grandes variações dos teores de argila, silte e areia total das UMH's dentro de cada perfil e entre perfis. Para os três perfis, constata-se aumento dos valores de argila e diminuição dos de areia em profundidade no solo (Tabela 5.1.5). Aumento gradual de argila em profundidade no solo é um fato comum em Latossolos e nos solos em geral. A destacar que no caso presente, esse aumento não é suficiente para caracterizar a presença de gradiente textural, típica dos solos com B textural, o que poderia identificar um Latossolo do tipo transicional. A relação silte/ argila, inferior a 0,6, é um atributo diferencial e típico dos solos com horizonte B latossólico, isto é, altamente intemperizados e desenvolvidos. A variação de argila em profundidade nas UMH's, pode indicar a ação de mecanismos de translocação ou da perda diferencial de argila em superfície, por erosão ou por sua destruição, mesmo que não seja suficiente para definir um horizonte B textural. Tais observações corroboram com as constatações micromorfológicas descritas qualitativamente nas lâminas sob as UMH's onde houve o predomínio de feições pedológicas do tipo denso contínuo de argila com extinção forte contínua que preenchiam poros cavitários e canais, principalmente nas UMH's contínuas e localizadas na subsuperfície.

Tabela 5.1.5. Teores médios de argila, areia total, silte, relação silte/argila e densidade de partículas (Dp) das UMH's sob cada perfil.

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; Δ ou μ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios

Perfis	UMH's	Prof. (cm)	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----			$\text{kg dm}^{-3}$	
			Argila	Areia Total	Silte	Sil/Arg	Dp
Parcela Memória	F pt μΔ +tf	~ 2 - ~ 10	548	243	209	0,38	2,652
	F mt Δμ	~ 10 - ~ 20	572	208	220	0,38	2,618
	CΔμ	~ 18 - ~ 35	580	260	160	0,28	2,697
	NAM	> 35	581	213	206	0,35	2,689
Sistema Plântio Direto (SPD)	FptμΔ+tf (cova)	~ 0- ~ 16	551	256	193	0,35	2,577
	FmtΔμ (linha)	~ 0- ~ 16	621	215	164	0,26	2,598
	CΔμ (linha)	~ 7- ~ 45	635	213	152	0,24	2,683
	CμΔ	~ 17- ~ 45	647	210	143	0,22	2,682
	NAM	> 45	657	206	137	0,21	2,686
Sistema Convencional (SC)	FptμΔ+tf (cova)	~3 - ~8	571	225	204	0,36	2,656
	FptΔμ (linha)	~ 3- ~9	587	249	164	0,28	2,616
	CΔμ (linha)	~ 17- ~ 33	624	224	152	0,24	2,765
	CμΔ (linha)	~ 24- ~ 45	646	203	151	0,23	2,721
	NAM	> 35	640	211	149	0,23	2,695

ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição; NAM = não alterado pelo manejo. Sil/Arg= relação silte/argila.

A textura argilosa a muito argilosa verificada nestas UMH's nos perfis é decorrente do tipo de material de origem (rochas basálticas). A mineralogia com predomínio de minerais ferromagnesianos e o baixo teor de sílica das rochas básicas favorece a ação dos agentes do intemperismo originando solos com textura argilosa.

Quanto à densidade das partículas (Dp) em solos de clima tropical e subtropical valores próximos de  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$  como os observados em todas as UMH's são comuns, uma vez que na pedogênese, o mineral primário residual da hidrólise dos minerais silicatados é comumente o quartzo, cuja massa específica é de  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ . Valores mais elevados e próximos a  $3,0 \text{ kg dm}^{-3}$  podem ser verificados quando óxidos de ferro e outros minerais pesados que apresentam ferro na sua constituição ocorrem no perfil (KIEHL, 1979). Ressalta-se também que este atributo (Dp) é pouco influenciado pelos sistemas de manejo, porém, os componentes

orgânicos podem diminuir o seu valor. A Dp foi maior nas UMH's contínuas ( $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ ) sob SC em relação as outras UMH's contínuas sob a parcela Memória e SPD.

As UMH's fragmentadas ( $Fp\mu\Delta+tf$  e  $Fmt\Delta\mu$ ) sob SPD obtiveram o menor valor de Dp como consequência provavelmente da maior influência do componente orgânico nestas unidades. Corroborando com as observações das lâminas onde constatou-se nestas unidades uma intensa atividade biológica observada na matriz do solo, com destaque da presença de coprólitos nos poros como também a presença de excretas.

#### **5.1.3.2.2. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade**

Todos os atributos físicos nos perfis analisadas apresentaram normalidade pelo teste de SHAPIRO-WILK (1965). As Tabelas 5.1.6, 5.1.7 e 5.1.8 apresentam os resultados referentes à análise descritiva para os atributos físicos densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi), para as UMH's sob a parcela Memória, SPD e SC, respectivamente.

Observando-se os coeficientes de variação (CV%), constata-se que para os atributos físicos Ds, PT, Ma e Mi a variabilidade dos dados é baixa ( $CV < 12\%$ ) para todos as UMH's analisadas nos perfis, enquanto que para o atributo macroporosidade a maioria das UMH's sob cada perfil apresenta média variabilidade ( $12\% < CV < 60\%$ ).

Tabela 5.1.6 Estatística descritiva para os atributos do solo das UMH's da parcela Memória.

<b>Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Memória</b>	F pt $\mu\Delta$ +tf	1,26	1,25	0,017	1,25	1,28	1,37
	F mt $\Delta\mu$	1,30	1,28	0,026	1,28	1,34	2,01
	C $\Delta\mu$	1,34	1,34	0,046	1,28	1,39	3,45
	NAM	1,17	1,16	0,027	1,15	1,21	2,31
<b>Porosidade do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Memória</b>	F pt $\mu\Delta$ +tf	0,49	0,49	0,006	0,48	0,49	1,18
	F mt $\Delta\mu$	0,50	0,49	0,030	0,47	0,53	6,09
	C $\Delta\mu$	0,48	0,48	0,005	0,48	0,49	1,13
	NAM	0,47	0,47	0,009	0,46	0,48	2,02
<b>Macroporosidade (Ma) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Memória</b>	F pt $\mu\Delta$ +tf	0,09	0,08	0,006	0,08	0,09	6,92
	F mt $\Delta\mu$	0,13	0,14	0,025	0,10	0,16	19,60
	C $\Delta\mu$	0,08	0,08	0,008	0,07	0,09	10,20
	NAM	0,13	0,12	0,019	0,12	0,15	15,31
<b>Microporosidade (Mi) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>Memória</b>	F pt $\mu\Delta$ +tf	0,39	0,41	0,011	0,39	0,41	2,862
	F mt $\Delta\mu$	0,37	0,37	0,022	0,33	0,39	6,19
	C $\Delta\mu$	0,40	0,40	0,004	0,40	0,41	1,12
	NAM	0,35	0,35	0,005	0,34	0,35	1,43

s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Min.- mínimo; Max.- máximo

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo;  $\Delta\mu$  ou  $\mu\Delta$ = torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos  $\Delta$ , compactos  $\Delta\mu$  e agregados em processo de compactação ( $\mu\Delta$ ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

Tabela 5.1.7 Estatística descritiva para os atributos do solo das parcelas sob SPD.

<b>Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SPD</b>	FptμΔ+tf (cova)	1,26	1,27	0,024	1,23	1,29	1,90
	FmtΔμ (linha)	1,32	1,32	0,005	1,32	1,32	0,5
	CΔμ (linha)	1,42	1,42	0,005	1,42	1,43	0,35
	CμΔ	1,38	1,38	0,006	1,37	1,38	0,41
	NAM	1,21	1,21	0,005	1,20	1,21	0,47
<b>Porosidade do solo (Pt) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SPD</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,47	0,48	0,025	0,43	0,49	5,27
	FmtΔμ (linha)	0,49	0,49	0,005	0,48	0,49	1,18
	CΔμ (linha)	0,49	0,49	0,008	0,48	0,50	1,66
	CμΔ	0,47	0,48	0,011	0,46	0,48	2,43
	NAM	0,47	0,46	0,011	0,46	0,48	2,47
<b>Macroporosidade (Ma) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SPD</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,09	0,09	0,004	0,08	0,09	5,08
	FmtΔμ (linha)	0,11	0,11	0,005	0,11	0,11	0,5
	CΔμ (linha)	0,08	0,07	0,021	0,06	0,11	27,00
	CμΔ	0,07	0,07	0,01	0,06	0,08	14,28
	NAM	0,12	0,11	0,015	0,10	0,13	13,47
<b>Microporosidade (Mi) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SPD</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,39	0,39	0,020	0,35	0,40	5,37
	FmtΔμ (linha)	0,38	0,38	0,005	0,38	0,38	0,5
	CΔμ (linha)	0,41	0,41	0,024	0,38	0,44	5,97
	CμΔ	0,40	0,40	0,005	0,40	0,41	1,43
	NAM	0,35	0,35	0,006	0,35	0,36	1,63

s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Min.- mínimo; Max.- máximo

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; Δμ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

Tabela 5.1.8 Estatística descritiva para os atributos do solo das das UMH's da parcela sob SC

<b>Densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SC</b>	FptμΔ+tf (cova)	1,21	1,20	0,017	1,19	1,23	1,44
	FptΔμ (linha)	1,32	1,32	0,0158	1,30	1,34	1,19
	CΔμ (linha)	1,46	1,44	0,0336	1,44	1,51	2,30
	CμΔ (linha)	1,39	1,39	0,007	1,38	1,40	0,51
	NAM	1,19	1,18	0,028	1,15	1,22	2,42
<b>Porosidade do solo (Pt) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SC</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,45	0,45	0,005	0,45	0,46	1,10
	FptΔμ (linha)	0,49	0,49	0,014	0,47	0,51	3,04
	CΔμ (linha)	0,49	0,48	0,026	0,47	0,53	5,34
	CμΔ (linha)	0,48	0,48	0,007	0,47	0,49	1,47
	NAM	0,46	0,45	0,014	0,45	0,48	3,07
<b>Macroporosidade (Ma) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SC</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,08	0,08	0,009	0,07	0,09	11,60
	FptΔμ (linha)	0,11	0,11	0,011	0,10	0,13	10,00
	CΔμ (linha)	0,09	0,09	0,008	0,08	0,10	9,07
	CμΔ (linha)	0,07	0,07	0,007	0,06	0,08	10,10
	NAM	0,10	0,09	0,207	0,08	0,13	22,06
<b>Microporosidade (Mi) (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>							
<b>Parcela</b>	<b>UMH's</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>s</b>	<b>Min.</b>	<b>Máx.</b>	<b>CV (%)</b>
<b>SC</b>	FptμΔ+tf (cova)	0,37	0,37	0,005	0,37	0,38	1,34
	FptΔμ (linha)	0,38	0,37	0,005	0,37	0,38	1,46
	CΔμ (linha)	0,40	0,40	0,026	0,38	0,44	6,53
	CμΔ (linha)	0,41	0,41	0,010	0,40	0,42	2,43
	NAM	0,36	0,36	0,011	0,35	0,38	3,13

s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Min.- mínimo; Max.- máximo

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; Δμ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

Os valores dos atributos físicos nas UMH's de cada perfil estudado compõem uma distribuição cuja média é menos que 1% maior ou menor que a mediana, estando bem próximos um do outro, demonstrando distribuição simétrica para esses atributos, constatando-se, entanto, que a média representa bem o conjunto de dados.

Os resultados da análise de variância (Tabela 5.1.9) mostram haver diferenças significativas entre as UMH's dentro de cada perfil para Ds, PT, Ma e Mi, sendo que ocorre maior Ds e menor Ma nas UMH's contínuas sob SC.

Na parcela Memória a unidade NAM apresentou a menor densidade do solo ( $D_s=1,17 \text{ kg dm}^{-3}$ ), que diferiu estatisticamente das demais UMH's contínuas e fragmentadas do perfil.

As UMH's fragmentadas  $F_{pt\mu\Delta+tf}$  e  $F_{m\Delta\mu}$  apresentaram maior densidade do solo quando comparado a NAM,  $1,26 \text{ kg dm}^{-3}$  e  $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ , respectivamente. Essas observações de aumento da densidade do solo corroboram com as constatadas na descrição qualitativa e quantitativas das lâminas nas análises micromorfológicas destas unidades, onde constou uma microestrutura em blocos com coalescência de agregados. Em relação a unidade  $C\Delta\mu$  o efeito da coalescência dos agregados também refletiu em aumento de Ds ( $1,34 \text{ kg dm}^{-3}$ ) e redução de Ma ( $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para valores restritivos para o crescimento e desenvolvimento da cultura (Tabela 5.1.9).

Ressalta-se também que os menores valores de Ds e maiores de PT e Ma das unidades fragmentadas quando comparadas com a unidade contínua estão associados a uma atividade biológica mais intensa na matriz das unidades fragmentadas e principalmente maior proporção de canais como constatado nas descrições micromorfológicas.

Tabela 5.1.9 Valores médios de porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e densidade do solo (Ds) argila, areia das UMH's sob cada perfil para o LATOSSOLO Vermelho Distroférico típico.

Perfis	UMH's	Prof. (cm)	----- ( m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) -----			kg dm <sup>-3</sup>
			Pt	Ma	Mi	Ds
Parcela Memória	F pt μΔ +tf	~ 2 - ~ 10	0,49A	0,09B	0,39A	1,26 B
	F mt Δμ	~ 10 - ~ 20	0,50A	0,13A	0,37B	1,30AB
	CΔμ	~ 18 - ~ 35	0,48A	0,08B	0,40A	1,34A
	NAM	> 35	0,47A	0,13A	0,35B	1,17C
Sistema Plantio Direto (SPD)	FptμΔ+tf (cova)	~ 0- ~ 16	0,47A	0,09B	0,39AB	1,26D
	FmtΔμ (linha)	~ 0- ~ 16	0,49A	0,11A	0,38BC	1,32C
	CΔμ (linha)	~ 7- ~ 45	0,49A	0,08B	0,41A	1,42A
	CμΔ	~ 17- ~ 45	0,47A	0,07B	0,40AB	1,38B
	NAM	> 45	0,47A	0,12A	0,35C	1,21E
Sistema Convencional( SC)	FptμΔ+tf (cova)	~ 3 - ~ 8	0,45C	0,08CB	0,37B	1,21D
	FptΔμ (linha)	~ 3- ~ 9	0,49A	0,11A	0,38B	1,32C
	CΔμ (linha)	~ 17- ~ 33	0,49A	0,09B	0,40A	1,46A
	CμΔ (linha)	~ 24- ~ 45	0,48AB	0,07C	0,41A	1,39B
	NAM	> 35	0,46BC	0,10B	0,36B	1,19D

Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si, quanto às UMH's dentro do perfil, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; Δ ou μ = torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "7" representa transição; NAM = não alterado pelo manejo.

Sob SPD observa-se também que a unidade NAM apresenta o menor valor de  $D_s$  ( $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$ ) diferindo estatisticamente das demais UMH's contínuas e fragmentadas sob este perfil. Já as UMH's  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$  apresentaram os maiores valores de densidade, em torno de  $1,42$  a  $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$ ) e valores reduzidos de  $M_a$  em torno de  $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (Tabela 5.1.9), corroborando com as observações de campo e descrições micromorfológicas.

Sobre as densidades do solo analisadas para cada volume estrutural encontrado na descrição do perfil, verifica-se que as UMH's  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  e  $F_{pt}\Delta\mu$  do solo sob SC, observadas na profundidade entre 3 - 9 cm, apresentam densidades de  $1,21 \text{ kg dm}^{-3}$  e  $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$ , respectivamente; porém, na profundidade entre 17 e 45 cm, encontraram-se dois volumes contínuos bem compactos  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ , com valores de densidade do solo de  $1,46$  e  $1,49 \text{ kg dm}^{-3}$ , superiores em relação ao solo sob SPD para essa mesma profundidade. Tais resultados reforçam as constatações obtidas nas descrições micromorfológicas de que a estrutura do solo sob SPD se aproxima mais daquela observada para a parcela Memória, evidenciando recuperação da qualidade estrutural do solo com o passar do tempo de adoção do sistema.

#### 5.1.4. CONCLUSÃO

A descrição dos perfis culturais revelou a presença de volumes fragmentados e contínuos, internamente porosos ou compactos no solo dos dois sistemas de manejo e na parcela Memória, com diferenciações quanto à profundidade de ocorrência e à espessura das camadas.

A observação do enraizamento mostrou que as raízes exploram preferencialmente as estruturas fragmentadas (F) em relação às estruturas contínuas (C), sendo que sob SC o grau de compactação dos agregados e a pequena porosidade entre agregados em subsuperfície restringe o crescimento radicular.

A estrutura do solo sob SPD se aproximou mais daquela observada para a parcela Memória, evidenciando recuperação da qualidade estrutural do solo com o passar do tempo de adoção do sistema. Apesar da ocorrência de estruturas contínuas compactas no solo sob SPD, não foi observada restrição ao enraizamento das plantas de milho.

O estudo do solo em perfis culturais possibilitou conhecer a distribuição das diferentes estruturas e a relação com a distribuição das raízes, permitindo inferir os locais mais representativos para amostragem e monitoramento do solo e avaliação da qualidade para fins de produção agrícola.

Aliar método qualitativo do perfil cultural com as determinações físico-hídricas para caracterização física das UMH's traz uma maior compreensão acerca qualidade do solo e das alterações estruturais advindas do manejo agrícola.

O Sistema Plantio Direto mostrou-se mais favorável do ponto de vista de atributos físico- hídricos refletindo em uma melhor qualidade estrutural.

### 5.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D.. Effect of compaction on soil physical properties: Experimental results and modeling. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v.61, p.390-398, 1997.

BATEY, T.; McKENZIE, D.C.. Soil compaction: identification directly in the field. **Soil Use and Management**, v.22, p.123-131, 2006.

BEUTLER, A. N. et al.. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, n.5, p.787-794, 2006.

BIZARI, D. R. et al.. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v.4, n.3, p.172-183, 2010.

CARDOSO, E.G., ZOTARELLI, L., PICCININ, J.L., TORRES, E., SARAIVA, O.F., Guimarães, M.F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.41, n.3, p.493-501, mar. 2006.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agronômico. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106).

COLLARES, G.L et al.. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.41, p.1663-1674, 2006.

DANIEL, L.A., SVERZUT, C.B., LUCARELLI, J.R.F. Effects of different agricultural mechanization systems on compacted soil layer formation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE EM AGRICULTURAL ENGINEERING, 1996. Anais... Madrid, Espanha, AgEng96, 1996, p.134-135.

DE MARIA, I.C; CASTRO, O.M., SOUZA DIAS, H.. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.703-709, 1999.

DERSIGNY, C.; GUIMARÃES, M.F.; VISINTIN, T.M.R. Observação do estado estrutural e da repartição espacial do sistema radicular do milho cultivado num Latossolo Roxo. In: CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 8, Londrina, 1990. **Resumos...** Londrina, PR, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1990. p.76.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (swrc, version 2.00). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-196, 2000.

FREGONEZI, G.A. et al.. Modificações morfológicas e Físicas de um Latossolo argiloso sob pastagens. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.1017-1027, 2001.

GAUTRONNEAU, Y.; MANICHON, H. **Guide méthodique du profil cultural**. Lyon, CEREF-GEARA, 1987. 71p.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo, Ed. Agrônômica Ceres, 262p., 1979.

KLUTE, A. **Methods of Soil Analysis: PHYSICAL AND MINERALOGICAL METHODS**. 2 ED. MADISON: ASA,1986. CAP.26 ,p. 635-660: WATER RETENTION: LABORATORY METHODS.

LEMOS R.C. DE; SANTOS, R.D. DOS. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas, SBCS/SNLCS, 46p. 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Sciences I; Sorubger-Verlag**. New York, v.1, p.277-294, 1985.

LUCARELLI, J.R.F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo.** 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

LUCARELLI, J.R.F. et al.. Different soil tillage systems influence in soil loss by erosion. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. Anais... Madrid, Espanha, AgEng96, 1996, v.2, p.757-58.

MANICHON, H.. **Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique.** 1982. 241f. Tese (Doutorado) - Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, 1982.

MARQUES, S. R.; WEILL, M. A. M.; SILVA, L. F. S. Qualidade física de um Latossolo Vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.34, n.4, p. 967-974, 2010.

MARQUES, S.R. **Sistemas de manejo agrícola, qualidade do solo e o controle da erosão em parcelas experimentais.** 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MEDEIROS, G.A. **Influência do manejo de um Latossolo Vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado.** 2001f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

OLIVEIRA, J. B.; MENK, J. R. F.; ROTTA, C. L. Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro: SUPREN: ABGE, 1979.

OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F. Latossolos Roxos do estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas, 1984. 132p. (Boletim Técnico, 82).

PEREIRA NETO, O.C. et al.. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.11, n.5, p.489- 496, 2007.

PUGLIESI, A. C. V. et al.. Valoração econômica do efeito da erosão em sistemas de manejo empregando do método custo de reposição. **Bragantia**, Campinas, SP, v.70, n.1, p.113-121, 2011.

RALISCH, R. **Efeito de três sistemas de manejo no estado estrutural de um latossolo roxo**. 1995. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1995.

RALISCH, R., GUIMARÃES, M.F., MEDINA,C.C. The cultural profile methodology utilization to evaluate the tillage effects and tillage equipment efficiency. In: WORLD CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 12, Milano, 1994. Proceedings... Merelbeke, CIGR, 1994. p. 1273-1279.

ROQUE, M.W. et al.. Correlação da variabilidade espacial entre a produtividade do feijoeiro irrigado e a densidade do solo. **Global Science and Technology**, Rio Verde, GO, v.3, n.3, p.22– 30, set/dez. 2010.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, n.52, p. 591-611, 1965.

SILVA, L. F. S. DA et al.. Porosidade estrutural de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. In: XXXIX XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA e IX CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA, 39, 2010.

SILVA, L. F. S. DA; MATSURA, E. E.; WEILL, M. DE A. M.; SOUZA, A. L.. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho Distroférico típico sob Diferentes Sistemas de Manejo. XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38, 2009. Anais... Petrolina, PE, v.1, p. 1-4.

SILVA, L.F.S. DA. **Aplicação do intervalo hídrico ótimo no monitoramento da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distroférico típico**. 2007. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

TAVARES FILHO, J. et al.. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.393-399, 1999.

TAVARES FILHO, J. et al.. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J. TESSIER, D.. Characterization of soil structure and Porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.33, p.1837-1844, 2009.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D.. Effects of different management systems on porosity of oxisols in Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. 2010, vol.34, n.3, p. 899-906. ISSN 0100-0683.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D.. Influence des pratiques culturales sur le comportement et les propriétés de sols du Paraná (Brésil). **Étude et Gestion des Sols**, v.5, p.61-71, 1998.

WARRICK,A.W.; NIELSEN,D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field.  
In: HILLEL,D. (ed). Applications of soil physics. New York: Academia Press,1980.

## **5.2. Micromorfologia e micromorfometria de unidades estruturais morfologicamente homogêneas caracterizadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (*Rhodic Hapludox*) cultivado sob dois sistemas de manejo agrícola**

### **RESUMO**

A estrutura é um dos principais atributos de qualidade do solo agrícola, pois é o que define o sistema poroso e, conseqüentemente, condiciona a dinâmica de fluidos no interior do mesmo. O objetivo do trabalho foi o de avaliar aspectos micromorfológicos e micromorfométricos de unidades estruturais morfologicamente homogêneas (UMH's) identificadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas (SP). Foram avaliados dois sistemas de manejo para cultivo de milho para grão: convencional com grade aradora no preparo primário (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD). Nos perfis culturais de cada sistema de manejo foram selecionadas UMH's para extração de amostras indeformadas de solo e confecção de lâminas delgadas e blocos destinados à análise micromorfológica e micromorfométrica. Os resultados dessas análises permitiram observar e quantificar variações na forma, número e distribuição do tamanho dos poros, com indicativos gerais de condições estruturais mais favoráveis sob SPD. Uma mesma estrutura contínua (C), isto é, não fragmentada ou apédica na escala de observação do perfil, na análise micromorfológica, apresentou padrões distintos em função do sistema de manejo. Sob SC, as lâminas mostraram uma matriz com distribuição relativa do tipo enáulica-porfírica, ou mais compacta, com coalescência de agregados, microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente e/ou fracamente desenvolvida. Já sob SPD, a matriz apresentou distribuição relativa do tipo porfítica-enáulica, mais porosa, com microestrutura granular com pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida, sendo observados predominantemente poros do tipo empilhamento composto e cavidades arredondadas, caracterizando grande atividade biológica e de raízes. Os resultados da análise micromorfométrica indicam que o solo sob manejo agrícola convencional sofreu alterações microestruturais indicativas de estresse físico quando comparado com o mesmo solo em área contígua mantido sob revegetação espontânea há mais de 20 anos. Sob SC, houve uma redução do número total de poros (NTP) principalmente dos poros arredondados. Já sob SPD o NTP se assemelha ao caracterizado no solo da parcela Memória, apresentando percentual similar de poros complexos seguidos de poros

arredondados e alongados, indicativos de melhor qualidade estrutural sob esse sistema. Os resultados obtidos permitem concluir que as análises micromorfológicas qualitativas e quantitativas das UMH's sob cada sistema de manejo se aplica na avaliação do efeito do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo e traz informações adicionais relevantes para diferenciação entre os sistemas de manejo, demonstrando resultados mais favoráveis sob SPD.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrutura do solo, Análise de imagens, Distribuição de poros, Forma e Tamanho dos poros.

### 5.2.1. INTRODUÇÃO

A compreensão e a quantificação do impacto do manejo agrícola na qualidade do solo são fundamentais para avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Diversas pesquisas têm sido realizadas para avaliar os efeitos do cultivo e das práticas de manejo nos atributos morfológicos, químicos, físicos e biológicos do solo (MORAN et al., 1988; BERTOL et al., 2004; MARQUES et al., 2010). No entanto, segundo DREES et al. (1994), as mudanças nesses atributos são, em grande parte, consequências de alterações na estrutura do solo, inclusive em microescala.

A análise micromorfológica, de extensa aplicação em Pedologia como auxiliar nos estudos de gênese (CASTRO et al., 2003), já na década de 80 foi empregada em estudos de manejo do solo, com trabalhos mostrando que alterações ocorridas na micromorfologia dos solos guardavam uma relação com os manejos aplicados aos mesmos (PAWLUK, 1980; PAGLIAI et al., 1983, 1984, PAGLIAI, 1987ab, , SHIPITALO e PROTZ, 1987).

Mais recentemente, técnicas de processamento e de análise digital de imagens aplicadas ao estudo micromorfológico permitem quantificar com precisão a porosidade e permeabilidade do solo, sendo que vários autores têm utilizado a análise de imagens para estudar o espaço poroso em lâminas delgadas de solo (JONGERIUS et al., 1972; PAGLIAI et al., 1984; RINGROSE-VOASE e NYS, 1990; HALLAIRE e COINTEPAS, 1993; BRUAND et al., 1996; JUHÁSZ et al., 2007, COOPER et al., 2010).

No Brasil, a análise micromorfológica tem sido empregada na maioria das vezes em trabalhos na área de gênese e classificação de solos (IBRAIMO et al., 2005, COOPER e VIDAL-TORRADO, 2005, OLIVEIRA et al., 2008, COOPER et al., 2010). Menos comuns são as aplicações para estudo dos efeitos do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo.

Com tal abordagem, um dos primeiros trabalhos relatados foi o de CURMI et al. (1994), que estudaram a degradação da estrutura de *Oxisols* submetidos ao cultivo. Tais autores observaram por meio das técnicas de micromorfologia que os poros intra-agregados não foram afetados pelo processo de compactação, já os entre agregados tiveram seu tamanho e formado reduzidos e os poros provenientes da atividade biológica, tipo canais, desapareceram quando submetidos ao processo de compactação. Resultados semelhantes utilizando a mesma técnica foram obtidos por PAGLIAI et al. (1984) em um solo franco argiloso (*Vertic Xerofluvent*) em um experimento de longa duração em vinhedos de Bologna na Itália, comparando Sistema Plantio

Direto e manejo convencional. Tais autores observaram claramente que a redução da porosidade total após o transito dos tratores foi devida a uma progressiva redução no tamanho dos poros alongados. A proporção de poros entre 30-500 $\mu$ m, que são considerados os mais importantes nas relações solo-planta-água e na manutenção de uma boa estrutura do solo, foram maiores nas parcelas sob Sistema Plantio Direto.

As observações realizadas por SOUZA et al. (2006), a partir de Análises microscópicas de lâminas delgadas de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, também revelam diferenciações na geometria do espaço poroso, em consequência de alterações causadas pelo manejo. Nos solos cultivados com citros, observaram em subsuperfície modificações do fundo matricial por achatamento de agregados, refletindo em uma matriz adensada com fissuras. Já em camadas mais profundas, a organização dos constituintes do solo mantém as estruturas naturais com porosidade mamelonar e agregados microgranulares. Estes autores relataram também que sob cultivo de cana-de-açúcar, os altos valores de densidade do solo, microporosidade e resistência do solo à penetração, e os baixos valores de macroporosidade, porosidade total e condutividade hidráulica do solo saturado, principalmente no horizonte AB, indicaram compactação confirmada pela análise de imagens.

Análises de imagens também foram efetuadas por SCHAEFER et al. (2001), no intuito de avaliarem as características morfométricas da porosidade de um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO cultivado por dez anos sob sistema convencional. Observaram que as análises dos blocos polidos mostraram descontinuidade e diminuição da porosidade nos sistemas de preparo do solo que envolveram o uso da grade pesada, enquanto sob Sistema Plantio Direto, foi observada boa conexão entre os macroporos, sem revelar descontinuidade de poros entre a superfície e as camadas inferiores.

Mudanças na estrutura do solo, provocadas pelos diferentes sistemas de manejo, podem ser estudadas em escala microscópica a partir das alterações micromorfológicas na organização interna dos componentes da matriz do solo: material grosseiro (esqueleto), material fino (plasma) e poros. Em vista do exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral empregar técnicas micromorfológicas e micromorfométricas para caracterização da microestrutura de unidades morfológicamente homogêneas (UMHs) caracterizadas em perfis culturais de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico da região de Campinas (SP), cultivado com milho sob dois sistemas de manejo.

## **5.2.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.2.2.1. Análises Micromorfológicas**

#### **5.2.2.1.1. Coleta e preparação de amostras para análise micromorfológica**

O presente trabalho foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, no município de Campinas/SP, com coordenadas geográficas 22° 48'57" de latitude sul e 47°03 33" de longitude oeste, e altitude média local de 640 m. Foram descritas as unidades morfolologicamente homogêneas (UMH's) de dois perfis culturais em trincheiras abertas em áreas contíguas às das parcelas experimentais, representativos dos sistemas de manejo Plantio Direto (SPD) e Convencional com grade aradora no preparo primário do solo (SC). Também foi aberto e descrito um perfil em parcela Memória, tomada como referência local da qualidade do solo após mais de 20 anos mantido em pousio para revegetação natural.

Foram confeccionados lâminas e blocos das UMHs mais representativas de cada perfil cultural sob SPD, SC e parcela Memória, totalizando 18 lâminas e 18 blocos, sendo 8 sob SPD, 6 sob SC e 4 na parcela Memória. Amostras indeformadas de solo foram coletadas utilizando-se caixa de papel-cartão com dimensões de 7 x 12 x 6 cm (Figura 5.2.1c). Para a retirada destas amostras, a caixa foi introduzida na parede da trincheira após esculpimento da amostra e, posteriormente, separada com o auxílio de uma faca. Após a extração, cada amostra foi identificada quanto ao local de coleta, profundidade e orientação em relação à superfície do solo (Figura 5.2.1a, 5.2.1b e 5.2.1d).

No laboratório, as amostras indeformadas de solo foram submetidas à secagem ao ar por mais de 60 dias e, em seguida, postas em estufa com ventilação forçada a 40°C por 48 horas, para retirada de toda água presente na amostra. Após a desidratação, as amostras foram enviadas para o Laboratório de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco para confecção dos blocos e das lâminas delgadas.



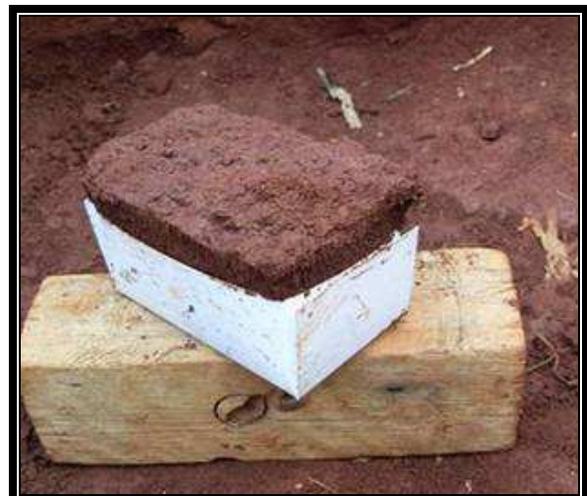
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.2.1. Coleta de amostras indeformadas de solo nas UMH's: Delimitação das caixas no perfil cultural em cada UMH (a), detalhe do bloco do solo esculpido no perfil (b), colocação da caixa de papelão no bloco de solo esculpido (c), retirado do bloco de solo (d).

No laboratório da UFPE, as amostras indeformadas foram impregnadas por capilaridade em câmara de vácuo com resina poliéster com monômero de estireno, adicionada de pigmento fluorescente Tinopal (Ciba-Geigy®). Após impregnação das amostras e cura da resina, estas foram

cortadas em fatias utilizando serra de diamante. Duas fatias foram utilizadas, uma para confecção da lâmina delgada e outra para confecção de um bloco para análise de imagens e caracterização quantitativa da porosidade. Para confecção das lâminas delgadas, uma das faces da fatia de solo impregnada foi polida sobre disco rotatório utilizando como abrasivo o carbureto de silício de diferentes granulações, até atingir espessura de cerca de 30  $\mu\text{m}$ , desejável para análise ao microscópio óptico. Os procedimentos de amostragem e de preparação das lâminas estão de acordo com aqueles descritos em CASTRO et al. (2003). As Figuras 5.2.2 e 5.2.3 ilustram os procedimentos de impregnação e confecção das lâminas e blocos, respectivamente.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.2.2. Etapas de impregnação das amostras: amostras secas (a), amostras em recipientes plásticos com resina nos dessecadores (b) e (c), amostras impregnadas (d).

As lâminas delgadas, com dimensões de 6,5 x 4 cm, foram utilizadas para descrição micromorfológica e os blocos, com dimensões de 6 x 6,5 cm junto com as lâminas foram utilizados para as avaliações quantitativas (micromorfometria) da porosidade.



(b)



(c)



(d)

Figura 5.2.3. Preparação das amostras: Corte dos blocos com serra (a), polimento do bloco sobre camada abrasiva em disco rotatório (b), acabamento fino das lâminas com pó abrasivo (c), lâminas prontas (d).

### **5.2.2.1.2. Descrição e interpretação das lâminas delgadas**

A observação e descrição das lâminas delgadas de solo ocorreram no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. As lâminas foram analisadas em microscópio ótico polarizante Zeiss e com lupa binocular Wild, ambos sob luz normal (LN) e polarizada (LP). As descrições seguiram os critérios e terminologia proposta por BULLOCK et al. (1985). A análise descritiva compreendeu as seguintes etapas: a) identificação dos constituintes do fundo matricial (material fino, material grosseiro e poros) e sua frequência aproximada; b) identificação da distribuição relativa adotando a classificação de STOOPS e JONGERIUS (1975); c) descrição do material fino, material grosso e poros; d) identificação e descrição da microestrutura e da sub estrutura dos microagregados; e) identificação e descrição das feições pedológicas. A sequência descrita foi repetida para cada lâmina e a descrição permitiu a seleção de sítios (campos) representativos, seja quanto aos arranjos, seja quanto aos mecanismos deduzidos, para a elaboração de croquis e tomada de fotomicrografias.

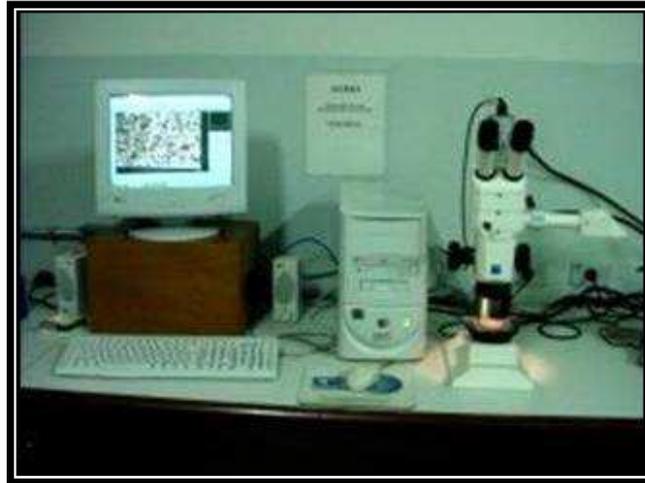
O itinerário de descrição partiu das observações das lâminas da base para o topo dos perfis seguindo as recomendações de CASTRO et al. (2003). No Anexo 3a encontra-se um texto extraído na íntegra de CASTRO et al. (2003) sobre a terminologia e principais conceitos básicos da micromorfologia do solo.

### **5.2.1.3 Análise de imagens**

A análise de imagens dos blocos de solo foi realizada no Laboratório de Microscopia do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Para a quantificação da porosidade, os blocos de solo foram iluminados com luz ultravioleta e fotografados com o auxílio de uma câmera digital (Sony®, modelo DFW-X700), em sistema “charged couple device” (CCD), acoplada a lupa binocular (Figura 5.2.4a e 5.2.4b).

Para cada bloco de uma UMH de cada perfil, foram obtidas aleatoriamente inúmeras fotomicrografias, compondo imagens com dimensões de 12x15 mm (180 mm<sup>2</sup>) (Figura 5.2.4c). As imagens foram digitalizadas em 1024x768 pixels, com resolução espectral de 256 tons de cinza, em aumento de 10X, onde a área de cada pixel corresponde a 156,25 μm<sup>2</sup>. A identificação dos poros na imagem foi feita pela delimitação da limiarização (“thresholding”) de tons de cinza para cada conjunto de imagens.

Posteriormente, foi realizada a binarização e etiquetagem das imagens empregando o programa de análises de imagem Noesis Visilog 5.4. A operação de etiquetagem possibilitou reconhecer e individualizar os poros sobre cada imagem binária por meio de um critério de conexão.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.2.4. Análises de imagens: câmera digital acoplada à lupa binocular (a), detalhe da iluminação dos blocos polidos com luz ultra violeta (b), delimitação das áreas fotomicrografias nos blocos polidos (c).

As variáveis básicas quantificadas pelo programa se referem ao conjunto do espaço poroso da imagem e incluem a área, o número de objetos, o perímetro, os diâmetros de Feret horizontais e verticais e as projeções horizontais e verticais do objeto. As variáveis derivadas se referem às entidades discretas sobre a imagem e se constituem de duas ou mais variáveis combinadas, tais como forma e orientação, permitindo a caracterização mais completa dos poros (MURPHY et al., 1977).

Após a determinação das variáveis básicas e derivadas dos poros, estes foram classificados segundo classes de tamanhos, tipos de forma ou combinações de tipos de forma com classes de tamanhos. Tal procedimento foi otimizado aplicando-se funções-macro desenvolvidas por JUHÁSZ et al. (2007) em linguagem visual Basic no Microsoft® Excel.

A porosidade total (Pt) foi calculada pela soma das áreas de todos os poros ou poróides dividida pela área total do campo, em percentagem (HALLAIRE e CONTEIPAS,1993). O conceito de poróide foi introduzido por MORAN et al. (1988) e este termo será adotado daqui por diante no restante do texto.

Os poróides foram divididos em três grupos de acordo com sua forma, segundo classificação de COOPER et al. (2010): arredondados (canais e cavidades isoladas), alongados (fissuras) e complexos (empacotamento). Esquema mostrando poróides representativos das formas das classes arredondados, alongados e complexos encontram-se no Anexo 3b.

Dois índices foram utilizados para determinar a forma dos poróides. O índice referido por  $I_1$  e calculado pela equação 1 é mais simples e separa adequadamente poros arredondados de poros alongados. O índice  $I_1$  é igual a 1 para uma forma perfeitamente circular e maior do que 1 quando a forma do poro desvia-se do círculo.

$$I_1 = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (1)$$

Sendo P o perímetro do poróide e A a área que ocupa.

O segundo índice de forma, referido por  $I_2$  e calculado segundo a equação 2, é utilizado como complemento ao índice  $I_1$  e permite mais exatidão na separação entre os grupos de forma.

$$I_2 = \frac{\frac{1}{m} \sum_i (N_I)_i}{\frac{1}{n} \sum_j (D_F)_j} \quad (2)$$

em que  $N_I$  é o número de interceptos de um objeto na direção  $i$  ( $i= 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$  e  $134^\circ$ ),  $D_F$  é o diâmetro de Feret de um objeto na direção  $j$  ( $j=0^\circ$  e  $90^\circ$ ),  $m$  é o número de  $i$  direções e  $n$  é o número de  $j$  direções.

A Tabela 5.2.1 apresenta a classificação dos poros de acordo com o formato e tamanho. Os poros arredondados foram classificados usando-se o índice  $I_1$ . Ambos os índices foram utilizados na classificação dos poros alongados. Para valores de  $I_1 > 25$ , os poros foram classificados como complexos, independentemente do valor de  $I_2$ .

Tabela 5.2.1. Classificação dos poros de acordo com o formato e tamanho.

Poróide	Índice de forma		
	$I_1$	$I_2$	
Arredondados (Arr)	$I_1 \leq 5$		
Alongados (Alon)	$5 < I_1 \leq 25$	$\leq 2,2$	
Complexos (Comp)	$5 < I_1 \leq 25$ ou $> 25$	$> 2,2$	
Limites das classes de tamanhos ( $\text{mm}^2$ )	Classe de tamanho e formas		
	Arredondados	Alongados	Complexos
$\leq 0,001$	Arr <sub>p</sub>	Alon <sub>p</sub>	Comp <sub>p</sub>
$> 0,001 \leq 0,1$	Arr <sub>m</sub>	Alon <sub>m</sub>	Comp <sub>m</sub>
$> 0,01$	Arr <sub>g</sub>	Alon <sub>gs</sub>	Comp <sub>g</sub>

p= pequeno, m = médio; g = grande.

A estrutura do espaço poral foi quantificada utilizando os seguintes parâmetros: a porosidade total do solo, a distribuição da porosidade e o tamanho e forma dos poróides. A análise de imagens quantifica apenas os macro e mesoporos, sendo designada no texto como porosidade total do solo ou área da lâmina ou bloco ocupada por poros. Conforme a classificação de

BULLOCK et al. (1985), os mesoporos possuem diâmetros entre 50 a 500  $\mu\text{m}$  e os macroporos, de 500 a 5000  $\mu\text{m}$ .

#### **5.2.1.4. Análises Estatísticas dos dados**

Os dados foram analisados utilizando delineamento inteiramente aleatorizado. Foi efetuada a análise exploratória dos dados por tratamento (sistema de manejo) e por UMH's, e verificada a normalidade dos dados pelo teste de SHAPIRO-WILK (1965).

A variabilidade do conjunto de dados, expressa pelo coeficiente de variação (CV%), foi verificada de acordo com os critérios de WARRICK e NIELSEN (1980), que indicam como sendo de baixa variabilidade coeficiente de variação inferior a 12%, de média variabilidade coeficiente de variação igual ou superior a 12% e inferior a 60%, e de alta variabilidade coeficiente de variação superior a 60%. Também foi realizada análise de variância pelo teste F, com comparação de médias pelo teste de DUNCAN, com 5% de probabilidade. Para realização das análises, foi utilizando o programa computacional SAS (SAS Institute, 1990).

### **5.2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.2.3.1. Descrições micromorfológicas dos solos**

As descrições sistemáticas da micromorfologia das UMH's para cada perfil estão apresentadas na forma de quadros-resumo nos Anexos 4, 5 e 6. A seguir apresentam-se as principais características micromorfológicas das UMH's sob parcela Memória, SPD e SC.

##### **5.2.3.1.1. Perfil de solo da Parcela Memória**

A descrição sistemática da micromorfologia do perfil do solo da parcela Memória é apresentada na forma de quadro-resumo no Anexo 4. Nesse perfil foram descritas as seguintes unidades morfológicamente homogêneas (UMH's): NAM (não alterado pelo manejo), C $\Delta\mu$  (estrutura contínua com estado interno dos agregados compacto), Fm $\Delta\mu$  (estrutura fragmentada em médios torrões e microagregados compactos), Fpt $\mu\Delta$ +tf (estrutura fragmentada em pequenos torrões e microagregados pouco compactos + terra fina).

A unidade NAM encontra-se após 35 cm de profundidade e apresenta um fundo matricial constituído em média por 60% a 65% de material fino, 25% a 30% de poros e 15% de material grosseiro, com uma distribuição relativa ou trama predominantemente do tipo pórfiro-enáulica, mas com algumas zonas puramente porfíricas e outras enáulicas. A zona pórfiro-enáulica apresenta uma microestrutura complexa (mista) composta por microagregados granulares com pedalidade fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodados, e blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodados. A porosidade dominante nesta microestrutura foi do tipo empilhamento complexo (50%) (Figura 6.5a), seguido de cavidades arredondadas e policôncavas (35%) (Figura 5.2.5b), fissuras (10%) e canais (5%).

Na escala de observação do perfil o solo da unidade NAM apresenta-se poroso com estrutura granular muito pequena ou em microagregados de grau forte, muito similar à microestrutura observada na lâmina.

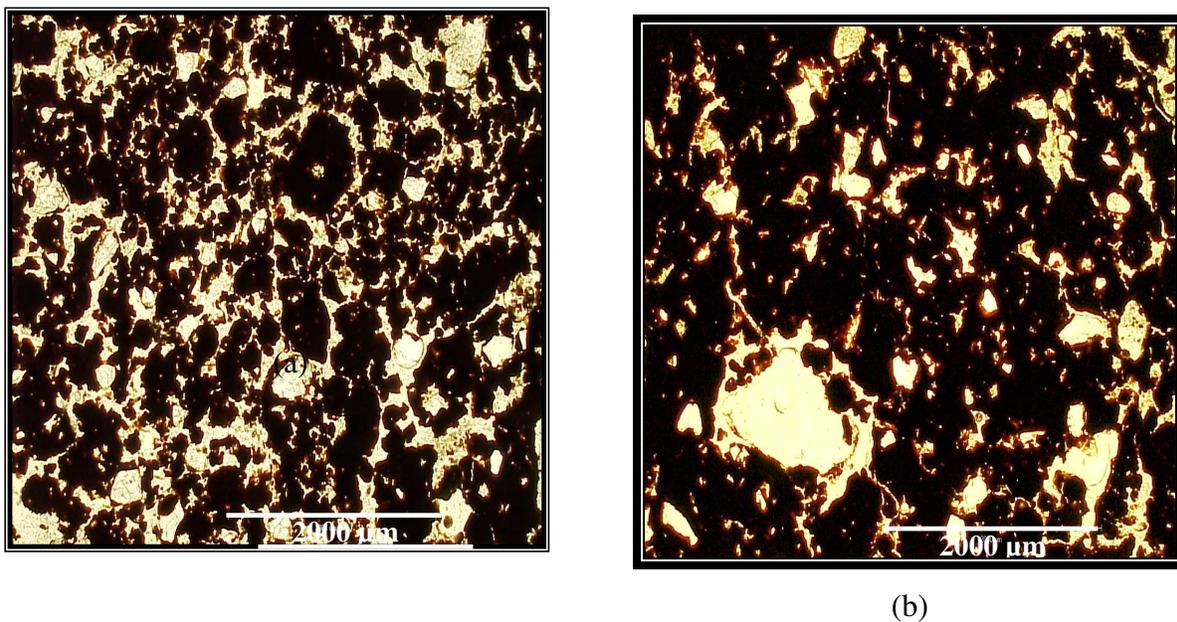


Figura 5.2.5. Fotomicrografias da porosidade do solo da unidade NAM: detalhamento da porosidade do tipo empilhamento complexo (a) e cavidades arredondadas e policôncavas (b).

A zona puramente porfírica, mais compacta, apresenta uma microestrutura com microagregados coalescidos formando blocos subangulares com pedalidade fracamente desenvolvida, e a porosidade dominante é de cavidades policôncavas e mamelonares. Já a zona

enáulica, mais porosa, apresenta uma microestrutura microagregada com uma porosidade de empilhamento complexo. A Figura 5.2.6 mostra a heterogeneidade desta unidade com trama pórfiro-enáulica (a), enáulica (b) e porfírica (c).

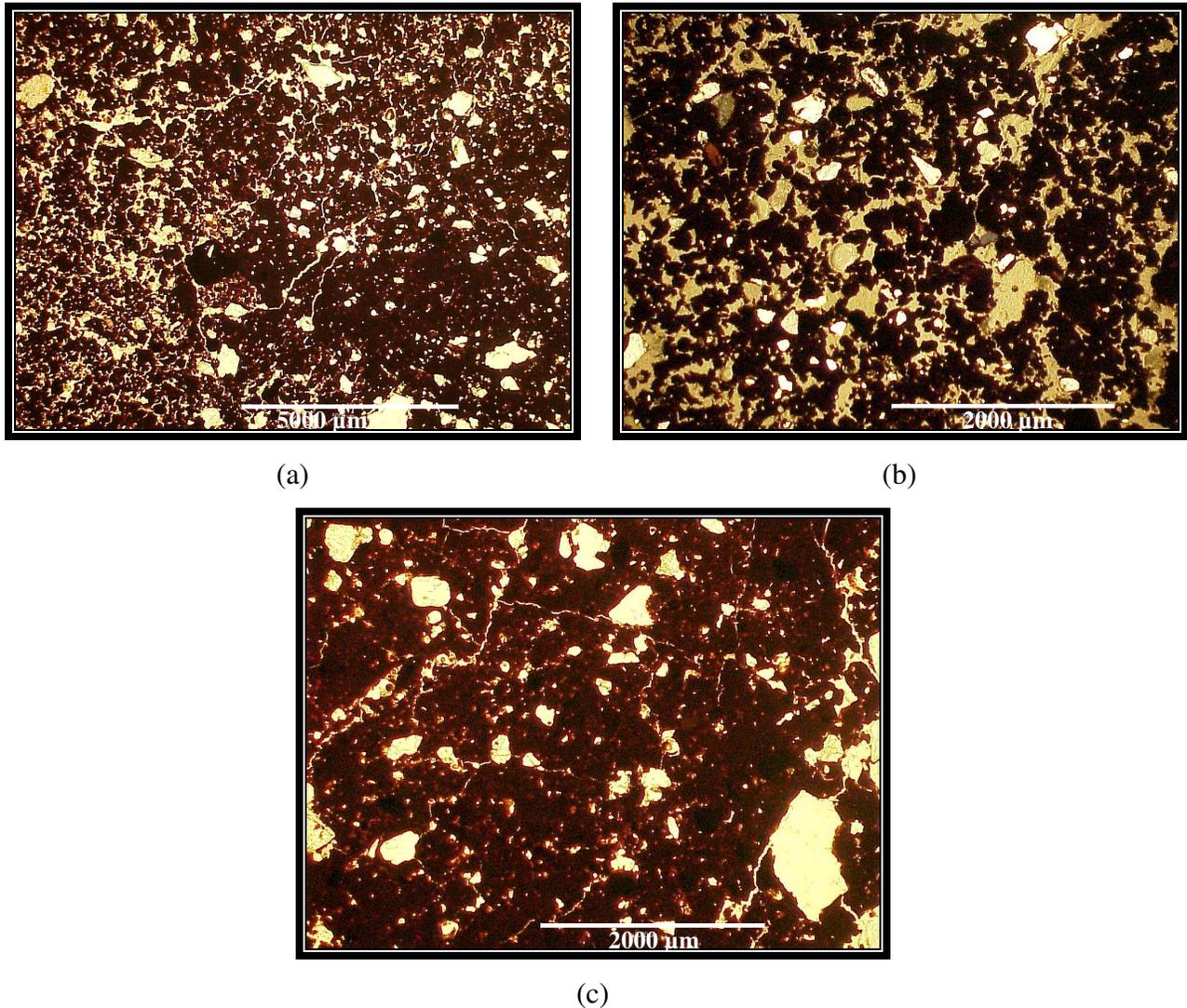


Figura 5.2.6. Distribuição relativa da unidade NAM: pórfiro-enáulica (a), enáulica (b) e porfírica (c).

A unidade NAM apresenta feições pedológicas do tipo textural de revestimento (5%), classificados segundo Brewer (1976) como ferri-argilãs, localizadas principalmente na parede dos poros e na superfície dos agregados coalescidos (Figura 5.2.7a). São observadas feições pedológicas de preenchimento solto descontínuo, formadas por microagregados do mesmo material da matriz (Figura 5.2.7b), e denso contínuo, de argila com extinção forte contínua (Figura 5.2.7c),

que preenchem poros cavitários e canais. Nódulos ferruginosos típicos (5%) com coloração na luz normal (LN) 10R 2/1 e luz polarizada (LP) 10R 2/2 com tamanho médio de 0,42 mm são também observados nesta unidade.

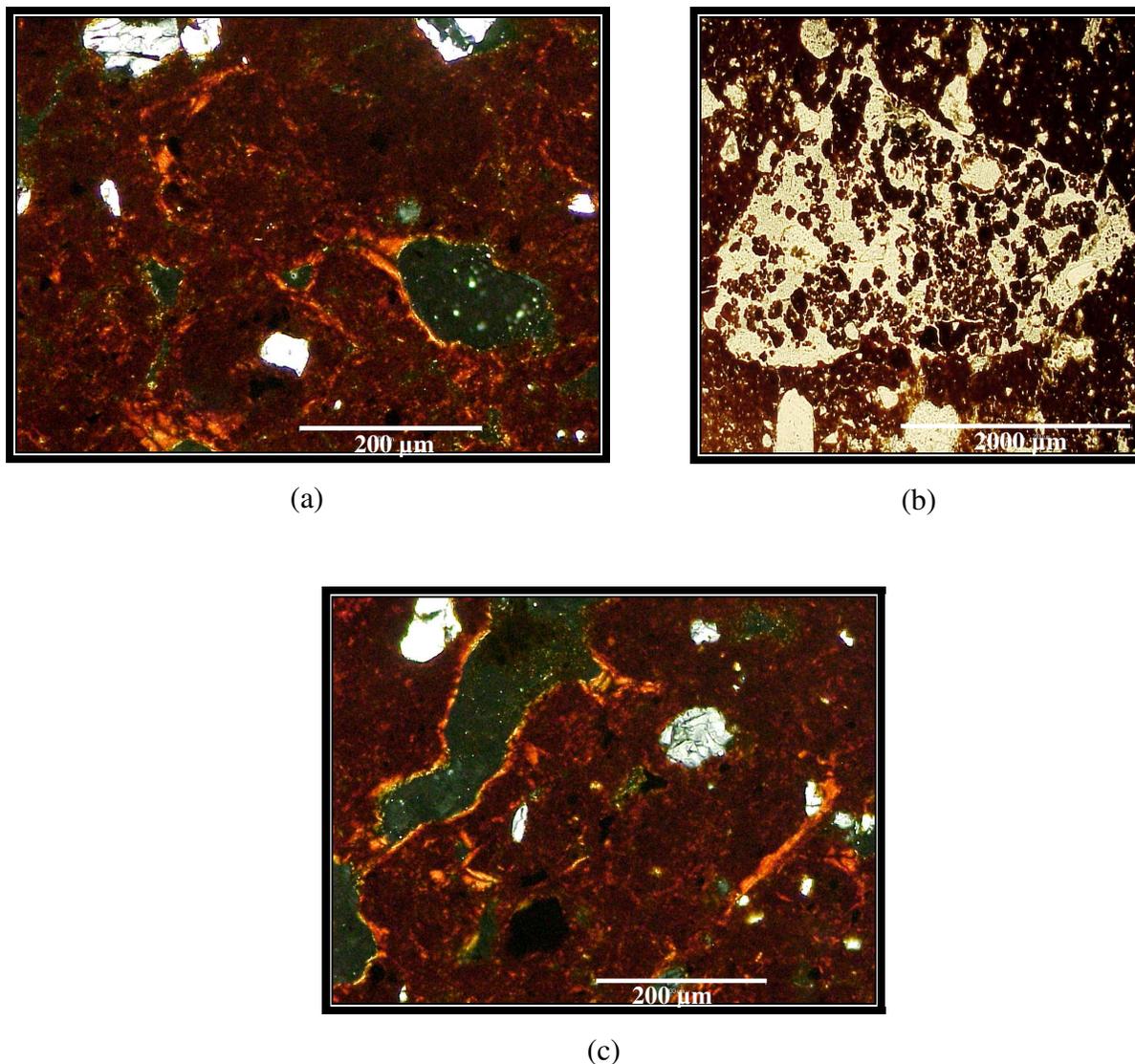


Figura 5.2.7. Feições pedológicas na unidade NAM: Revestimento de argila (Ferri-argilãs) ao redor dos agregados coalescidos (a), preenchimento solto descontínuo (b) e preenchimento denso contínuo com extinção cruzada com nicos cruzados (c).

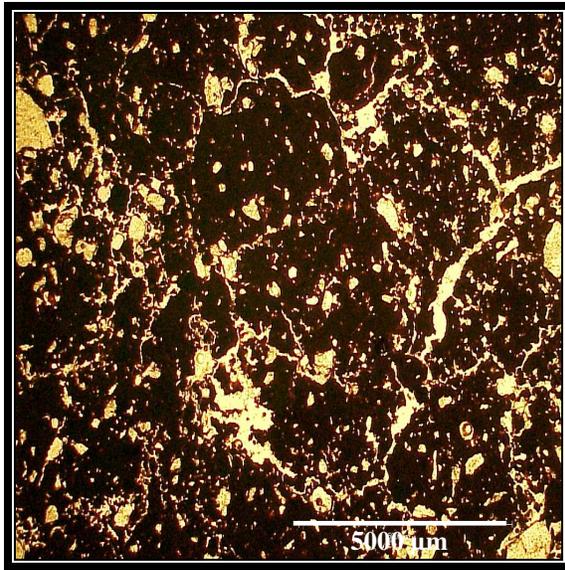
A presença de fábricas birrefringentes nesta unidade é observada em pequena proporção (5%) e associadas à microestrutura porfírica, mais densa, onde ocorre a coalescência de microagregados. Estão presentes os tipos de birrefringência estriada, salpicada e manchada e a atividade biológica é grande em toda a lâmina, evidenciada pela presença generalizada de

cavidades arredondadas e canais com preenchimentos soltos contínuos e/ou descontínuos (30%) (pedotúbulos segundo Brewer, 1976). Estas evidências corroboram as observações na escala do perfil cultural, onde se observou também a atividade biológica evidenciada pela presença de corós, formigas e cupins.

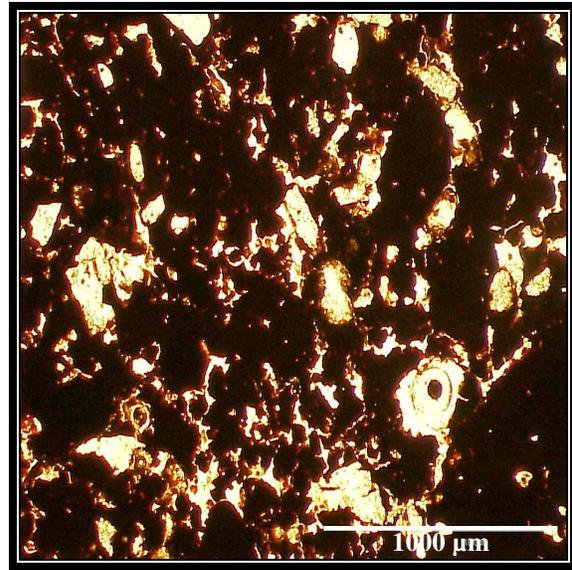
Indícios de atividade da fauna do solo são muito fortes nos Latossolos. A grande quantidade de canais e pedotubulos, a presença de excrementos, o grau de individualização dos microagregados granulares e a organização geral da matriz indicam que um dos principais agentes responsáveis pela organização interna desses solos é a fauna, principalmente cupins e formigas (FITZPATRICK, 1993).

A segunda UMH do perfil de solo da parcela Memória é referida por  $C\Delta\mu$  (estrutura contínua, com estado interno dos agregados compacto) e se localiza na profundidade entre 18 e ~ 35 cm, apresentando um trama mais denso que a unidade NAM. O fundo matricial da unidade  $C\Delta\mu$  é constituído por 65% de material fino, 15% - 20% de poros e 15% de material grosseiro, indicativo de uma menor porosidade relativamente à unidade NAM, apresentando duas zonas bem definidas. A zona dominante apresenta uma trama enáulica- porfírica formada por uma microestrutura complexa composta por blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodados (Figura 5.2.8a). Estes blocos apresentam uma sub-estrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca (Figura 5.2.8b). Tal coalescência pode ser atribuída à atuação de forças mecânicas no solo que, dada a ocorrência em maior profundidade, pode estar relacionada ao manejo anterior da área com correntão.

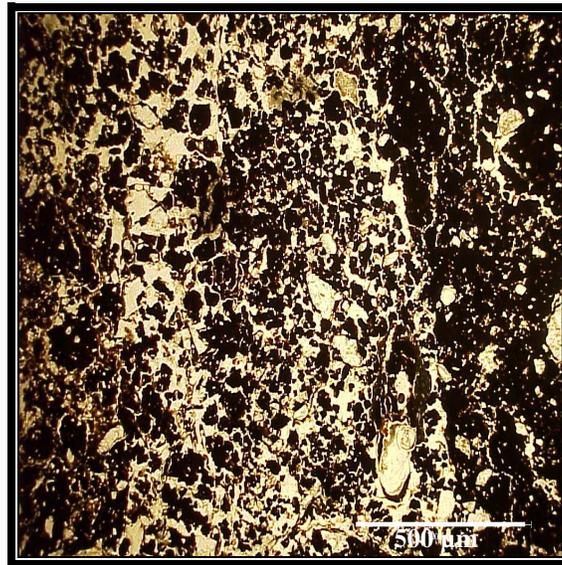
A outra zona observada na lâmina se refere à ocorrência de microestrutura microgranular (enáulica) com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada que se concentra dentro de um canal preenchido (Figura 5.2.8c). A porosidade dominante caracterizada na lâmina representativa da unidade  $C\Delta\mu$  denota uma qualidade microestrutural inferior à da unidade NAM, pois se observa um incremento de fissuras grandes (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (40%) e redução do tipo de poros de empilhamento complexo (30%). A Figura 5.2.9 ilustra a porosidade fissural grande (a) e as cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (b).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.2.8. Distribuição relativa da unidade CΔμ: Porfírica fissurada formando blocos subangulares separados por uma porosidade fissural e cavidades policôncavas no interior (a), sub-estrutura microgranular coalescida (b) e microestrutura microgranular (enáulica) dentro de um canal preenchido (c).

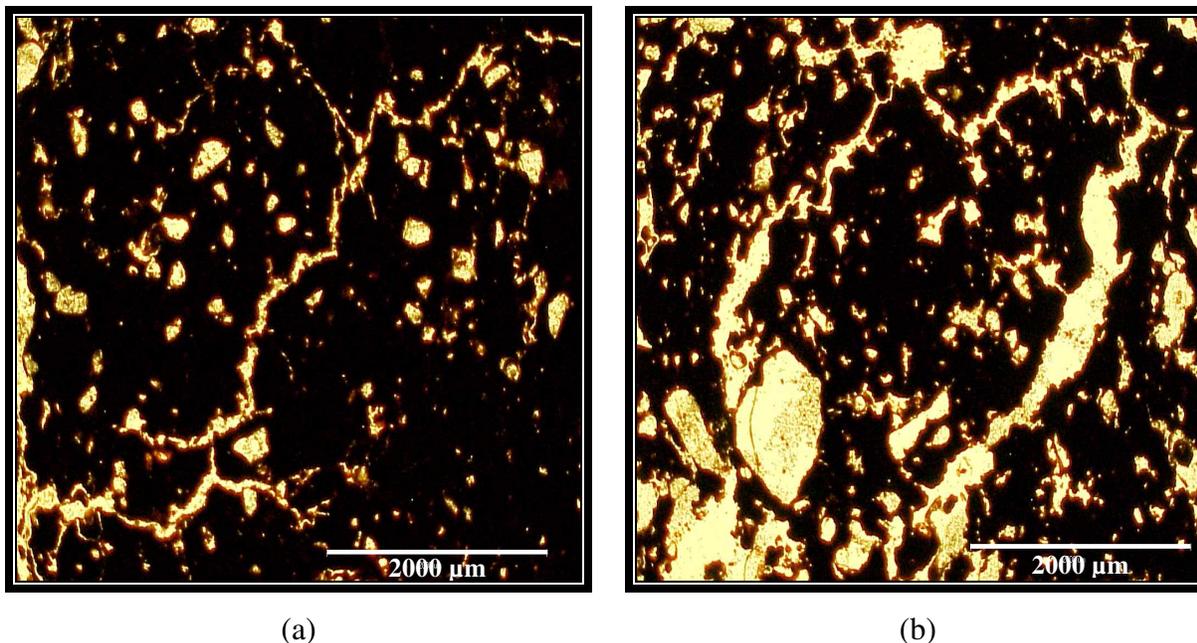


Figura 5.2.9. Fotomicrografias da porosidade na unidade  $C\Delta\mu$ : porosidade fissural grande (a) e as cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (b).

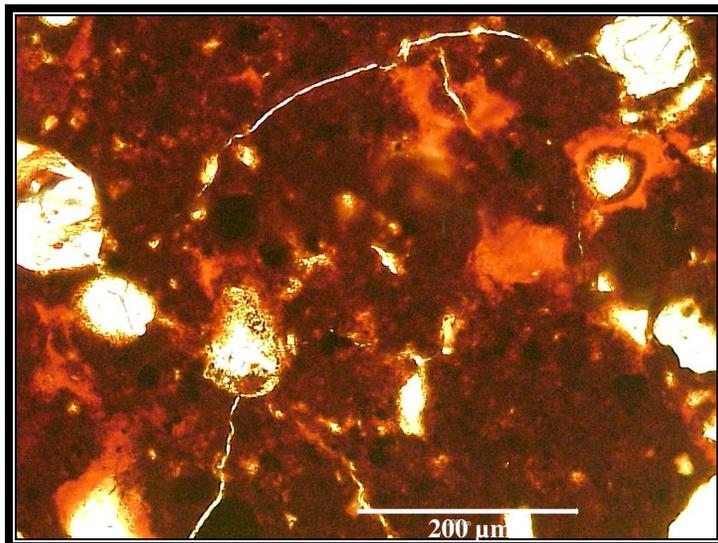
A mudança da distribuição relativa na unidade  $C\Delta\mu$  quando comparada com a da lâmina da unidade NAM, em especial quanto à porosidade total, pode ser um indicativo de processo de compactação, por apresentar uma distribuição predominante do tipo porfírica com coalescência de agregados e fissuração horizontal / sub horizontal.

As feições pedológicas do tipo textural de revestimento, de preenchimento e amorfas (nódulos ferruginosos) se assemelham às observadas na unidade anteriormente descrita (NAM). O mesmo foi observado em relação às fábricas birrefringentes presentes. Outro aspecto observado nesta UMH é a presença de atividade biológica com excrementos presentes e fragmentos de raízes em decomposição.

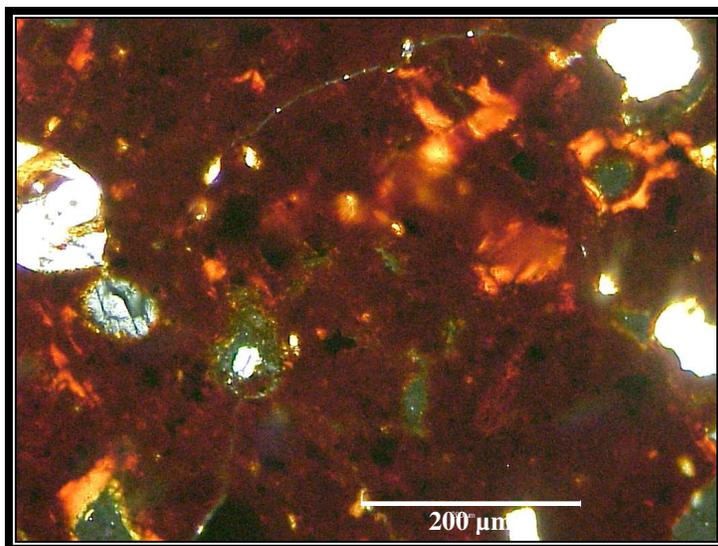
A terceira UMH deste perfil, referida por  $Fmt\Delta\mu$  (estrutura fragmentada em médios torrões e com agregados compactos), ocorre entre as profundidades de  $\pm 10$  a 20 cm e apresenta uma trama enáulica- porfírica similar à da UMH anterior ( $C\Delta\mu$ ). No entanto, a sub-estrutura dos blocos subangulares apresentam os microagregados bem mais coalescidos. Observa-se também a presença de uma zona secundária enáulica que se restringe às cavidades e canais preenchidos. A porosidade é dominada por cavidades arredondadas e policôncavas (55%) seguidas de canais (20%) e fissuras (25%). Em contraste com a UMH  $C\Delta\mu$ , observa-se um incremento de cavidades arredondadas e

policôncavas e canais, e uma redução de fissuras, o que denota uma qualidade microestrutural melhor na UMH fragmentada.

A presença de feições pedológicas do tipo textural de revestimento e preenchimento e as amorfas (nódulos ferruginosos) se assemelham às observadas nas UMH's anteriores, NAM e CΔμ anteriormente descritas (Figura 5.2.10).



(a)



(b)

Figura 5.2.10. Fotomicrografias da UMH FmtΔμ do perfil de solo da parcela Memória: Argila iluviada rica em ferro revestindo e preenchendo a porosidade (a) e idem à anterior com nícois cruzados com destaque na extinção forte contínua.

Já a atividade biológica da fauna nesta UMH é mais intensa que a observada na unidade CΔμ e similar à da unidade NAM, com presença generalizada de galerias biológicas e de cavidades e canais com preenchimentos que, em alguns casos, são soltos e, em outros, densos. O adensamento das paredes destas cavidades e canais evidencia, como na unidade NAM anteriormente descrita, a ação mecânica de coalescência de microagregados exercida pela atividade biológica (Figura 5.2.11a). Na Figura 5.2.11b observa-se poro do tipo canal formados por raízes com detalhe de fragmento de raízes em decomposição.

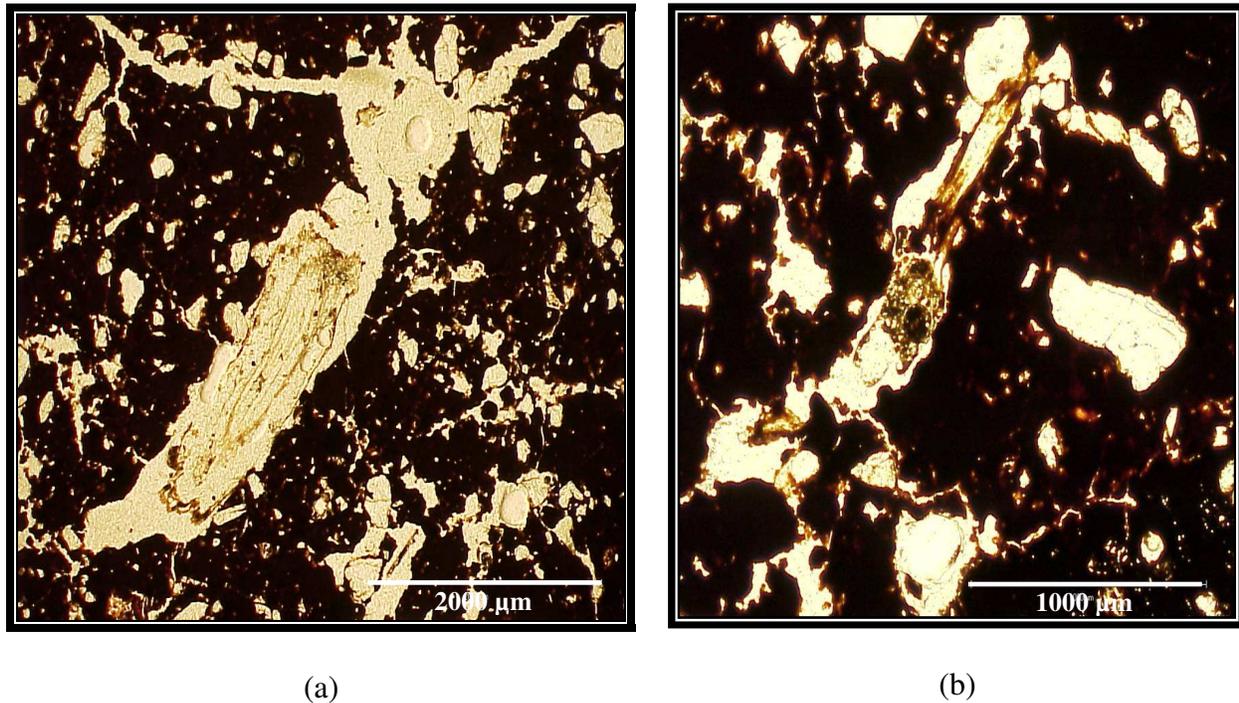


Figura 5.2.11. Fotomicrografia da UMH FmtΔμ em perfil de solo da parcela Memória: Detalhe do adensamento da parede de um canal pela ação de uma raiz (a) e fragmento de raiz em decomposição dentro do canal (b).

A última UMH descrita no perfil da parcela Memória é referida por FptμΔ+tf (fragmentada, pequenos torrões e com agredados pouco compactos + terra fina) e esta localizada nas profundidades de ± 2 a 10 cm. O fundo matricial desta UMH é constituído por 60% de material fino, 25% de poros e 15% de material grosso e apresenta distribuição relativa do tipo enáulica-porfírica similar as UMH's CΔμ e FmtΔμ. Nesta UMH a microestrutura apresenta-se um pouco mais densa com blocos subangulares com pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida e

parcialmente acomodados (Figura 5.2.12a) com uma subestrutura de blocos subangulares formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial (Figura 5.2.12b). Secundariamente, observa-se também a presença de uma zona com microestrutura microgranular (enáulica) com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada, provavelmente oriunda da intensa atividade biológica observada nesta unidade.

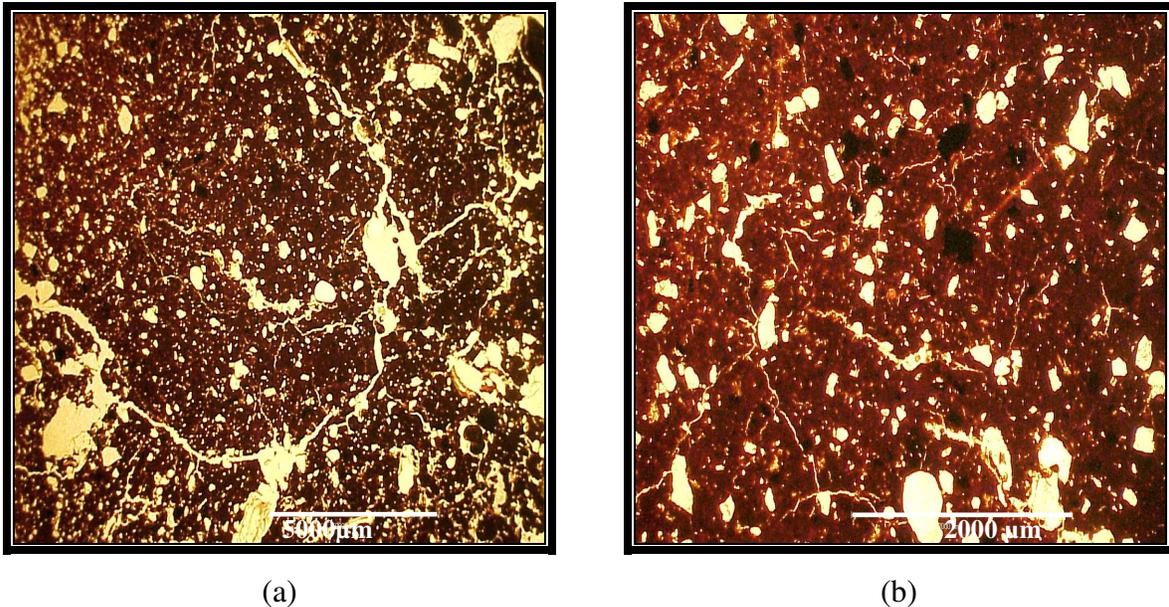


Figura 5.2.12. Fotomicrografia da UMH  $Fpt\mu\Delta+tf$  do perfil de solo da parcela Memória: Blocos subangulares com pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida e parcialmente acomodado (a) com uma subestrutura em blocos subangulares formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial (b).

A porosidade na zona dominante foi do tipo fissural com intensa microfissuração no interior dos blocos subangulares primários (40%), cavidades arredondadas e policôncavas (35%), empilhamento complexo (5%) e canais (20%). Em contraste com a UMH  $Fmt\Delta$  descrita anteriormente, observa-se neste caso um incremento de poros do tipo fissural com intensa microfissuração na matriz do solo, refletindo a expansão e contração do solo como resultado dos processos de umedecimento e secagem e do crescimento de raízes. Na zona enáulica observou-se a dominância de poros de empilhamento.

Observa-se de modo geral que as unidades fragmentadas neste perfil ( $Fmt\Delta\mu$  e  $Fpt\mu\Delta+tf$ ) e localizadas próximas a superfície refletem distribuição relativa similar a da UMH do tipo  $C\Delta\mu$ ,

porém com uma submicroestrutura mais coalescida com incremento de microfissuras. No entanto, tais UMH's apresentam uma porosidade maior quando comparada a UMH CΔμ.

A unidade FptμΔ+tf apresenta feições pedológicas do tipo textural de revestimento na parede dos agregados (ferri-argilãs segundo Brewer, 1976) em menor proporção que as demais UMH's descritas, e também feições texturais de preenchimento do tipo denso descontínuo com extinção forte contínua. A feição pedológica amorfa é constituída de nódulos ferruginosos típicos (5%) semelhantes as UMH's descritas anteriormente com tamanho médio de 0,31 mm. Observa-se também a presença de fábricas birrefringentes distribuídas por toda lâmina principalmente onde ocorre coalescência de microagregados, porém em menor proporção (1%) quando comparada as demais UMH's descritas.

A atividade biológica nesta UMH é evidenciada também pela presença de cavidades e canais de origem biológica, e pelas feições de excrementos (coprólitos) dentro dos canais (Figura 5.2.13). Esta atividade também foi evidenciada na escala de perfil cultural pela presença de corós, formigas, cupins, como observado em campo.

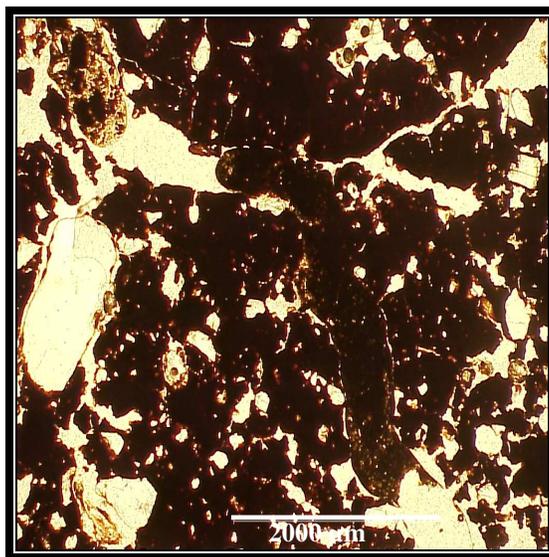


Figura 5.2.13. Fotomicrografia UMH FptμΔ+tf: Feição pedológica de excremento (coprólito).

A fração grosseira apresenta similaridade entre as unidades estudadas neste perfil, tais como: formato, tamanho, grau de seleção dos grãos e composição mineralógica, constituída basicamente por grãos de quartzo, com grau de esfericidade bastante variável (Anexo 4).

Nesta fração observaram-se também nódulos ferruginosos típicos (5%) e fragmentos de carvão em algumas unidades. Segundos alguns autores fragmentos de carvão são de ocorrência

comum em muitos solos tropicais, particularmente em Latossolos (BASSINI e BECKER, 1990, BARBERI et al., 2000). Porém fragmentos de carvão podem indicar indício de fogo.

Em relação à fração fina, as unidades estudadas possuem a mesma mineralogia, predominantemente caulínica mais óxidos de ferro. De modo geral, a mineralogia desta fração quimicamente ativa é bastante estável, resultado de intenso e/ou longo intemperismo e pedogênese, e, portanto muito resistente a mudanças, especialmente numa escala temporal tão curta. Tais similaridades além de conferir a mesma granulometria às unidades, também ressaltam as indicações de que esse solo provém do mesmo material de origem.

#### **5.2.3.1.2. Perfil cultural sob Sistema Plantio Direto (SPD) (Parcela P1)**

Neste perfil selecionaram-se para as descrições micromorfológicas as UMH's localizadas na linha de plantio, em número de 5, sendo as seguintes: NAM ( não alterada pelo manejo), C $\mu$  $\Delta$  (contínua e com agregados pouco compactos), C $\Delta$  $\mu$  (contínua e com agregados compactos), Fmt $\Delta$  $\mu$  (fragmentada, médio torrões com agregados compactos) e Fpt $\mu$  $\Delta$ +tf (fragmentada, pequenos torrões e com agregados pouco compactos + terra fina). O quadro resumo das descrições micromorfológicas das UMH's deste perfil cultural encontra-se no Anexo 5.

A unidade NAM situada a 45-57 cm de profundidade apresenta um fundo matricial constituído de 60% de material fino, 30% de poros e 15 - 20% de material grosso, com distribuição relativa predominantemente do tipo pórfiro-enáulica e com uma microestrutura complexa com uma zona predominante microgranular com pedalidade fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada. A outra zona é em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado.

A porosidade dominante neste tipo de microestrutura foi do tipo empilhamento complexo (55%), seguido de cavidades arredondadas e policôncavas (30%), fissuras (10%) e canais (5%). A predominância da microestrutura granular e de porosidade de empilhamento nesta unidade também foi observada no solo da parcela Memória.

Em relação às feições pedológicas do tipo textural de revestimento e preenchimento (do tipo ferri-argilãs segundo Brewer, 1976), feições pedológicas amorfas (nódulos ferruginosos) e fábricas birrefringentes presentes, todas se assemelham às observadas na mesma unidade (NAM) no solo da parcela Memória (Anexo 4). A atividade biológica nesta unidade também é evidenciada pela presença de cavidades e canais de origem biológica preenchidos ou não.

Acima dessa UMH, encontram-se volumes de tipo C (contínuo) entre as profundidades de 10 a 45 cm, com variações do estado interno dos agregados entre  $\Delta\mu/\mu\Delta$ . As descrições micromorfológicas das UMH's do tipo  $C\mu\Delta$  e  $C\Delta\mu$  (Anexo 5) apresentam características de fundo matricial, distribuição relativa, feições pedológicas do tipo textural de revestimento e preenchimento e as amorfas (nódulos ferruginosos) e fábricas birrefringentes similares a UMH  $C\Delta\mu$  descrita na parcela Memória (Anexo 4). Porém, diferenciam-se em termos de microestrutura e tipos de poros predominantes.

A unidade  $C\mu\Delta$  possui uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca, enquanto que a  $C\Delta\mu$  apresenta blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodada, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade moderada a fraca. A porosidade dominante na UMH  $C\mu\Delta$  foi do tipo cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (40%), empilhamento composto (40%) e fissuras grandes (20%), enquanto que na  $C\Delta\mu$  ocorreu uma redução de poros do tipo empilhamento composto (30%) e um acréscimo no tipo cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (45%) e fissuras grandes (25%). Grande parte do tipo de poros de empilhamento composto nestas duas UMH's esteve restrito aos canais e cavidades biológicas com preenchimento solto contínuo presentes nas lâminas (Figura 5.2.14).

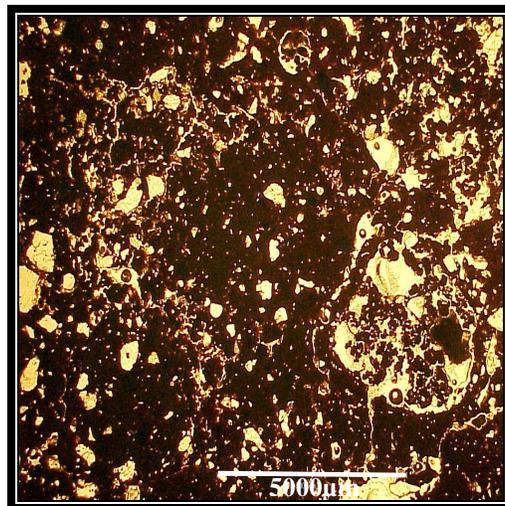


Figura 5.2.14. Fotomicrografia da UMH  $C\Delta\mu$  do perfil cultural sob SPD: Poros de empilhamento composto nos canais e cavidades biológicas com preenchimento solto contínuo.

A atividade biológica é maior nestas duas unidades quando comparada à unidade  $C\Delta\mu$  do solo da parcela Memória, evidenciada pela presença generalizada de canais e agregados microgranulares de origem biológica e raízes em diversos estágios de decomposição (Figura 5.2.15). Corroborando com as observações na escala do perfil, onde se observou também atividade biológica evidenciada pela presença de coros, formigas e cupins.

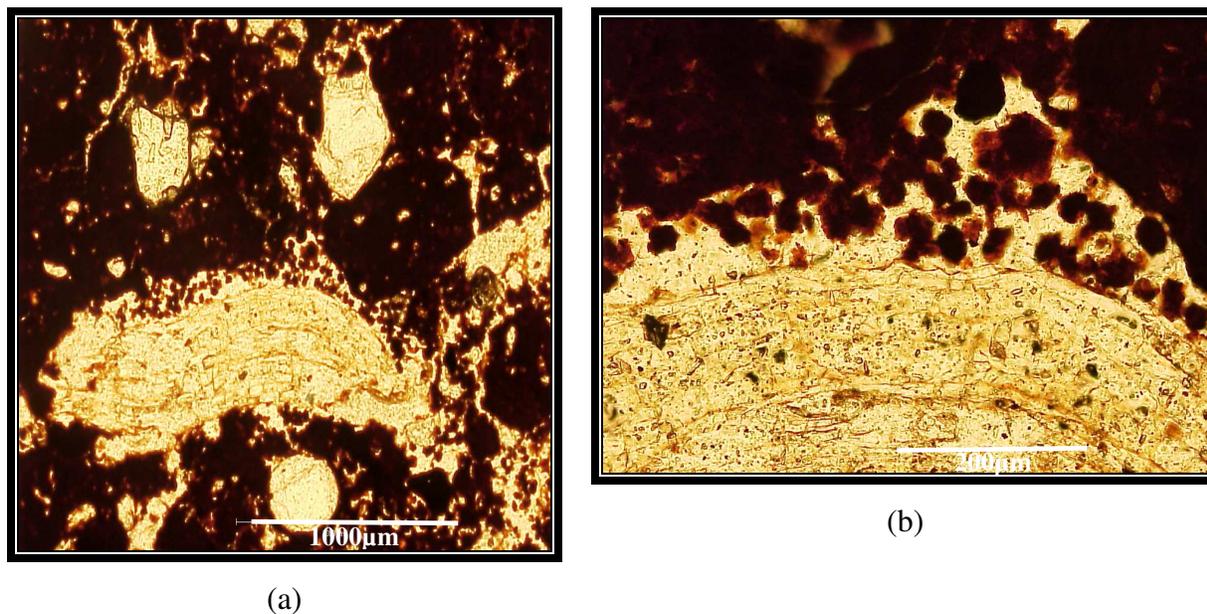


Figura 5.2.15. Fotomicrografia da UMH  $C\Delta\mu$  no perfil cultural sob SPD: Indícios de atividade biológica na matriz (a); ampliação da foto (a) com destaque da atividade bem próxima da raiz.

Ambas as unidades contínuas ( $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ ) no perfil cultural sob sistema SPD quando comparadas à unidade contínua do solo ( $C\Delta\mu$ ) da parcela Memória refletem, em termos de microestrutura e tipos de poros presentes, uma modificação da forma e do tamanho dos agregados, com redução da porosidade de empilhamento e incremento da porosidade fissural. Tais características conferem uma compactação mais evoluída, pois menos se reconhecem os contornos entre os agregados, pela transformação do material em uma massa mais contínua. Porém, as observações micromorfológicas nestas unidades também evidenciaram indícios de atividade biológica e presença de varias raízes podendo induzir uma possível resiliência desta estrutura, provavelmente devido ao manejo adotado. Resultados de resiliência de estrutura utilizando a análise de grau de coalescência dos agregados e porosidade em relação aos diferentes tempos de cultivo, sobretudo a adoção de práticas vegetativas foram relatados por COSTA LIMA e COSTA LIMA (1995); RIZZO (2000) em solo similar. Tais autores relatam que a reversão da compactação

dos agregados foi acompanhada de um aumento na matéria orgânica e atividade biológica no sistema.

As UMH's do tipo fragmentada ( $F_{mt}\Delta\mu$  e  $F_{pt}\mu\Delta+tf$ ) do perfil cultural sob SPD se localizam próximas à superfície (Anexo 5). Tais UMH's refletem fundo matricial e distribuição relativa (enáulica- porfírica com zonas isoladas enáulicas) similares entre si e em relação ao descrito acerca das unidades fragmentadas encontradas no solo da parcela Memória (Anexo 4).

Em ambas as UMH's predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade moderada a fraca. A zona enáulica restringe-se às cavidades preenchidas. A subestrutura da UMH  $F_{mt}\Delta\mu$  apresenta-se similar a mesma unidade sob a parcela Memória. Por outro lado, não foi observado na unidade  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  do perfil cultural sob SPD, a subestrutura em blocos subangulares formados por um processo intenso de fissuração do fundo matricial observada nessa unidade no solo da parcela Memória..

A porosidade dominante das unidades fragmentadas do perfil cultural sob SPD difere da unidade anterior descrita ( $C\Delta\mu$ ) e das UMH's fragmentadas ( $F_{mt}\Delta\mu$  e  $F_{pt}\mu\Delta + tf$ ) do perfil de solo da parcela Memória, principalmente em relação ao incremento de canais e redução dos poros do tipo empilhamento composto e fissuras. Os poros do tipo cavidades arredondadas e policôncavas apresentaram valores similares. Tais características de tipos de poros, principalmente canais oriundos de raízes, refletem em termos relativos maiores porosidades para as unidades fragmentadas no perfil cultural sob SPD.

Observa-se também nessas unidades fragmentadas vestígios de atividade biológica mais intensa que nas unidades contínuas descritas anteriormente (>20%) e similar as unidades fragmentadas do solo da parcela Memória, como também maior presença de fragmentos de restos de raízes em decomposição. A Figura 5.2.16 demonstra a intensa atividade biológica observada na matriz do solo com destaque para a presença de coprólitos nos poros (b) como também a presença de excretas (e, f).

Em relação a proporção de feições texturais do tipo revestimento e preenchimento denso contínuo, em ambas as unidades ( $F_{mt}\Delta\mu$  e  $F_{pt}\mu\Delta+tf$ ) verifica-se uma menor quantidade quando comparada às unidades descritas deste perfil como também à unidade fragmentada ( $F_{pt}\mu\Delta+tf$ ) da parcela Memória.

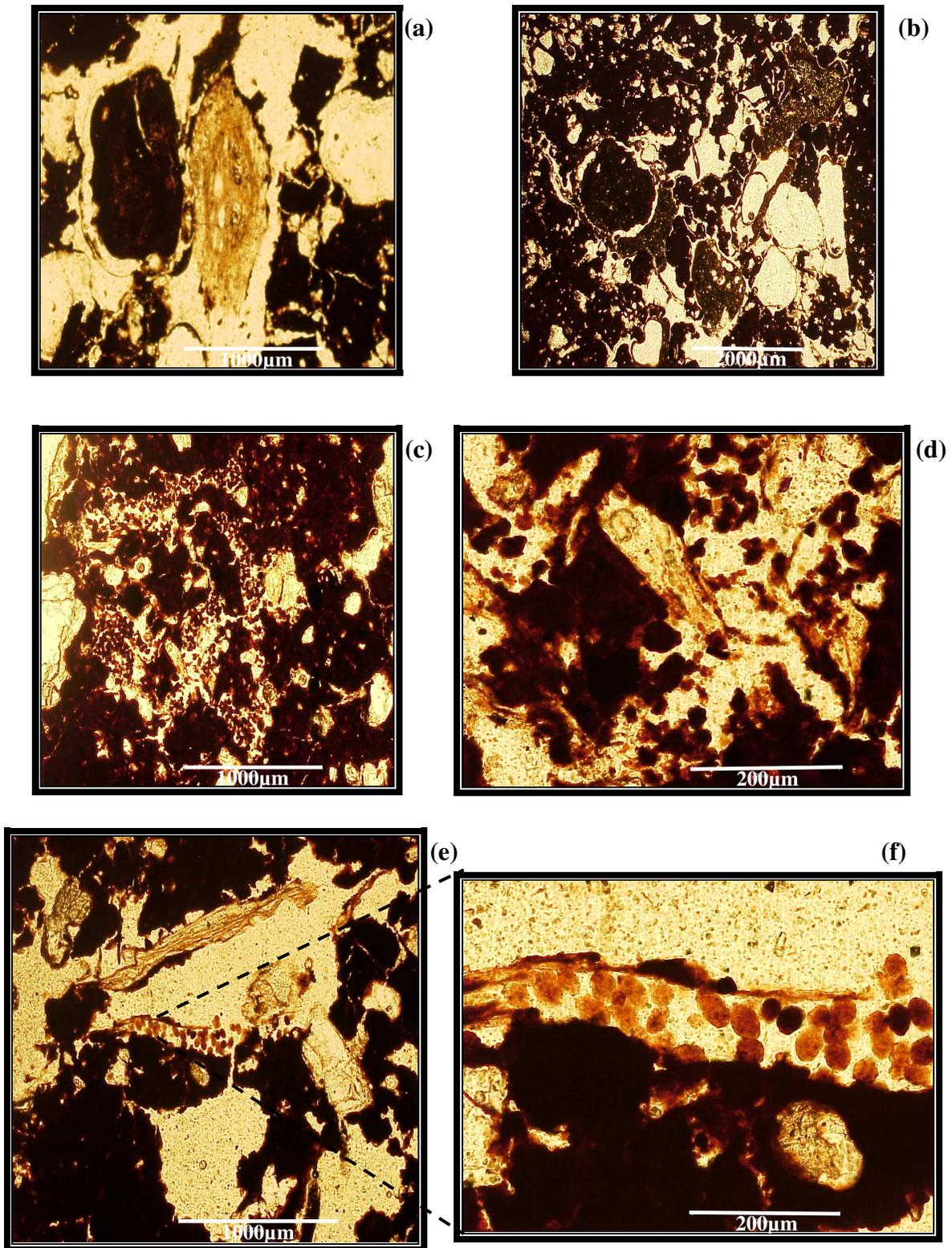


Figura 5.2.16. Fotomicrografia UMH Fmt $\Delta\mu$  e Fpt $\mu\Delta$ +tf sob SPD: Indícios de atividade biológica na matriz e fragmentos de raízes em decomposição (a,b,c,d) com destaque de coprólitos nos poros (b) e excretas arredondadas (e,f).

A fração grossa apresenta similaridade entre as unidades estudadas neste perfil, tais como: formato, tamanho, grau de seleção dos grãos e composição mineralógica, constituída basicamente por grãos de quartzo, com grau de esfericidade bastante variável (Anexo 5).

Em relação à fração fina entre as unidades estudadas neste perfil também possuem a mesma mineralogia, isto é, predominantemente caulínica e óxidos de ferro.

### **5.2.3.1.3. Perfil cultural sob Sistema Convencional (SC) (Parcela P8)**

A descrição das características micromorfológicas das UMH's do perfil cultural sob SC se encontra no quadro-resumo do Anexo 6. Nesse perfil cultural foram descritas 5 UMH's, sendo as seguintes: NAM (não alterado pelo manejo), C $\mu$  $\Delta$  (contínuo e com agregados em processo de compactação), C $\Delta$  $\mu$  (contínuo e com agregados compactos), Fpt $\Delta$  $\mu$  (fragmentado, pequenos torrões e com agregados compactos), Fpt $\mu$  $\Delta$ +tf (fragmentado, pequenos torrões e com agregados pouco compactos + terra fina).

A unidade NAM situada a 37-57 cm de profundidade apresenta um fundo matricial constituído em média de 50% a 55% de material fino, 35%-40% de poros e 10% de material grosso, com distribuição relativa predominantemente do tipo enáulica e com algumas zonas pórfiro-enáulicas (Figura 5.2.17). A zona enáulica apresenta uma microestrutura microgranular fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada e a zona pórfiro-enáulica em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada. A predominância da microestrutura granular nesta unidade também foi observada em ambos os perfis da parcela Memória e sob SPD, o que já era esperado por ser uma unidade não alterada pelo manejo e típica do solo em questão.

A porosidade dominante neste tipo de microestrutura é do tipo empilhamento composto (60%), seguido de cavidades arredondadas e policôncavas (30%), fissuras (5%) e canais (5%), semelhante à observada nos perfis da parcela Memória e sob SPD.

As feições pedológicas do tipo textural de revestimento e preenchimento, ferri-argilãs segundo Brewer (1976) e as amorfas (nódulos ferruginosos) assemelham-se às observadas na unidade NAM nos perfis da parcela Memória e sob SPD. O mesmo foi observado em relação as fábricas birrefringentes presentes (Anexo 6).

A atividade biológica nesta unidade também é evidenciada pela presença de cavidades e canais de origem biológica preenchidos ou não e pelas feições de excrementos através da presença de coprólitos nos canais.

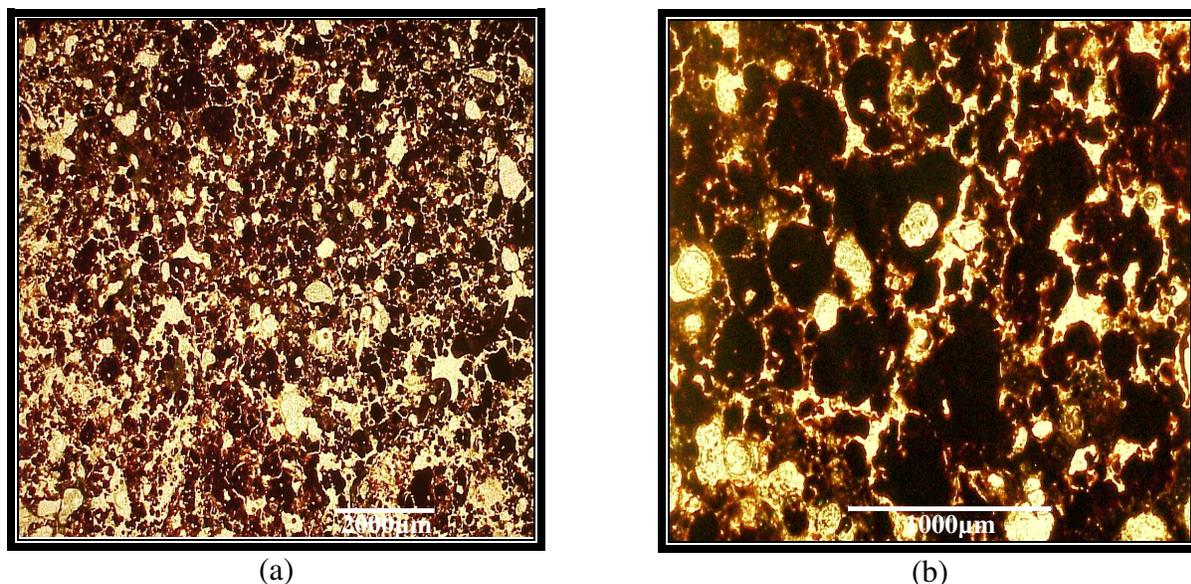


Figura 5.2.17. Distribuição relativa da unidade NAM no perfil cultural sob SC: enáulica (a) e pórfiro-enáulica (b).

As duas UMH's seguintes,  $C\mu\Delta$  (contínuo e com microagregados em processo de compactação) e  $C\Delta\mu$  (contínuo com agregados compactos), situadas respectivamente a 24-43 cm e a 17-33 cm de profundidade, apresentam composição do fundo matricial, distribuição relativa, microestrutura, feições do tipo textural, amorfa e de excrementos similares entre si (Anexo 6), diferenciando-se apenas quanto ao tipos de poros predominates.

Na unidade  $C\mu\Delta$  predominam as cavidades arredondadas e policôncavas grandes (70%), microfissuras (20%) e empilhamento complexo (10%), enquanto que na unidade  $C\Delta\mu$  predominam fissuras (40%), seguidas de cavidades arredondadas e policôncavas (35%), empilhamento complexo (20%) e canais (5%) (Figura 5.2.18a e 5.2.18b). A partir dessas proporções e tipos de poros, interpreta-se que a prevalência de fissuras e de cavidades arredondadas e policôncavas na unidade  $C\Delta\mu$  indicam a ocorrência de esforço físico em razão do uso intensivo de máquinas neste sistema de manejo, resultando na compactação. Tal interpretação se baseia nas observações feitas por PAGLIAI (1987a), que encontrou que a presença de poros do tipo fissural e vesículas é característica de estrutura do solo em processo de degradação.

Na mesma área de estudo da presente pesquisa, LUCARELLI (1997) observou diminuição acentuada da quantidade de poros em subsuperfície sob SC com presença de poros fissurais.

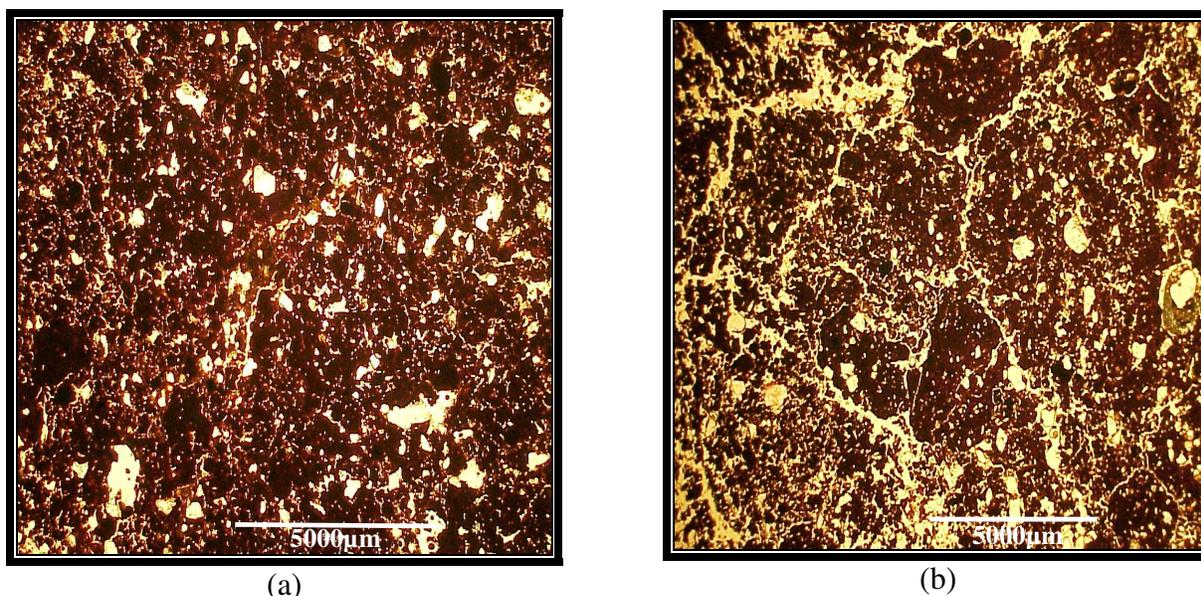


Figura 5.2.18. Fotomicrografias da porosidade predominante nas unidades  $C\mu\Delta$  e  $C\Delta\mu$  sob SC: cavidades arredondadas e policôncavas grandes (a) e porosidade fissural (b), respectivamente.

Quando se compara a unidade  $C\mu\Delta$  deste perfil cultural sob SC com a mesma unidade no perfil cultural sob SPD, observam-se alterações na microestrutura e na proporção e tipos de poros presentes. Sob SPD, observa-se menor coalescência dos agregados (pedalidade moderada) e maior proporção de poros do tipo empilhamento e menor proporção de poros do tipo cavidades arredondadas e policôncavas grandes e fissuras, indicativo de uma provável resiliência desta estrutura sob SPD.

Na comparação da unidade  $C\Delta\mu$  do perfil sob SC com a mesma unidade dos perfis Memória e sob SPD, a mesma tendência é observada, isto é, ocorre uma alteração da microestrutura da unidade  $C\Delta\mu$  principalmente sob SC, que além de apresentar fissuras, os agregados apresentam um maior grau de coalescência, ou seja, estes são fracamente desenvolvidos com subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca. Essas observações micromorfológicas de microestrutura e porosidade reforçam a deterioração da estrutura do solo sob SC em subsuperfície nas unidades contínuas ( $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ ) quando comparada às dos outros dois perfis analisados.

As unidades contínuas presentes no perfil cultural sob SC também apresentaram indícios de atividade biológica (coprólitos) e fragmentos de raízes em decomposição, porém é nítido que ocorrem em menor proporção em relação ao observado nos outros dois perfis descritos. Tal constatação de menor atividade biológica e enraizamento no solo sob SC também pode ser observada na escala do perfil. As unidades fragmentadas no perfil sob SC (Fpt $\Delta\mu$  e Fpt $\mu\Delta$ +tf) se localizam próximas da superfície e refletem distribuição relativa similar à da UMH do tipo C $\Delta\mu$ , porém com microestrutura mais coalescida e incremento de microfissuras (Anexo 6). Coalescência de agregados e aparecimento de fissuras também foram relatadas nas unidades fragmentadas dos perfis sob SPD e da Parcela Memória quando comparadas às unidades contínuas. No estudo micromorfológico, a presença de fissuras e maior coalescência de agregados é interpretada como degradação estrutural. Entretanto, em termos de porosidade, as unidades fragmentadas apresentam maior porosidade em relação às unidades contínuas, como também se observa na avaliação morfológica da estrutura na escala do perfil.

Quando se compara a o grau de coalescência dos agregados da unidade Fpt $\mu\Delta$ +tf do perfil sob SC com os da mesma unidade descritos nos perfis da Parcela Memória e sob SPD, observa-se que na Parcela Memória os blocos apresentam pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida, sob SPD, a pedalidade dos blocos é moderadamente desenvolvida e sob SC fracamente desenvolvida. Observam-se também nessa unidade poucos vestígios de atividade biológica, porém os fragmentos de restos de raízes em decomposição são em número superior ao das unidades contínuas do perfil sob SC e similar ao das unidades fragmentadas da parcela Memória e sob SPD (Anexo 6).

De modo geral, analisando todas as UMH's nos três perfis estudados, as observações microscópicas qualitativas realizadas a partir das lâminas delgadas revelam diferenciações principalmente quanto à microestrutura e à geometria do espaço poroso, interpretando-se que sejam consequência de alterações causadas pelo sistema de manejo.

A semelhante distribuição relativa do fundo matricial da unidade NAM (não alterada pelo manejo) nos três perfis estudados, predominantemente do tipo porfírica-enáulica (ou microagregada), que se altera para predominantemente enáulica-porfírica (ou mais compacta) nas unidades alteradas pelos sistemas de manejo, demonstram a ocorrência de degradação da estrutura de deformação parcial ou mesmo total dos agregados originais, passando de uma forma granular

pequena (microagregada típica do horizonte B latossólico), ou subangular/subarredondada e porosa, para uma estrutura mais contínua (maciça).

Outro aspecto observado nas UMH's nos perfis culturais sob SPD e SC foi a redução da porosidade de empilhamento, principalmente nas unidades C (contínuas) localizadas em subsuperfície, com surgimento de formas fissuradas e estrutura em blocos bem definida. Todas estas observações de microestrutura maciça e porosidade fissural acrescidas de menores evidências de atividade biológica na matriz foram mais intensas sobre as UMH's do SC.

Concluindo, as análises micromorfológicas permitiram constatar que houve maior redução da porosidade nas UMH's no perfil cultural sob SC. A melhor qualidade estrutural das unidades fragmentadas decorre da presença de canais ou bioporos, mais estáveis em relação às fissuras, formados pelas raízes e pela atividade biológica. Neste caso, a presença mais abundante de microfissuração nas unidades fragmentadas, diferente da interpretação dada no caso das unidades contínuas, pode ser efeito não de degradação pelo manejo, mas decorrente de contração e expansão das argilas mediante ciclos repetidos de umedecimento e secamento do solo.

### **5.2.3.2. Caracterização micromorfométrica do espaço poral de amostras indeformadas de solo por análise de imagens**

#### **5.2.3.2.1. Porosidade do solo (computada pela área da lâmina ou do bloco ocupada por macro e mesoporos em relação à área total da lâmina)**

Os resultados da análise descritiva do atributo “porosidade do solo” das UMH's identificadas nos perfis da parcela Memória e sob SPD e SC são apresentados na Tabela 5.2.2.

Observando-se os coeficientes de variação (CV%), constata-se que a variabilidade dos dados é média ( $12\% < CV < 60\%$ ) para 13 dentre 14 UMH's com exceção da unidade NAM sob SPD, que apresentou baixa variabilidade ( $< 12\%$ ), segundo os critérios de WARRICK e NIELSEN (1980). Os maiores valores de coeficiente de variação da porosidade do solo ocorreram nas unidades do perfil sob SC, o que é coerente com o fato de que neste sistema um maior número de operações mecanizadas se traduz em maior variabilidade da condição estrutural do solo a curtas distâncias no perfil, refletindo-se na porosidade.

Para cada UMH estudada, a distribuição dos valores da porosidade do solo é simétrica, sendo que a média é menos do que 1% maior ou menor do que o valor da mediana, constatando-se que a média representa bem o conjunto de dados.

Tabela 5.2.2. Estatística descritiva dos dados de porosidade do solo (%) de UMH's identificadas no perfil da parcela Memória.

Porosidade do solo (%)							
Parcela	UMH's	Média	Mediana	s	Min.	Máx.	CV (%)
Memória	NAM	27,36	27,43	3,43	19,69	32,48	12,55
	CΔμ	18,18	17,39	4,98	11,41	28,52	27,42
	FmtΔμ	22,48	20,81	6,24	13,70	35,24	27,78
	FptμΔ+tf	18,27	15,91	5,55	10,45	28,11	30,38
Porosidade do solo (%)							
Parcela	UMH's	Média	Mediana	s	Min.	Máx.	CV (%)
SPD	NAM	27,99	27,81	2,66	24,55	32,48	9,50
	CμΔ	20,35	20,88	4,65	14,55	26,46	22,89
	CΔμ	18,12	16,77	5,18	11,41	28,52	28,60
	FmtΔμ	20,83	21,91	5,75	31,04	12,99	27,64
	FptμΔ+tf	24,75	23,00	5,55	18,13	38,73	22,45
Porosidade do solo (%)							
Parcela	UMH's	Média	Mediana	s	Min.	Máx.	CV (%)
SC	NAM	33,91	34,26	4,42	26,91	40,8	13,03
	CμΔ	21,00	20,56	6,35	13,37	35,83	30,26
	CΔμ	13,58	13,34	6,41	5,82	29,73	47,24
	FptΔμ	18,29	18,92	7,65	10,18	25,16	41,84
	FptμΔ+tf	18,55	16,00	5,81	10,44	28,11	31,30

s- desvio padrão; CV- coeficiente de variação; Min.- mínimo; Max.- máximo

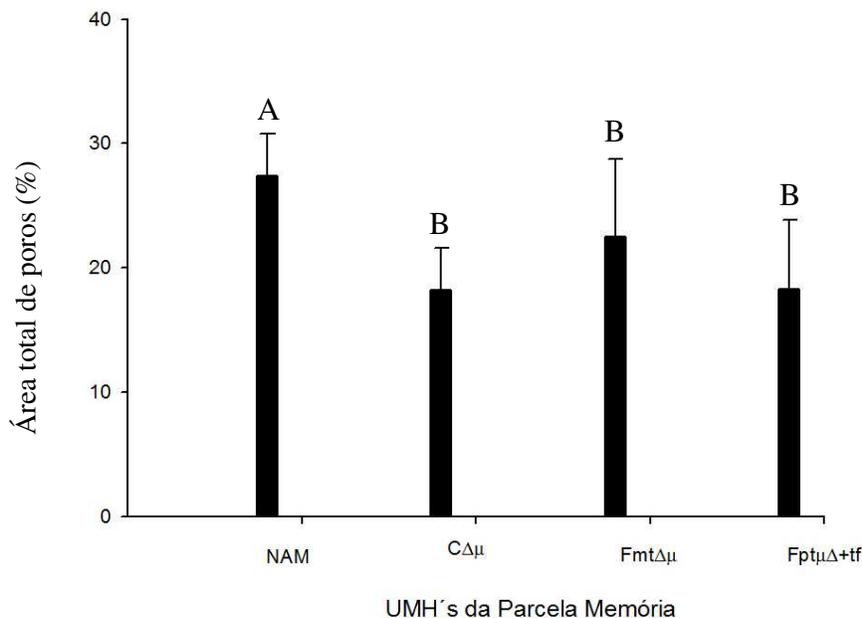
Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; Δμ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto "solo pulverizado"; Z = estrutura laminar; o sinal "/" representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

Os resultados da análise de variância da porosidade do solo média caracterizada para as diferentes UMH's da parcela Memória e dos perfis culturais sob SPD e SC evidenciam que ocorrem diferenças significativas entre unidades (Figuras 5.2.18 , 5.2.19 e 5.2.20).

Na parcela Memória, a unidade NAM apresentou a maior porosidade, diferindo estatisticamente das demais UMH's (Figura 5.2.18).

A porosidade do solo média da unidade NAM da parcela Memória é de 27,36% enquanto que a da unidade CΔμ é de 18,18% , o que dá um fator de redução de 1,5. Os valores de porosidade do solo média das UMH's fragmentadas (FmΔμ e FptμΔ+tf) indicam fator de redução em torno de 1,21 e 1,49 respectivamente em relação à unidade não alterada pelo manejo. Essas observações de redução da porosidade corroboram com as constatadas na descrição qualitativa das

lâminas nas análises micromorfológicas, onde foi relatada a mudança de um trama pórfiro-enáulica para um enáulico- porfírica.



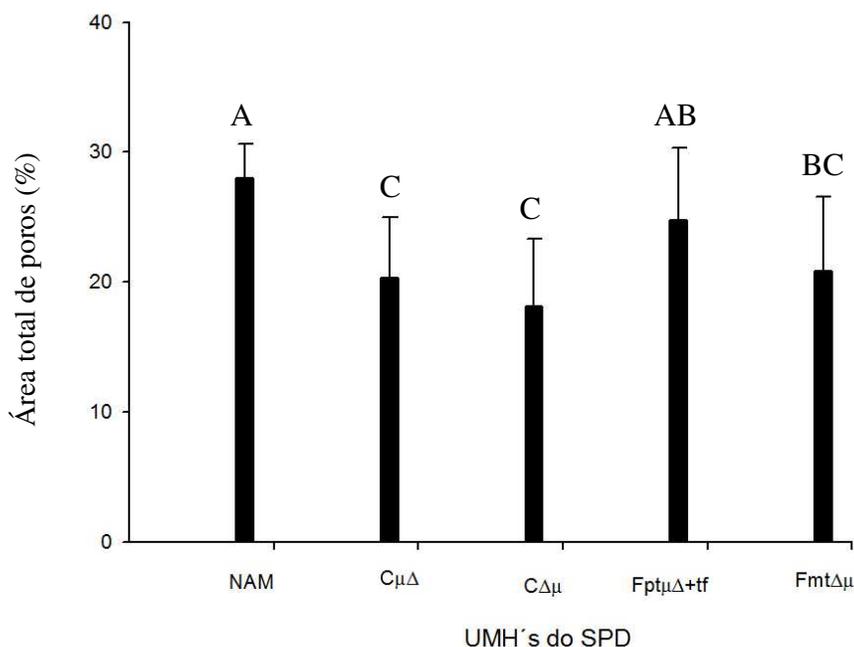
Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si, quanto às UMH's, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Figura 5.2.18. Resultados dos teste de média da porosidade do solo para UMH's do perfil da parcela Memória (referência de estrutura do solo em pouso e sob revegetação natural há mais de 20 anos).

Em relação as UMH's fragmentadas (FmΔμ e FptμΔ+tf), os testes de média indicam que as mesmas não apresentam diferenças significativas entre si nem em relação à porosidade do solo da unidade contínua CΔμ, ao nível de 5% de probabilidade. Nas descrições micromorfológicas essas unidades apresentam porosidades bem semelhantes, diferenciando-se quanto a atividade biológica mais intensa, com e maior proporção de canais nas unidades fragmentadas em relação à unidade contínua. Para interpretação desses dados, segundo PAGLIAI (1988), o solo é considerado denso (compacto), quando a macroporosidade total é inferior a 10%, moderadamente poroso quando a porosidade varia de 10 a 25%, poroso quando varia de 25 a 40%, e extremamente poroso com mais de 40% (. De acordo com essa classificação, as UMH's CΔμ, FmtΔμ e FptμΔ+tf são moderadamente porosas enquanto que a unidade NAM é porosa.

No perfil cultural sob SPD, as diferenças entre médias de porosidade do solo podem ser observadas no gráfico da Figura 5.2.19. Neste caso, as porosidades do solo médias calculadas para

as unidades NAM (27,99%) e Fpt $\mu\Delta$ +tf (24,75%) não diferem entre si e são superiores às porosidades médias das unidades contínuas C $\Delta\mu$  (18,12%) e C $\mu\Delta$  (20,35%).



Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si, quanto às UMH's, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

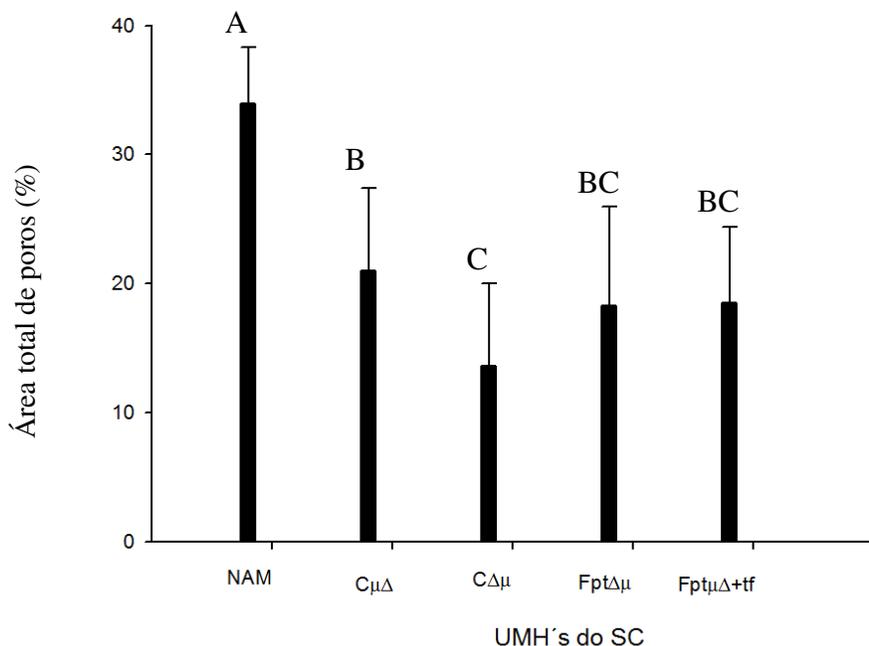
Figura 5.2.19. Resultados dos teste de média da porosidade do solo para UMH's do perfil cultural sob SPD.

A proximidade dos valores de porosidade do solo média das unidades Fpt $\mu\Delta$ +tf e NAM pode se relacionar com a intensa atividade biológica observada na lâmina representativa da unidade Fpt $\mu\Delta$ +tf, com uma porosidade caracterizada por cavidades interconectadas e inúmeros canais, sendo que alguns deles encontravam-se preenchidos por raízes em vários estádios de decomposição, como observado na descrição micromorfológica qualitativa.

A porosidade do solo média estimada para a unidade Fmt $\Delta\mu$  (20,83%) não se diferencia nem das porosidades do solo médias das unidades contínuas nem da unidade Fpt $\mu\Delta$  + tf. Resultados similares também foram observados no perfil da parcela Memória, onde as UMH's contínuas não se diferenciaram da UMH do tipo Fmt $\Delta\mu$ . Outra observação que reforça essa proximidade entre estas UMH's é o tipo de distribuição relativa encontrada (enáulica-porfírica) observada na unidade Fmt $\Delta\mu$  com uma subestrutura microagregada bem coalescida, demonstrando

que houve mudanças no adensamento da matriz como observado na descrição micromorfológica da lâmina.

Já no perfil cultural sob SC, observa-se na Figura 5.2.20 que a porosidade do solo média da unidade NAM (33,91%) é superior e se diferencia de todas as demais UMH's; a da unidade contínua C $\mu$  $\Delta$  (21,0%) é superior e se diferencia da porosidade do solo média da unidade contínua C $\Delta$  $\mu$  (13,58%).



Médias seguidas da mesma letra maiúscula não diferem entre si, quanto às UMH's, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Figura 5.2.20. Resultados dos teste de média da porosidade do solo para UMH's do perfil cultural sob SC.

As porosidades do solo médias das unidades fragmentadas Fpt $\mu$  $\Delta$ +tf (18,55%) e Fpt $\Delta$  $\mu$  (18,29%) não se diferenciam entre si, nem em relação às das unidades contínuas. A proximidade dos valores de porosidade do solo média das UMH's contínuas e fragmentadas no perfil cultural sob SC pode advir do fato de apresentarem estar a mesma microestrutura, menor atividade biológica e menor porosidade por cavidades e canais.

De modo geral, observa-se uma consistente diminuição da porosidade do solo quando se passa da unidade não alterada pelo manejo (NAM) e as demais. As maiores mudanças, no sentido da diminuição da porosidade do solo média, são observadas nas unidades do perfil cultural sob SC.

Quando se avalia a mesma UMH nos diferentes perfis, observam-se também diferenças significativas para o atributo porosidade do solo. Observando-se a Tabela 5.2.3, obteve-se que a porosidade do solo média estimada para a unidade NAM no perfil da parcela Memória é significativamente inferior aos valores médios de porosidade do solo desta unidade nos perfis sob SPD e SC. Tratando-se de uma unidade não alterada pelo manejo, não deveriam ocorrer diferenças significativas entre perfis. Com relação às demais unidades descritas, diferenças significativas foram caracterizadas entre a unidade fragmentada Fpt $\mu\Delta$ +tf que se apresenta com maior porosidade do solo média no perfil cultural sob SPD. Em posição superficial junto à linha de plantio, maior porosidade do solo média sob SPD pode ser atribuída a maior presença de poros do tipo canal, com muitos fragmentos de raízes em decomposição e indícios de intensa atividade biológica, de acordo com as descrições micromorfológicas qualitativas desta unidade. Todas as demais UMH's não apresentaram diferenças significativas quanto aos valores médios de porosidade do solo.

Tabela 5.2.3. Valores médios de porosidade do solo (%) de UMH's identificadas em perfis da parcela Memória e sob SPD e SC.

Perfis	UMH's					
	NAM	C $\mu\Delta$	C $\Delta\mu$	Fmt $\Delta\mu$	Fpt $\Delta\mu$	Fpt $\mu\Delta$ +tf
Memória	27,35A	-	17,91A	22,48A	-	18,27A
SPD	27,99B	20,35A	18,12A	20,83A	-	24,75B
SC	33,90B	21,00A	13,58A	-	18,29	18,55A

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si, quanto aos perfis para a mesma UMH, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Já na unidade C $\mu\Delta$  encontradas sob SPD e SC constata-se similaridade e não apresentaram diferenças significativas entre si.

Para a C $\Delta\mu$  também não foram observadas diferenças estatísticas entre os perfis, no entanto observa-se uma maior porosidade sob SPD, seguido pela parcela Memória e sob SC. A menor porosidade desta UMH sob SC reforçam a deterioração da estrutura sob o SC em subsuperfície, sendo essa redução provavelmente oriunda da formação "pé-de-grade" logo abaixo da profundidade de corte. Resultados semelhantes foram encontrados por SCHAEFER et al. (2001) em um Argissolo Vermelho-Amarelo, cultivado por dez anos com o uso de grade pesada, onde observaram que as análises dos blocos polidos indicou diminuição aparente da macroporosidade e

em aumento do adensamento do solo em subsuperfície, evidenciando a presença de “pé de grade” e poros planares.

A  $F_{mt}\Delta\mu$  observadas sob parcela Memória e SPD obteve maior porosidade sob SPD quando comparado a parcela Memória, porém não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Em relação a unidade  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  localizadas superficialmente e na cova de plantio dos sistemas de manejo estudados constata-se maior porosidade sob SPD (24,75%) diferindo-se estatísticas da parcela Memória e sob SC. Tal fato pode ser atribuído a maior presença de poros do tipo canal com muitos fragmentos de raízes em decomposição e indícios de intensa atividade biológica como constatado nas descrições micromorfológicas qualitativas desta unidade.

De modo geral para o atributo porosidade total do solo analisada nas UMH's dos perfis estudados observa-se maiores valores sob a parcela Memória seguido do SPD e menores valores nas UMH's sob SC. Em termos comparativos, a qualidade do solo sob SPD e SC no que se refere à porosidade piorou em relação à condição do solo sob parcela Memória.

#### **5.2.3.2.2. Tamanho e forma dos poróides**

A análise da porosidade média do solo pelo tamanho e forma de cada tipo de poroide realizada nos blocos de solo permitiu observar alterações importantes em termos de porcentagem de área em cada um dos perfis e UMH's analisadas.

Indistintamente, no entanto, nas três situações analisadas, Memória, SPD e SC, a maior parte da porosidade observada nas UMH's se refere a poros do tipo complexo, e essencialmente de tamanhos médio e grande. Exceção a esse comportamento se refere à unidade  $C\Delta\mu$  que nas três situações analisadas apresentou predominância de poros do tipo arredondado, de tamanho médio a grande sob SPD e parcela Memória, e de tamanho pequeno a médio sob SC. Observou-se também que de modo geral todas as formas de poros estão representadas em todos os perfis e UMH's descritas.

A Figura 5.2.21 ilustra a distribuição relativa dos tipos (arredondados, alongados e complexos) e tamanhos (pequenos, médios e grandes) dos poros das UMH's do perfil da parcela Memória. A distribuição dos poros mostra o predomínio de poros complexos nas unidades NAM (15,03%),  $F_{mt}\Delta\mu$  (11,72%),  $F_{pt}\mu\Delta+tf$  (7,73%) quando comparado a unidade  $C\Delta\mu$ , onde a predominância é de poros arredondados (8,21%). Com relação à proporção de poros alongados, os

valores encontrados são bem similares, mas com uma quantidade um pouco maior nas UMH's fragmentadas, observando-se a dominância de poros de tamanho grande.

A proporção de poros do tipo complexo é superior na unidade NAM seguida da unidade Fmt $\Delta\mu$ ; as proporções de poros complexos nas unidades C $\Delta\mu$  e Fpt $\mu\Delta$ +tf são semelhantes e menores dentre as quatro unidades. Assim, apesar dessas UMH's apresentarem prososidade do solo similares, conforme visto anteriormente, diferem quanto ao tipo de poroide predominante. Em C $\Delta\mu$ , a maior proporção de poros arredondados em relação à caracterizada na unidade Fpt $\mu\Delta$ +tf, pode ser indicadora de que o adensamento do solo em C $\Delta\mu$  pode ter ocorrido pela transformação de poros de empilhamento (ou complexos) em poros mamelonares e policôncavos (ou arredondados), por meio do processo de coalescência de microagregados, como evidenciado anteriormente nas descrições micromorfológicas.

Essas mesmas tendências foram observadas nas formas e tamanhos dos poróides das UMH's do perfil cultural sob SPD: predominância de poros do tipo complexo nas unidades NAM (15,94%), C $\mu\Delta$  (9,43%), Fmt $\Delta\mu$  (10,04%) e Fpt $\mu\Delta$ +tf (14,51%) e arredondado em C $\Delta\mu$  (8,14%). As distribuições das porcentagens dos poróides por forma e tamanho estão ilustradas na Figura 5.2.22. Como relatado anteriormente, a presença de poróides arredondados em unidades contínuas pode estar associada com a coalescência dos agregados e desaparecimento dos poróides de empacotamento, dando origem aos poróides dos tipos cavidades e câmaras, os quais estão relacionados com os processos de compactação do solo (RINGROSE-VOASE e BULLOCK, 1984).

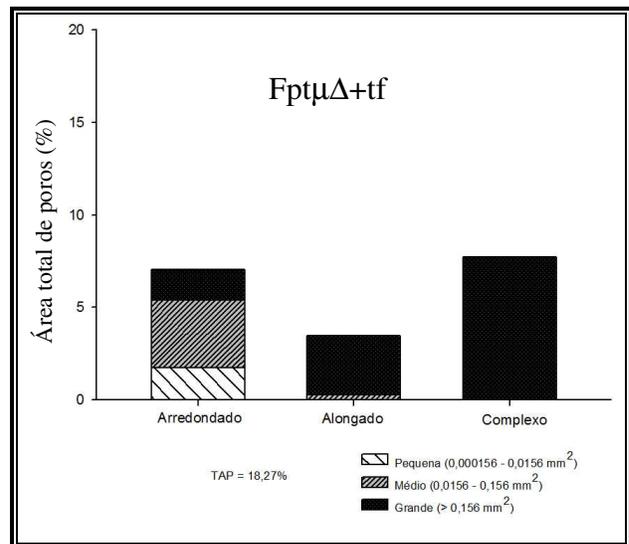
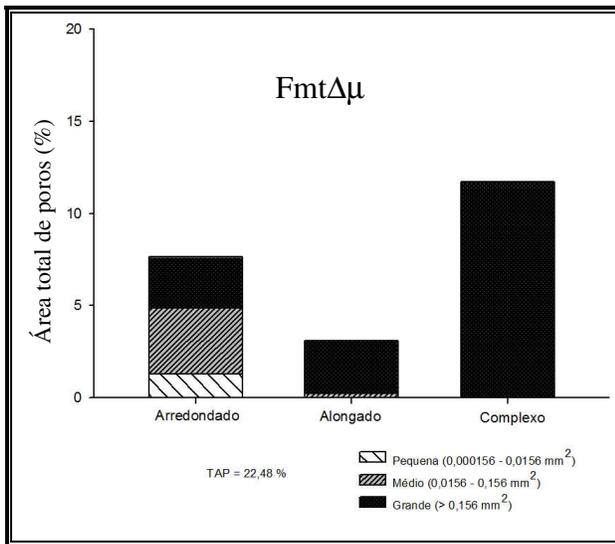
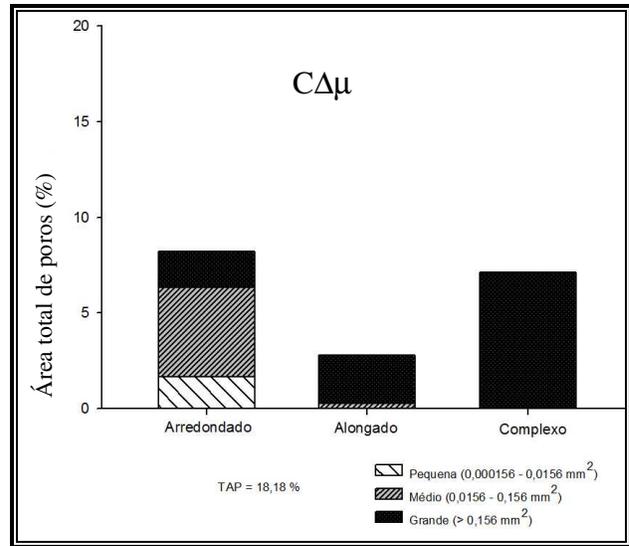
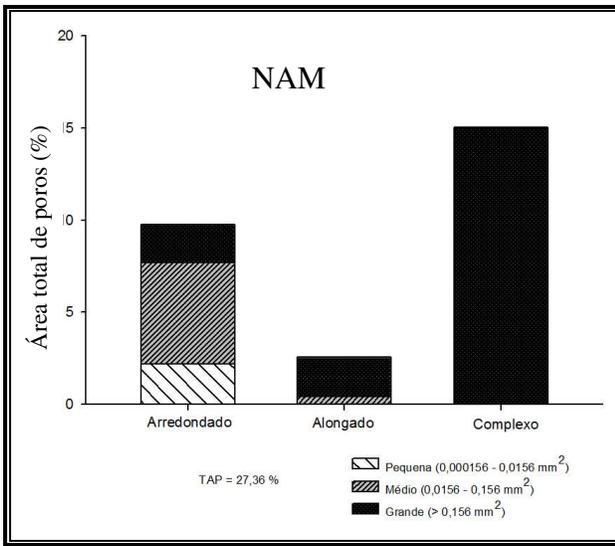


Figura 5.2.21. Distribuição da porosidade segundo a forma e o tamanho dos poróides observados nas UMH's da Parcela Memória. Arr= arredondados, Alon= alongados, Comp= complexos.

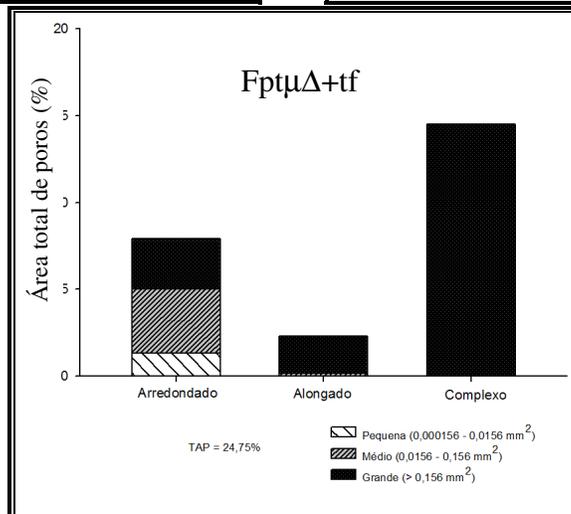
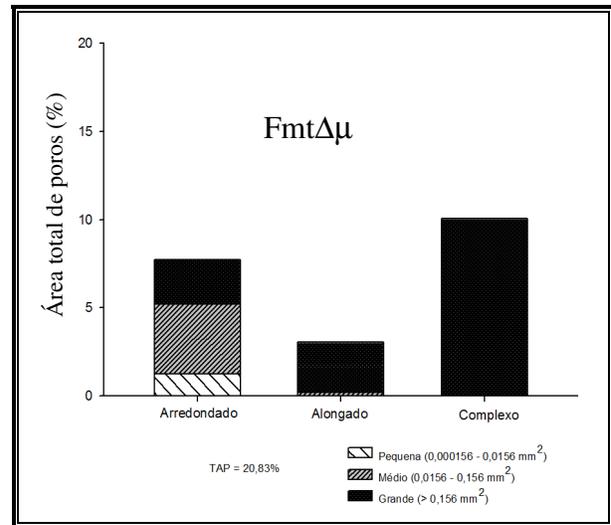
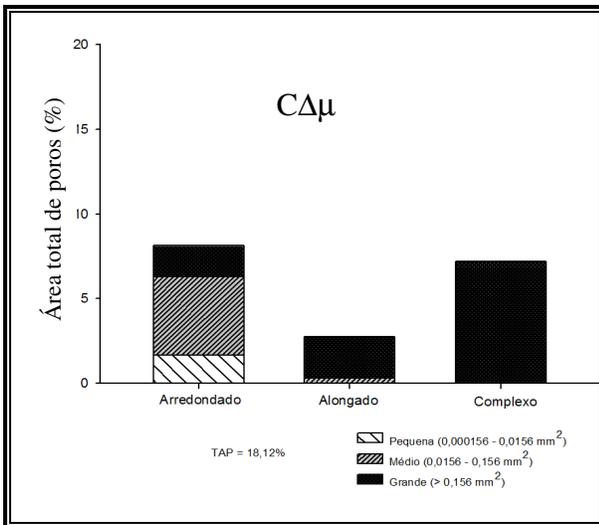
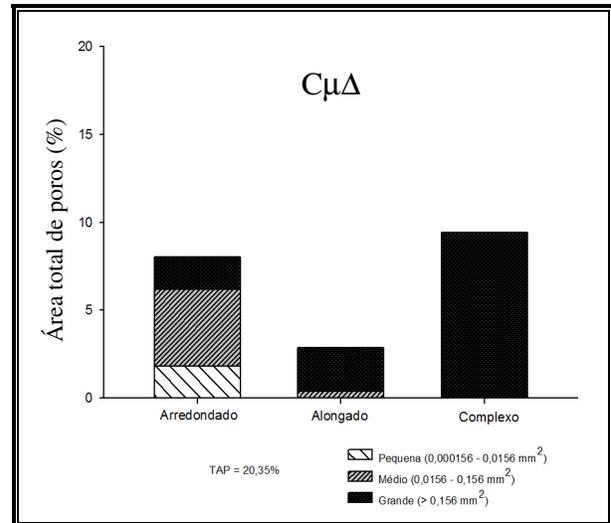
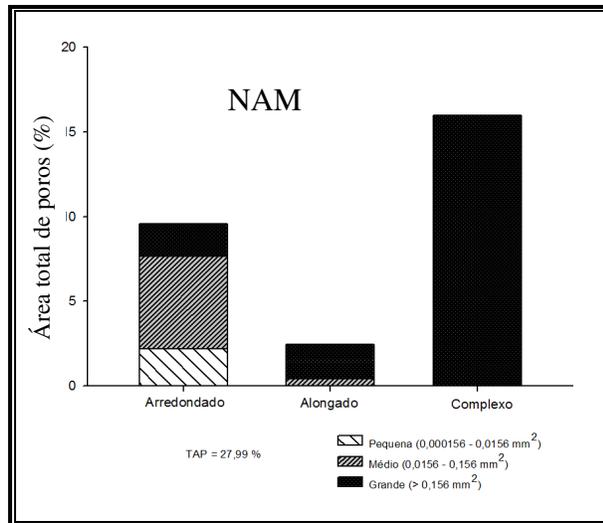


Figura 5.2.22. Distribuição da porosidade total segundo a forma e o tamanho dos poróides das UMH's do perfil cultural sob SPD. Arr=arredondados, Alon= alongados, Comp= complexos.

Comparando com o observado na unidade não alterada pelo manejo (NAM) com 27,99 % de poróides complexos, também neste caso, o manejo agrícola condicionou redução desse tipo de poróides, em especial nas unidades contínuas  $C\Delta\mu$  e  $C\mu\Delta$ , que apresentaram respectivamente cerca de 7,21% e 9,43% de poróides complexos. As observações micromorfológicas confirmam a redução de porosidade e redução de poros complexos nestas duas unidades contínuas.

A porosidade dominante na UMH  $C\mu\Delta$  é do tipo de cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (40%), empilhamento composto (40%) e fissuras grandes (20%), enquanto que na unidade  $C\Delta\mu$  há menor proporção de poróides do tipo empilhamento composto (30%) e mais poróides do tipo cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (45%) e de fissuras grandes (25%). Grande parte dos poróides de empilhamento composto nestas duas UMH's s ocorrem nos canais e cavidades biológicas onde nas lâminas se observou preenchimento solto contínuo. Observa-se também que as unidades  $C\mu\Delta$ ,  $C\Delta\mu$  e  $Fmt\Delta\mu$  apresentaram os menores valores médios de porosidade do solo e os maiores valores de poróides alongados, respectivamente de 2,86%, 2,74% e 3,04% (Figura 5.2.22).

As unidades fragmentadas  $Fmt\Delta\mu$  e  $Fpt\mu\Delta+tf$  possuem proporções similares de poróides arredondados e maiores proporções de poróides complexos grandes, respectivamente 10,04% e 14,52%, em comparação com as unidades contínuas descritas anteriormente. A predominância de poros do tipo complexo nas unidades fragmentadas pode estar associada à atividade biológica relatada nas descrições micromorfológicas dessas unidades.

Com relação às UMH's do perfil cultural sob SC, como ilustrado na Figura 5.2.23 não se observa um padrão de distribuição de forma e tamanho dos poróides como observado nos perfis anteriores, ocorrendo maior diversidade. Novamente, isto pode ser reflexo de maior mobilização do solo pela utilização de diferentes implementos em várias operações agrícolas, característico dos sistemas convencionais de manejo do solo. No entanto, as reduções do tipo de poróides complexos é mais acentuada neste caso. Comparada à unidade NAM, a unidade  $C\Delta\mu$  apresenta um decréscimo de porosidade do solo em torno de 40%, sendo esta redução basicamente oriunda da diminuição dos poróides do tipo complexo. Destaca-se ainda nesta unidade um incremento de poróides arredondados grandes e médios e alongados grandes, nesse caso associados às fissuras observadas na descrição qualitativa, indicadores de compactação e de degradação do tipo de microestrutura.

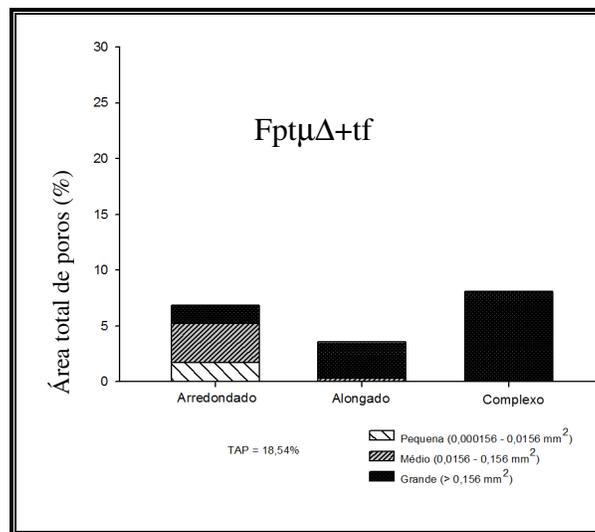
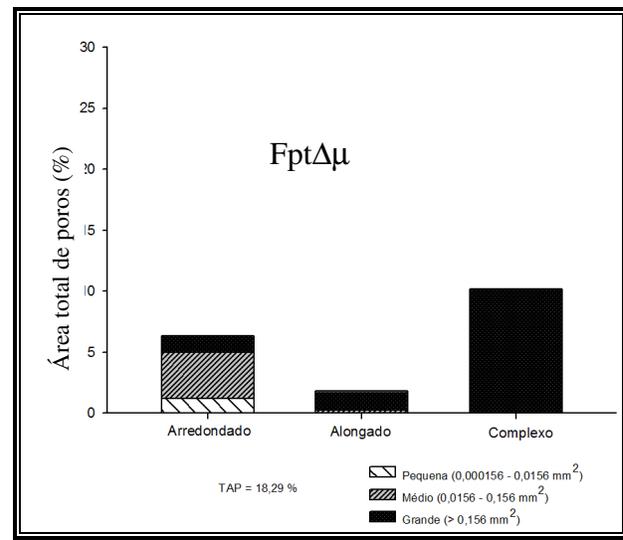
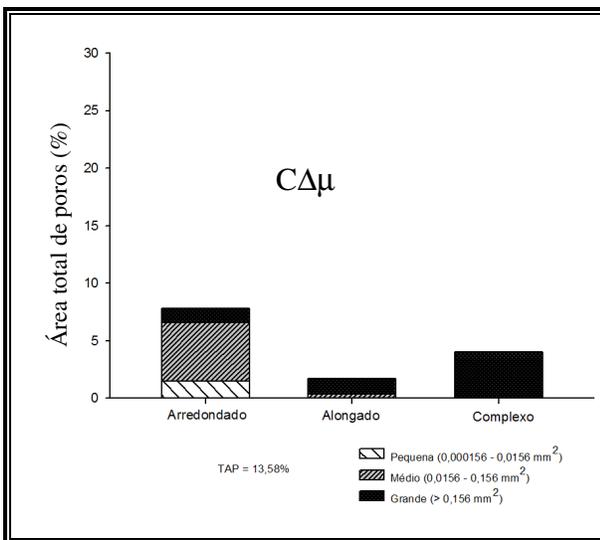
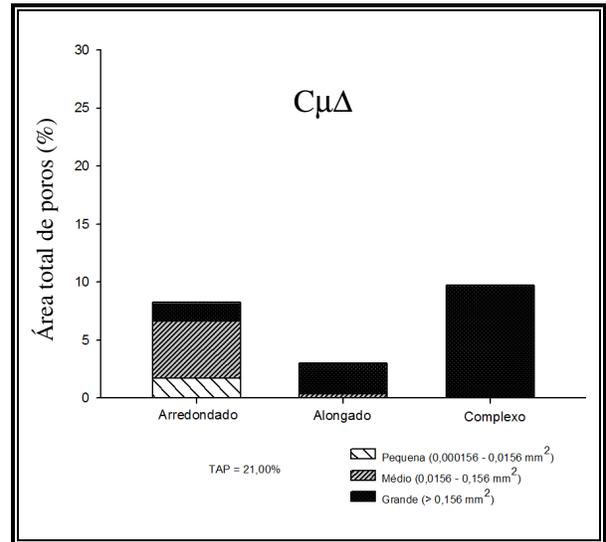
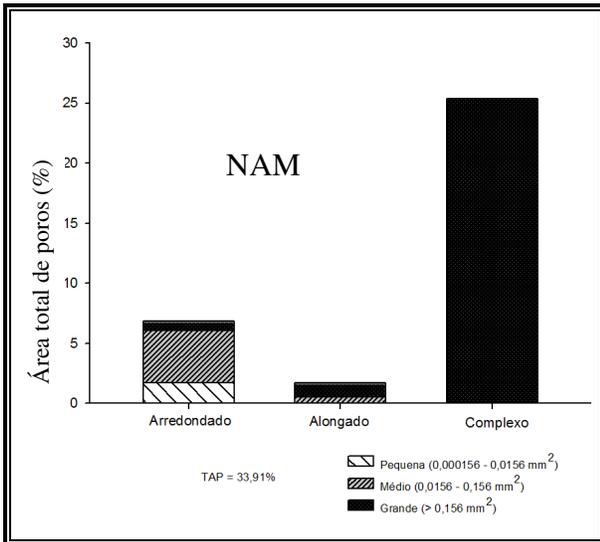


Figura 5.2.23. Distribuição da porosidade total segundo a forma e o tamanho dos poróides nas UMH's do perfil cultural sob SC. Arr=arredondados, Alon= alongados, Comp= complexos.

Em relação as unidades fragmentadas (Fpt $\Delta\mu$  e Fpt $\mu\Delta$ +tf), observa-se um incremento de poróides de tipo alongados em comparação com a unidade C $\Delta\mu$ , corroborando com as observações das lâminas que refletiram uma submicroestrutura mais coalescida com incremento de microfissuras.

A drástica redução dos macro e mesoporos nas unidades contínuas e fragmentadas sob este perfil podem estar associada à compactação do solo, o que foi observado nas descrições micromorfológicas. Estas constatações também foram relatadas por PAGLIAI et al. (2003), que relataram o efeito do tráfego de implementos agrícolas no solo, demonstrando que após tráfego intenso ocorreu compactação no subsolo, causando redução da porosidade total principalmente nos poros de transmissão (complexos) para valores inadequados para o movimento de água e crescimento de raízes.

É interessante destacar que a relação poróides arredondados e poróides complexos é inversamente proporcional em todos os perfis e UMH's, ou seja, onde temos uma proporção da porosidade complexa alta a porosidade arredondada é baixa, enquanto onde a porosidade complexa é pequena a proporção da porosidade arredondada é alta.

Outro aspecto extremamente importante que deve ser levado em conta em relação ao tamanho e formas dos poróides das UMH's é a mudança em termos de tipos e proporção de uma mesma UMH's quando submetida a sistemas diferentes.

Na unidade fragmentada (Fpt $\mu\Delta$ +tf) localizada na superfície dos sistemas de manejo (SC e SPD) e no perfil da parcela Memória a proporção de poróides do tipo complexo foi maior sob SPD (14,52%), seguido de valores similares sob SC (8,1%) e parcela Memória (7,7%). Em relação aos poróides arredondados, o SPD também obteve a maior proporção (7,93%), seguida da parcela memória (7,02%) e do SC (6,86%). Tal fato de maior proporção de poróides complexos e arredondados nsta unidade em SPD pode ser atribuído à maior presença de poróides do tipo canal, com muitos fragmentos de raízes em decomposição e indícios de intensa atividade biológica, como constatado nas descrições micromorfológicas desta unidade. Em relação aos poróides alongados, a maior proporção ocorre sob a parcela Memória (3,47%), seguida do SC (3,56%) e SPD (2,29%). Porém, é importante distinguir que o tipo de poróides alongados predomina sob cada sistema de manejo, pois as fissuras são consideradas poros instáveis, dependentes dos ciclos de umedecimento e secamento do solo, enquanto, os canais são poros mais estáveis que proporcionam uma

estabilidade estrutural maior, além de que devido a seu tamanho funcionam como poros de aeração e redistribuição da água no solo.

Nas descrições micromorfológicas do solo da Parcela Memória foi observado um intenso processo de fissuração do fundo matricial e sob SPD um incremento de poróides do tipo canal, oriundo basicamente da intensa atividade biológica. Já sob SC, os poróides alongados estão associados ao incremento de fissuras.

Já na unidade contínua (CΔμ), observa-se uma predominância de poróides do tipo arredondados com valores similares entre SPD (8,14%), SC(7,81%) e parcela Memória (8,21%). Destaca-se neste tipo de unidade uma redução mais acentuada de poróides complexos sob o SC, que apenas possui 4,03%, enquanto que a Parcela Memória e o SPD possuem em torno de 7,14% e 7,21%, respectivamente.

Observa-se também que a proporção de tamanhos médios desta classe de porosidade (arredondados) cresce do perfil cultural sob SPD (4,62%), para a parcela Memória (4,67%) e para o SC (5,10%). Este aumento gradual do tamanho destes poros neste sentido indica que este tipo de porosidade esta mais desenvolvida sob este sistema em que o processo de compactação é mais importante. Este processo de coalescência de agregados atuando sobre o material leva à formação dos agregados poliédricos e o aparecimento de fissuras como observado nas descrições micromorfológicas.

Desse modo, a maior porosidade do solo e proporção de poróides complexos e alongados (canais) nas UMH's contínuas sob SPD e parcela Memória conferem a este um arranjo diferente e, conseqüentemente, melhores condições físicas para a penetração das raízes e para o movimento da água no solo, quando comparado as UMH's contínuas sob SC. Observações na escala do perfil cultural demonstraram maior quantidades de raízes sob esta unidade no SPD e parcela Memória.

#### **5.2.3.2.3. Distribuição dos poros**

As Figuras 5.2.24, 5.2.25 e 5.2.26 fornecem informações sobre o número e área dos poróides em função da classe de diâmetro (ou largura) e forma (arredondado, alongado e complexo) do solo dos perfis das parcelas Memória, sob SPD e sob SC, respectivamente. O número total de poróides (NTP) presentes e a proporção de poróides nos diferentes diâmetros são

considerados importantes tanto nas relações solo-água-plantas quanto na manutenção de uma boa estrutura do solo.

A Figura 5.2.24 mostra a mudança no NTP e área dos poróides em função da classe de diâmetro para as UMH's da parcela Memória.

A unidade NAM apresentou área total de poróides (ATP) (27,36%) e NTP (718) mais elevados, com presença de poucos poróides complexos ocupando uma grande área, indicando elevada conectividade entre os poróides presentes (Figura 5.2.24 a).

Na unidade CΔμ ocorreu uma redução em torno de 22% no NTP (560) quando comparado a NAM, principalmente dos poróides arredondados e um incremento de poróides alongados (Figura 5.2.24 b).

As unidades fragmentadas FmtΔμ e FptμΔ+tftambém apresentaram redução no NTP quando comparada à NAM, em torno de 39,275 e 41,22%, respectivamente (Figura 5.2.24 c e d).

Observa-se que esta redução no NTP ocorre principalmente devido aos poróides arredondados, demonstrando que esse tipo de poroide é sensível ao processo de compactação, reforçando as observações na descrição do perfil cultural, que revelaram predomínio de estruturas com evidências de processos de compactação (FΔμ e CΔμ) até 35 cm de profundidade, apesar da parcela estar sendo mantida sem uso agrícola por mais de 23 anos.

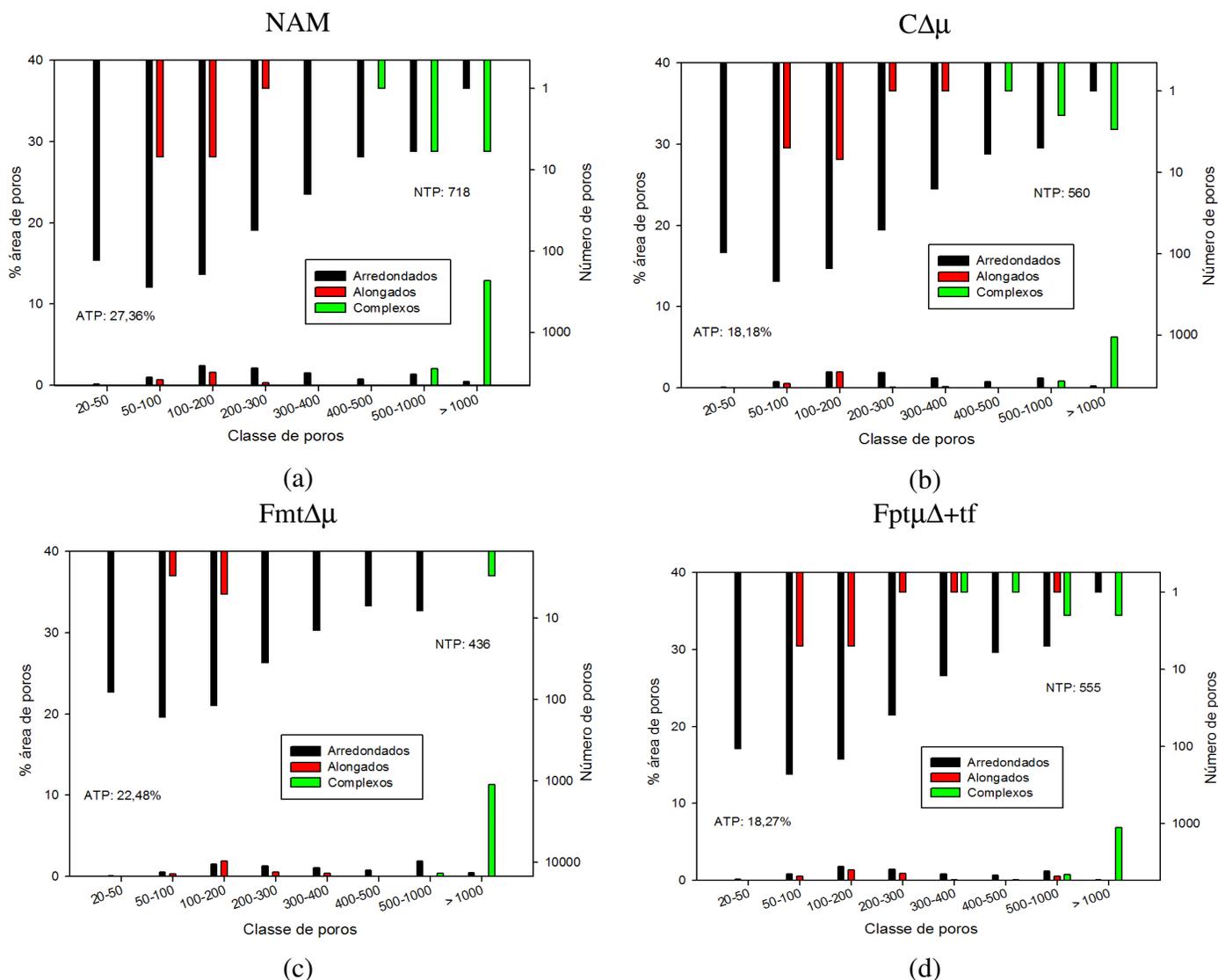


Figura 5.2.24. Distribuição do número de poróides e área em classe de diâmetro de poróides das UMH's do perfil de solo da Parcela Memória. NTP = número total de poros e ATP= área total de poros.

Em relação a proporção de poróides variando de 30 a 500  $\mu\text{m}$ , que são considerados os mais importantes, tanto nas relações solo-água-plantas como para manutenção de uma boa estrutura do solo (PAGLIAI et al., 1983), observa-se uma maior proporção na unidade NAM, em relação as unidades contínuas e fragmentadas.

Destaca-se também que a unidade NAM apresenta pouco poróides complexos e alongados ocupando uma grande área, indicando elevada conectividade entre os poróides, enquanto que as unidades contínuas e fragmentadas apresentam maior quantidade de poróides arredondados

ocupando uma pequena área, indicando nestas unidades uma menor conectividade entre os poróides. A interconectividade dos poróides pode ser considerada como um indício evidente de uma estrutura mais favorável à aeração, à capacidade de retenção de água e à drenagem, melhorando a qualidade do solo para o desenvolvimento da cultura.

No SPD, observa-se também um decréscimo do NTP das unidades contínuas e fragmentadas quando comparada à unidade NAM (Figura 5.2.25).

Na unidade  $C\mu\Delta$  (Figura 5.2.25b), constata-se um incremento de poróides do tipo alongados e complexos em menor área quando comparada a NAM.

Já na unidade  $C\Delta\mu$  (Figura 5.2.25c), observa-se uma redução mais drástica no número de poros complexos e uma predominância de poros arredondados sob esta unidade. Porém, como evidenciado nas descrições micromorfológicas, os poróides alongados dessas duas unidades contínuas sob este sistema de manejo são do tipo canais devido à intensa atividade biológica presente que implica a uma estrutura mais favorável a aeração, a capacidade de retenção de água e a drenagem no solo. LUCARELLI (1997), constatou na mesma área de estudo que os tratamentos plantio direto e roçado, apesar de possuir uma camada compactada, propiciam melhor estruturação do solo, além de elevada taxa de infiltração.

As unidades fragmentadas no perfil cultural sob SPD,  $Fmt\Delta\mu$  e  $Fpt\mu\Delta+tf$  (Figura 5.2.25 d, e), quando comparadas com as unidades contínuas possuem um maior incremento de poróides alongados e uma maior área de poróides complexos refletindo uma melhor conectividade entre eles. Os poróides alongados dessas unidades são do tipo canal, evidenciado pela intensa atividade biológica, como constatado nas observações micromorfológicas.

No SC, observa-se também redução do número total de poróides (NTP) das unidades contínuas e fragmentadas quando comparadas a NAM, sendo esta redução principalmente de poróides do tipo complexo e arredondados (Figura 5.2.26). Sob a unidade  $C\Delta\mu$  (Figura 5.2.26c) essa redução de tipos de poróides complexos e arredondados foi bem pronunciada, fortalecendo as constatações de intensa compactação, pois esta unidade apresenta uma baixa porosidade total oriunda da formação "pé-de-grade", como observada pela análise da imagem.

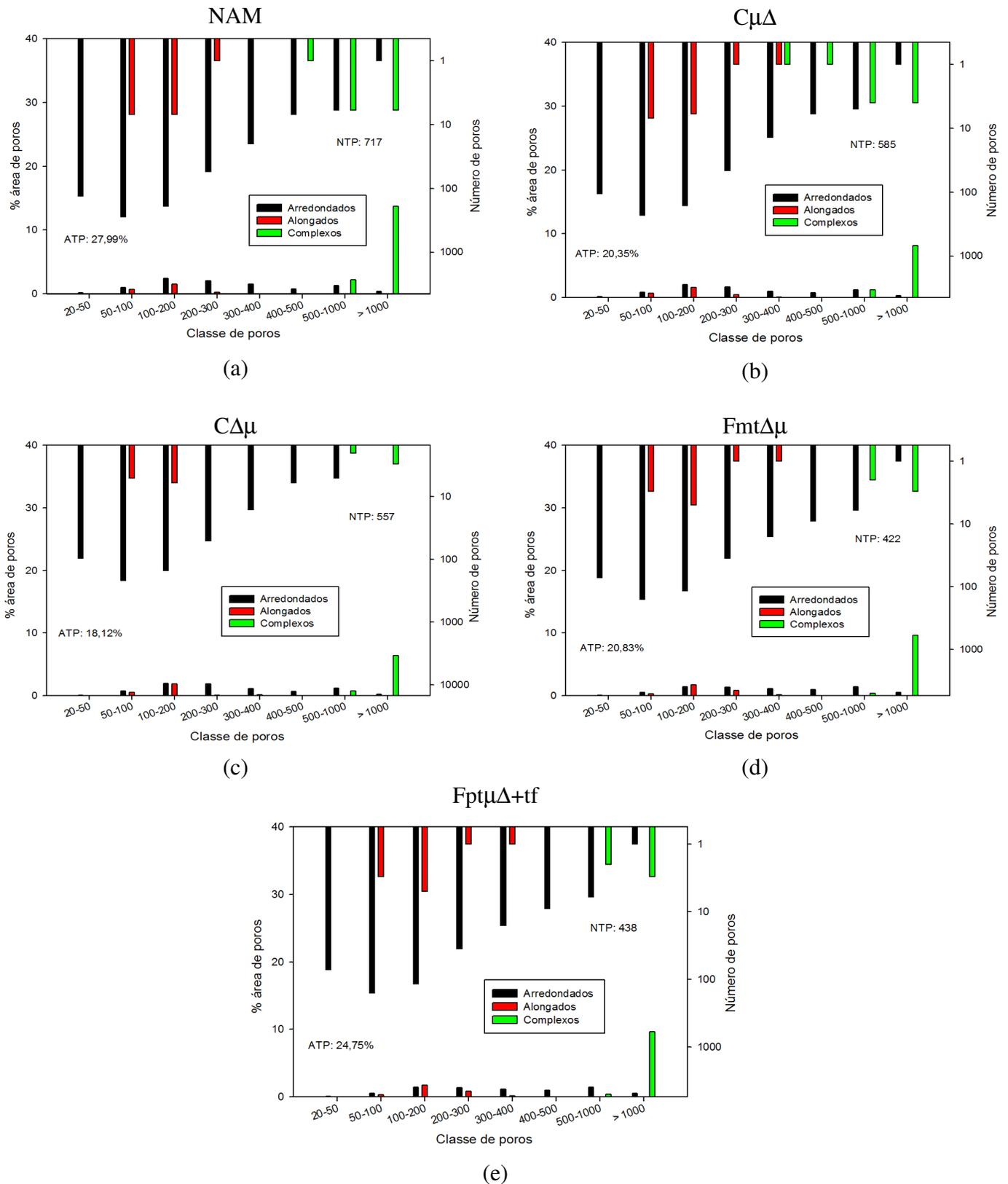


Figura 5.2.25. Distribuição do número de poroides e área em classe de diâmetro de poroides das UMH's no perfil cultural sob SPD. NTP = número total de poros e ATP= área total de poros.

CURMI et al. (1994), estudando a degradação da estrutura em Oxissolos submetidos a cultivo, mostraram que os poros intra-agregados (dentro dos agregados) não são afetados pelo processo de compactação, os inter-agregados (entre os agregados) tem seu tamanho e formado reduzido e os poros provenientes da atividade biológica, tipo canais, desaparecem quando submetidos a processos de compactação. Resultados semelhantes foram obtidos por PAGLIAI et al. (1984), que mostram que a redução da porosidade após o transito dos tratores deveu-se a uma progressiva redução no tamanho dos poróides alongados, seguindo a mesma tendência da porosidade total.

Nas unidades  $C\mu\Delta$ ,  $Fpt\Delta\mu$  e  $Fpt\mu\Delta+tf$  (Figura 5.2.26 b, d, e) observam-se um maior número de poróides complexos com menor área quando comparada a unidade  $C\Delta\mu$ , refletindo uma menor conectividade entre os poróides. Destaca-se também que nessas unidades os poróides alongados foram definidos como fissuras nas descrições micromorfológicas, além de que nessas unidades foram constatadas poucas evidências de atividade biológica. Tais observações de menor conectividade entre os poróides e presença de fissuras reforçam a idéia de degradação do solo sob SC, como também fica evidenciado na descrição do perfil cultural e nas observações qualitativas micromorfológicas.

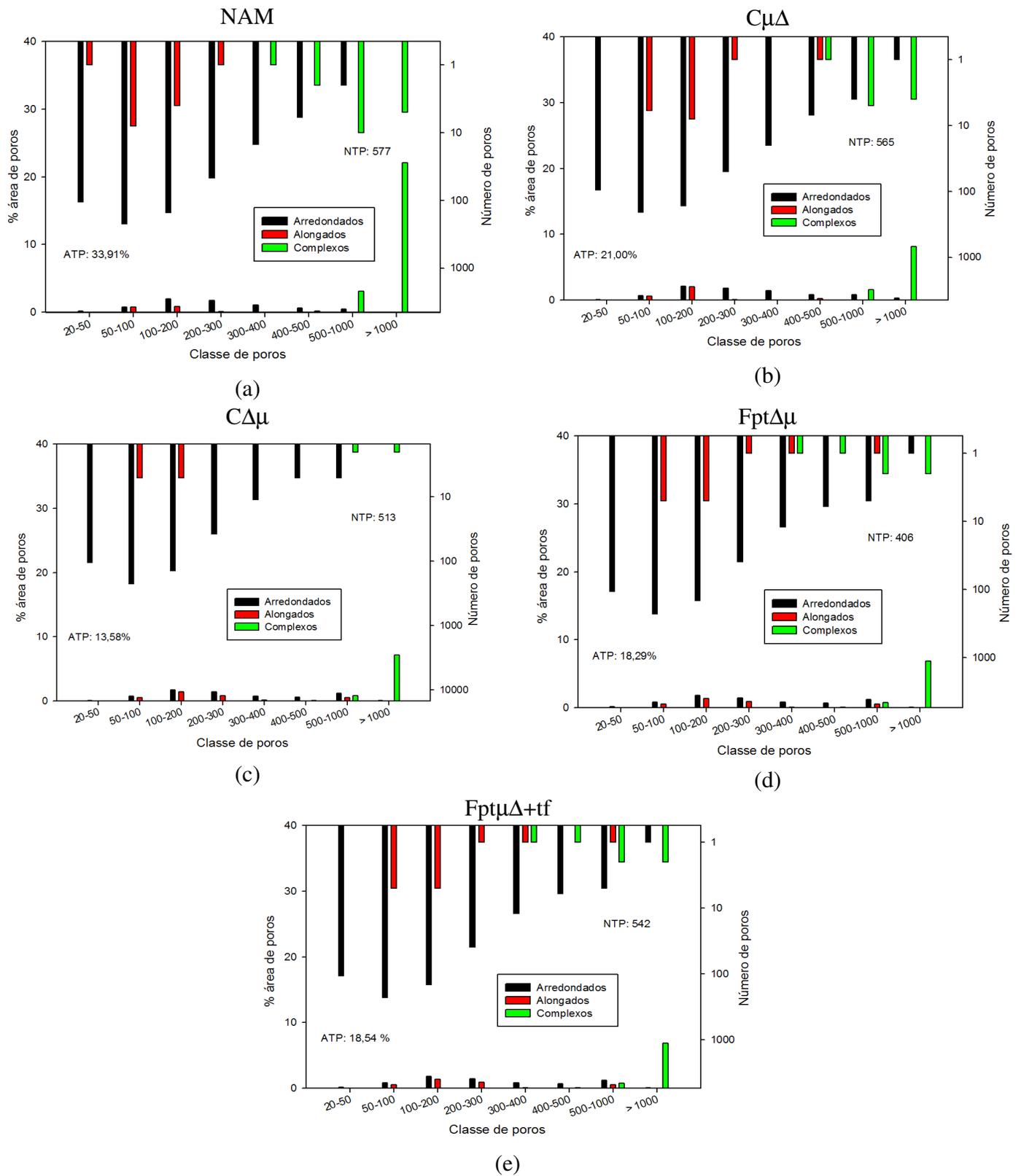


Figura 5.2.26. Distribuição do número de poróides e área em classe de diâmetro de poróides das UMH's no perfil cultural sob SC. NTP = número total de poros e ATP= área total de poros.

De modo geral, em relação ao NTP é clara sua redução nas unidades contínuas sob SC quando comparadas ao SPD e parcela Memória, sendo esta redução principalmente de poróides do tipo complexo e arredondados. Tais observações corroboram com os resultados obtidos por PAGLIAI et al., (1983), que constataram que o número total de poróides foi significativamente maior nas parcelas sob plantio direto.

Nas UMH's contínuas e fragmentadas sob o SPD os poróides alongados são do tipo canal refletindo uma melhor estabilidade estrutural quando comparados com as mesmas unidades sob SC, que possuem poróides alongados do tipo fissural. Esta tendência foi observada por Russell (1978) em parcelas sob plantio direto, onde uma maior área relativa e número de poróides alongados <math><500\mu\text{m}</math> condicionaram maior armazenamento e melhor transmissão de água no solo e favoreceram o crescimento de raízes comparativamente ao solo sob sistema convencional.

#### **5.2.1.4. CONCLUSÃO**

As UMH's sob SC mostraram uma matriz com distribuição relativa mais compacta, com coalescência de agregados e microestrutura em blocos subangulares e as sob SPD mais porosa, com microestrutura granular.

As análises de imagens mostraram-se sensíveis à detecção de mudanças na morfologia dos tipos de poros das UMH's sob cada sistema de manejo, sendo observados predominantemente poros do tipo empilhamento composto e cavidades arredondadas nas unidades fragmentadas sob SPD e Parcela Memória, caracterizando grande atividade biológica e de raízes.

As análises micromorfológicas qualitativas e quantitativas das UMH's sob cada sistema de manejo se aplicam na avaliação do efeito do manejo agrícola na qualidade estrutural do solo e trazem informações adicionais relevantes para diferenciação entre os sistemas de manejo, demonstrando resultados mais favoráveis sob SPD.

### 5.2.1.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIO, F. C.; DORFMAN, R.. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. São Paulo: Nobel, 1986. 333 p.

BARBERI, M.; SALGADO-LABOURIAU, M.L.; SUGUIO, K.. Paleovegetation and paleoclimate of "Vereda de Águas Emendadas", central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.13, p.241-254, 2000.

BASSINI, F.; BECKER, P.. Charcoal's occurrence in soil depends on topography in terra firme forest near Manaus, Brazil. **Biotropica**, v.22, p.420-422, 1990.

BREWER, R.. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York: John Wiley, 1976. 482p.

BRUAND, A et al.. Backscattered electron scanning images of soil porosity for analysing soil compaction around roots. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.60, p.895-901, 1996.

BULLOCK, P. et al.. **Handbook for soil thin section description**. Albrington: Waine Reserch,1985. 152p.

CASTRO, O.M.. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1995. 174 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

CASTRO, S.S. de et al.. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.107-164.

COOPER, M. e VIDAL-TORRADO, P.. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, n.4, p. 581-595, 2005.

COOPER, M.. **Influência das condições físico-hídricas nas transformações estruturais entre horizonte B latossólico e B textural sobre diabásio**. 1999. 132f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P.; GRIMALDI, M.. Soil structure transformations from ferralic to nitic horizons on a toposequence in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.5, p. 1685-1699, 2010.

CURMI, P.; KERTTZMAN, F.F.,QUEIROZ NETO, J.P. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: RINGROSE-VOASE A.J.,HUMPHERYS G.S., eds. Soil micromorphology: studies in management and genesis. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING ON SOIL MICROMORPHOLOGY, 9, Townsville, 1994. Proceedings. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.596-579. (Developments in Soil Science, 22).

DREES, L.R. et al.. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, p.508-517, 1994.

FERREIRA, M.M., FERNANDES, B., CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.515-524,1999.

HALLAIRE,V.; COINTEPAS,J.P.. Caractérisation de la macroporosité d’ un sol de verger par analyse d’ image. **Agronomie**, Paris, v.13, p.155-164,1993.

IBRAIMO, M. M. et al.. Gênese e micromorfologia de solos sob vegetação xeromórfica (caatinga) na região dos lagos (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.4, p.695-712, 2004.

JONGERIUS, A.; SCHOONDERBEEK, D.; JAGER, A.. The application of the quantimet 720 in soil micromorphometry. **The Microscope**, Chicago, v.20, p.243-254, 1972.

JUHASZ, C., E., P., et al.. Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agrícola (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, SP, v.64, n.4, p.344-354, 2007.

LUCARELLI, J.R. de F.. **Alterações em características de um latossolo roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1997.

MACHADO, J.L. et al.. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.32, n.2, p.495-502, 2008.

MARQUES, S. R.; WEILL, M. A. M.; SILVA, L. F. S.. Qualidade física de um Latossolo Vermelho, perdas por erosão e desenvolvimento do milho em dois sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v.34, n.4, p. 967-974, 2010.

MORAN, C.J. et al.. Comparison of the macropore structure of a sandy loam surface soil horizon subjected to two tillage treatments. **Soil and Use Management**, Wallingford, v.4, n.3, p.96-102, 1988.

MURPHY C.P.; BULLOCK, P.; TURNER R.H.. The measurement and characterization of voids in soil thin sections by image analysis: Part I. Principles and techniques. **Journal of Soil Science**, v.28, p. 498–508, 1977.

OLIVEIRA, C. V. et al.. Atributos micromorfológicos de solo do projeto Jaíba, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.1, p.117-128, 2000.

OLIVEIRA, L. B; FONTES, M. P. F; RIBEIRO, M. R; KER, J. C.. Micromorfologia e gênese de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n.6, p.2407-2423, 2008.

PAGLIAI, M., LA MARCA, M., LUCAMANTE, G., GENOVESE, L.. Effects of zero and conventional tillage on the length and irregularity of elongated pores in a clay loam soil under viticulture. **Soil and Tillage Research**, v.4, p. 433-444, 1984.

PAGLIAI, M.. Effects of different management practices on soil structure and surface crusting. Micromorphologie des sols - soil micromorphology. In: INTERNATIONAL WORKING MEETING IN SOIL MICROMORPHOLOGY. **Proceedings...** Plaisir: Association Française pour L'Étude du Sol, 1987b. p.415-421.

PAGLIAI, M.. Micromorphometric and micromorphological investigations on the effect of compaction by pressures and deformations resulting from tillage and wheel traffic. In: MONNIER, G., GOSS, M.J. (Ed.). **Soil compaction and regeneration**. Rotterdam: A.A. Balkema, 1987a. p.31-38.

PAGLIAI, M.. Soil porosity aspects. **International Agrophysics**, Lublin, v.4, p.215-232, 1988.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G.. Micromorphometric and micromorphological investigations of a clay loam soil in viticulture under zero and conventional tillage. **Journal of Soil Science**, v.34, p.391-403, 1983.

PAWLUK, S.. Micromorphological investigations of cultivated gray Luvisols under different management practices. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, Canada, v.60, p.731-745, 1980.

REYNOLDS, W.D.; ELRICK, D.E.. In situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity, and the  $\alpha$ -parameters using the Guelph permeameter. **Soil Science**, Baltimore, v.140, n.4, p.292-302, 1985.

RINGROSE-VOASE, A.J.; NYS, C.. One-dimensional image analysis of soil structure. 11. Interpretation of parameters with respect to four forest soil profiles. **The Journal of Soil Science**, Oxford, v.41, n.3, p.513-527, 1990.

SCHAEFER, C.E.R. et al.. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.25, p.765-769, 2001.

SHIPITALO, M.J.; PROTZ, R.. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, Canada, v.67, p.445-456, 1987.

SILVA, J.N. et al.. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em latossolos amarelos coesos do estado de alagoas: propriedades micromorfológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, n.3, p. 515-525, 1998.

SOARES, J.L.N.; ESPINDOLA, C.R.; FOLONI, L.L.. Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v.35, p.353-359, 2005.

SOUZA, E. D. et al.. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.34, n.1, p. 79-88, 2010.

SOUZA, Z.M. et al.. Micromorfologia do solo e sua relação com atributos físicos e hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.487-492, mar. 2006.

STOOPS, G.J.; JONGERIUS. A.. Proposal for a micromorfológica classification of soil materials I. a classification of related distribution of coarse and fine particles, **Geoderma**, Amsterdam, v.13, p.189-200, 1975.

### **5.3. Avaliação e quantificação da variação de umidade de um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (*Rhodic Hapludox*) cultivado sob dois sistemas de manejo agrícola**

#### **RESUMO**

A umidade atual do solo muito influencia sua qualidade para desenvolvimento das culturas. O monitoramento em condições de campo é dificultado pela dinâmica das relações planta-solo-clima, necessitando-se de medidas frequentes em vários locais. Nesse contexto, foram avaliados o desempenho de blocos de gesso e tensiômetros digitais no monitoramento do potencial mátrico do solo, para estimativa da umidade no decorrer do ciclo da cultura de milho, cultivada sob dois sistemas de manejo agrícola. Para fins de validação, foram feitas determinações da umidade pelo método da estufa, adotado como referência. Os principais resultados evidenciam menor sensibilidade dos blocos de gesso em condições de solo úmido, próximo à capacidade de campo. Nessas condições, os valores de umidade estimados a partir das medidas do tensiômetro mostraram alta correlação com os valores de umidade determinados pelo método da estufa, mas o equipamento não funcionou em condições de solo mais seco ou quando o potencial matricial do solo esteve acima de 75kPa. O manejo agrícola pelo Sistema Plantio Direto conservou a umidade atual do solo em níveis mais elevados comparativamente ao sistema convencional. Nos dois sistemas, no entanto, a cultura não sofreu restrição ao desenvolvimento, uma vez que dada a ocorrência de chuvas regulares durante o ciclo fenológico, a umidade atual do solo sempre esteve dentro ou apenas ligeiramente acima da faixa de umidade ótima previamente definida pelo intervalo hídrico ótimo.

**PALAVRAS-CHAVE:** bloco de gesso, tensiômetros, retenção de água no solo, Sistema Plantio Direto, sistema convencional, produtividade do milho.

### 5.3.1. INTRODUÇÃO

A quantidade de água presente nos solos é uma medida importante para os principais estudos de processos físicos, químicos e biológicos que neles ocorrem. Segundo LETEY (1985), a água assume papel fundamental no desenvolvimento das plantas, pois está diretamente e/ou indiretamente associada a várias propriedades físicas do solo.

CARY e FISHER (1983) relatam que o conhecimento do potencial matricial ou da tensão da água no solo proporciona um meio de indicar quando irrigar e quanto de água aplicar ao solo. Para isso, deve-se dispor da curva característica de umidade do solo, que relaciona uma dada tensão com o respectivo conteúdo volumétrico de água retido, permitindo inferir acerca da disponibilidade hídrica para as plantas durante o ciclo da cultura.

Dentre os métodos para a determinação da umidade do solo, o método da estufa é classificado como sendo um método gravimétrico direto, comumente empregado como referência, por apresentar como principal vantagem a obtenção de resultados precisos a um custo relativamente baixo. O método, porém, é destrutivo, não pontual, e demorado, o que justifica avaliar a precisão e confiabilidade de métodos indiretos de estimativa da umidade por meio de sensores.

Os métodos indiretos estimam a umidade a partir de outras propriedades do solo que não o conteúdo de água em si, por meio de diferentes sistemas, incluindo termalização de nêutrons, resistência elétrica e técnicas de indução eletromagnética. No caso da sonda de nêutrons, o custo elevado e a exigência de treinamento especial para manuseio, principalmente pela presença de fontes radioativas, são as principais limitações. Quanto aos métodos por indução eletromagnética, a precisão das estimativas, a possibilidade de multiplicação de leituras e repetição sem destruição da amostra de solo e a segurança figuram entre as principais vantagens (TOPP et al., 1980; COELHO e OR, 1996). Mas, também neste caso, a principal desvantagem se associa ao custo ainda alto.

Por outro lado, sensores de resistência elétrica consistem de material de matriz porosa, que entra em equilíbrio com o solo circundante e nos quais a resistência elétrica à passagem de uma corrente varia primariamente com o conteúdo de água. O equilíbrio entre o sensor e o solo, no entanto, é um potencial mátrico e não o conteúdo de água ou a umidade em si (SCANLON et al., 2002). No caso dos blocos de gesso, a faixa indicada de trabalho do sensor varia entre os potenciais mátricos de -60kPa e -600 kPa, identificando menor sensibilidade em condições de solo úmido.

Ainda que considerando uma faixa de trabalho mais ampla, entre -30 kPa e -1000 kPa, conforme BOURGET et al. (1958), na condição de umidade próxima à capacidade de campo, comumente definida como sendo a umidade retida a -10kPa ou a -33kPa, o funcionamento do sensor pode ser deficiente. Já os tensiômetros operam eficientemente no solo úmido, mas apresentam limitações com o secamento do solo. A despeito dessas limitações, alguns autores, como KLEIN et al. (2004), concordam que a utilização de sensores de resistência elétrica pode ser uma alternativa prática e econômica para determinação do potencial matricial da água no solo e estimativa indireta da umidade atual. Vantagens do método incluem o baixo custo, o fato dos sensores não necessitarem de manutenção freqüente e de permitirem automação, possibilitando a multiplicação de leituras com maior freqüência (ELDREDGE et al, 1996; THOMSON et al., 1996; SHOCK et al., 1998).

Dentre as desvantagens, alguns autores destacam que os sensores de resistência elétrica necessitam de uma rígida calibração e que mesmo assim não apresentam a precisão exigida em trabalhos de pesquisa. No entanto, podem se constituir uma alternativa interessante no manejo de irrigação, pois muitas vezes a variabilidade espacial do solo e da umidade é maior do que o erro que o sensor apresenta (KLEIN et al.,2004).

Assim, o objetivo do trabalho foi o de avaliar o desempenho de blocos de gesso e de tensiômetros digitais no monitoramento do potencial mátrico do solo, para estimativa da umidade atual no decorrer do ciclo da cultura de milho durante duas safras e cultivada sob dois sistemas de manejo agrícola.

### **5.3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **5.3.2.1. Calibração dos blocos de gesso**

A calibração foi conduzida no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, em Campinas, SP. Foram empregados umidímetros de bloco de gesso da marca holandesa EIJKELKAMP, que são constituídos, em seu interior, por um par de eletrodos entre os quais é medida a resistência elétrica à passagem de uma corrente. De acordo com o fabricante, o sensor possui escala de 0 a 100% (em volume) de umidade, com sensibilidade de 1% e precisão de 5%.

A calibração dos umídímetros de bloco de gesso foi efetuada segundo metodologia descrita em SCANLON et al. (2002), pela qual os blocos de gesso devem ser saturados e submetidos a pressões crescente em extratores de umidade, sendo que em cada pressão devem ser tomadas a medida do medidor do bloco de gesso e a umidade para posterior correlação com a respectiva pressão e ajuste da curva de calibração. Assim, um conjunto de 36 blocos de gesso foi submetido a tensões crescentes de 2 kPa, 4 kPa, 6 kPa, 10 kPa, 33 kPa, 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa (parte úmida da curva de retenção de água no solo), 300 kPa e 1500 kPa (parte seca da curva de retenção de água no solo),

Primeiramente, os blocos de gesso foram saturados e secos em estufa por três vezes, com intervalo de 24 horas entre um processo e outro (Figura 5.3.1a). Posteriormente, cada bloco de gesso foi envolvido por uma camada espessa de lama feita com o solo sob avaliação (Figura 5.3.1b) para garantir o bom contacto com o solo. O bloco de gesso foi então introduzido em um cilindro do tipo Koepeck (Figura 5.3.1c) e o volume completado com terra fina seca ao ar do LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (teor de argila médio de  $610 \text{ g kg}^{-1}$ ). Após a confecção, os cilindros com estrutura deformada foram saturados com água em bandeja até 2/3 da altura do anel por 24 horas (Figura 5.3.1d). Na saturação (potencial matricial nulo), deu-se início à calibração, tomando-se as medidas com uso do medidor dos blocos de gesso e o peso da amostra na saturação. (Figura 5.3.1f).

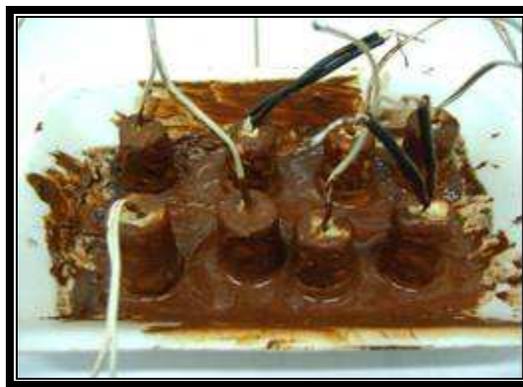
Os cilindros com os blocos de gesso foram então levados para as câmaras de Richards (Figura 5.3.1e) e submetidos à primeira pressão (2 KPa) para extração de água, conforme metodologia descrita em KLUTE (1989). No equilíbrio, os cilindros foram retirados das câmaras de Richards e passados para dessecador. Então, cada cilindro foi sendo pesado e em seguida tomada a medida com o medidor dos blocos de gesso. Após as determinações, os anéis volumétricos voltavam para as câmaras de Richards, aplicando-se a pressão seguinte, no caso de 4 kPa. Tais procedimentos foram realizados sucessivamente para todas as pressões anteriormente citadas, sendo que no equilíbrio tomava-se a medida com o medidor dos blocos de gesso e pesava-se os cilindros. Após a aplicação da última tensão e obtidas as medidas, os anéis volumétricos foram levados para estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  por 24h para obtenção do peso seco em estufa. Ao final, com os valores do solo seco em estufa, calcularam-se a densidade do solo em cada anel pela razão entre a massa de solo seco em estufa pelo volume do anel. A partir dos valores de densidade do solo foram calculados os valores de umidade volumétrica retida no solo após cada pressão aplicada.

A partir dos resultados da calibração, foram ajustadas duas curvas entre as medidas do medidor dos blocos de gesso e os respectivos valores dos potenciais matriciais (em kPa). No primeiro ajuste foram consideradas apenas as medidas no intervalo de 0 a 100 kPa, na faixa de maior umidade do solo e no segundo ajuste todo o intervalo do potencial mátrico entre 0 e 1500 kPa foi considerado. Foram obtidos os valores do coeficiente de determinação para cada um desses ajustes.

A variabilidade dos dados obtidos na calibração, expressa pelo coeficiente de variação (CV%), foi verificada de acordo com os critérios de COSTA et al. (2008), que indicam como sendo de baixa variabilidade coeficiente de variação inferior a 4,04%, de média variabilidade coeficiente de variação superior a 4,04% e inferior a 17,5%, de alta variabilidade coeficiente de variação superior a 17,5% e inferior a 24,22% e de muito alto superior a 24,22%.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.3.1. Detalhes da etapa de calibração dos blocos de gesso em laboratório: (a) saturação dos blocos; (b) blocos envoltos por camada de lama do LVdf; (c) montagem dos cilindros com os blocos no interior; (d) saturação dos cilindros montados; (e) cilindros na placa cerâmica do estrator de umidade; (f) Medidor digital dos blocos de gesso.

### 5.3.2.2. Monitoramento da umidade atual nas parcelas experimentais

Para monitoramento da umidade atual do solo, os sensores (blocos de gesso e tensiômetros) foram instalados a 0,075 m de profundidade, em três posições na linha de semeadura, próximas às raízes da planta de milho, sendo monitoradas três linhas de semeadura em duas parcelas experimentais, totalizando dezoito pontos, nove em cada parcela. O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, situado no município de Campinas (SP), em área de ensaio de longa duração, sendo uma parcela manejada sob Sistema Convencional com grade aradora (SC) no preparo primário e a outra sob Sistema Plantio Direto (SPD). Cada parcela experimental possui área total de 600m<sup>2</sup>, sendo 30 m de comprimento por 20m de largura, e declividade de 0,9m m<sup>-1</sup>. A Figura 8.2 ilustra a localização dos pontos de instalação dos sensores de umidade do solo.

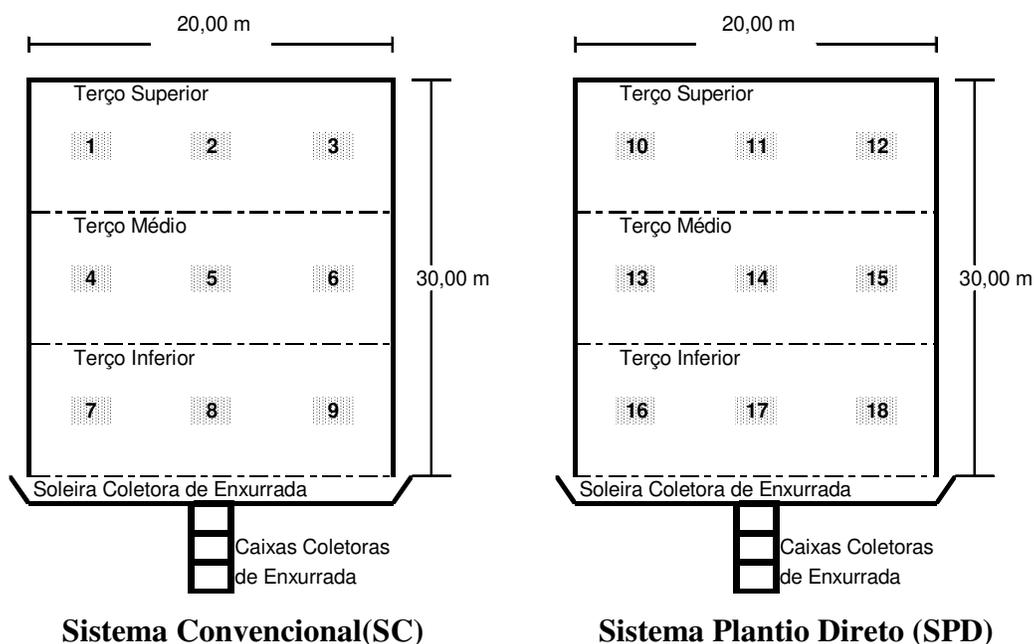


Figura 5.3.2. Esquema de localização dos sensores de umidade na parcela experimental.

O monitoramento da umidade do solo foi realizado durante as safras de verão de 2008/09 e de 2009/10, respectivamente nos períodos entre 6 de janeiro e 21 de abril e de 26 de dezembro a 4 de Março. A cada dois dias, durante 120 dias, tomaram-se medidas do potencial matricial do solo

com uso do tensímetro digital para uso nos tensiômetros com rolha de silicone, e medidas dos blocos de gesso. Simultaneamente, extraíram-se amostras de solo para determinação da umidade por gravimetria.

Com os valores do medidor do bloco de gesso, a partir da curva de calibração ajustada para a parte úmida da curva de retenção (0-100 kPa), determinaram-se os valores correspondentes de potencial matricial. Com base nos potenciais matriciais indicados pelos sensores (tensiômetros e blocos de gesso), os valores de umidade volumétrica tomando por base as curvas de retenção de água no solo para cada sistema de manejo, obtidas experimentalmente pelo método descrito por KLUTE (1986) e ajustadas pelo modelo de van GENUCTHEN (1980).

A avaliação de desempenho dos sensores foi realizada comparando com determinações da umidade atual pelo método da estufa, adotado como referência. Para fins de monitoramento e interpretação da variação da umidade no solo em termos do atendimento às necessidades hídricas da cultura, adotou-se a faixa de umidade ótima definida pelo Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) previamente determinado para o mesmo LATOSSOLO (SILVA, 2007). Por esse critério, o limite superior da faixa ótima de umidade foi estabelecido como sendo de  $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e o limite inferior foi estabelecido como sendo de  $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Dada a qualidade estrutural do solo definida pelo IHO, acima do limite superior, a planta pode sofrer restrições ao crescimento por excesso de água e deficiência de oxigênio; abaixo do limite inferior, podem ocorrer restrições devido ao aumento da resistência do solo à penetração. Os dados do monitoramento permitem estimar o número de dias em que a umidade do solo fica fora da faixa ideal e a cultura submetida a condições limitantes de umidade para seu pleno crescimento e desenvolvimento.

### **5.2.2.3. Avaliação da Cultura**

A avaliação da cultura foi feita por meio de ensaio biométrico e produção. Primeiramente, logo após a emergência foi determinado o estande da cultura, ou número de plantas por área. Quanto à data de floração, foi considerado o número de dias decorridos entre a semeadura e a data em que mais de 50% das plantas das parcelas apresentaram a soltura de pólen da inflorescência masculina. A avaliação biométrica da cultura foi realizada ao final do ciclo de acordo com metodologia descrita em DUARTE e PATERNIANI (2000). Nos ensaios biométricos foram determinados os seguintes atributos para as safras 2008/2009 e 2009/2010:

- altura das plantas: a partir da superfície do solo até a extremidade das inflorescências masculinas foram medidas as alturas de vinte plantas dentro da área útil da parcela em cada tratamento;
- número de espigas por planta: nas plantas colhidas na área útil das parcelas, foi verificado o número de espigas colhidas, dividindo-se por 20 (número de plantas colhidas);
- número de grãos por espiga: em vinte espigas colhidas na área útil, foi contado o número total de grãos, dividindo-se por vinte;
- peso de mil grãos.
- Produção (em kg ha<sup>-1</sup>)

A produção biológica ou rendimento de grãos foi obtida colhendo-se as espigas de todas as plantas da área útil das parcelas (600m<sup>2</sup>), extrapolando-se após o beneficiamento para kg ha<sup>-1</sup>. Os valores obtidos das produtividades foram padronizados para 13% de umidade, conforme a equação abaixo:

$$PF = [PI(100-UI)]/(100-UF)$$

Onde: Pf, Peso Corrigido; Pi, Peso Inicial Dos Grãos Colhidos; Ui, Umidade Inicial Por Ocasão Da Pesagem; Uf, Umidade Final Requerida Para Correção.

Nos Anexo 7, 8, 9 e 10 disponibilizam-se fotos ilustrativas da implantação do ensaio, de diferentes fases de desenvolvimento da cultura, de etapas da colheita e dos ensaios biométricos.

### 5.3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.3.1. Calibração do bloco de gesso

A Tabela 5.3.1 relaciona os resultados da estatística descritiva das leituras efetuadas com o medidor dos blocos de gesso nos diferentes potenciais matriciais. De acordo com os critérios de COSTA et al. (2008), os coeficientes de variação (CV%) indicam que até o potencial de 10 kPa a variabilidade é baixa ( $CV < 4,04\%$ ), de 33 a 100 kPa a variabilidade é considerada alta ( $17,5\% < CV < 24,22\%$ ) e de 300 a 1500 kPa a variabilidade é muito alta ( $> 24,22\%$ ). Esses valores comprovam que a medida que os sensores foram submetidos a potenciais elevados e o solo tornou-se mais seco ocorre uma variação grande entre as medidas dos sensores provavelmente devido a perda do contato entre o sensor e o solo ocasionando erro na leitura do mesmo.

Tabela 5.3.1. Estatística descritiva dos valores médios da leitura do medidor digital de bloco de gesso durante a calibração de blocos de gesso ( média de 29 sensores).

Potencial (kPa)	Média	Desvio- Padrão	CV(%)
0	91,97	0,53	0,6
2	93,57	0,68	0,7
4	92,32	0,81	0,9
6	91,97	1,01	1,1
10	91,45	1,55	1,7
33	47,19	11,31	24,0
50	28,53	6,17	21,6
75	16,49	3,11	18,9
100	10,08	2,42	24,0
300	10,00	3,62	36,2
1500	6,00	2,88	47,9

As Figuras 5.3.3 e 5.3.4 ilustram as curvas de ajuste e respectivas equações de ajuste geradas a partir dos ensaios de calibração dos blocos de gesso ( 29 blocos) nos extratores de Richards, respectivamente para as pressões de 0 a 100 kPa e entre 0 a 1500 kPa.

□

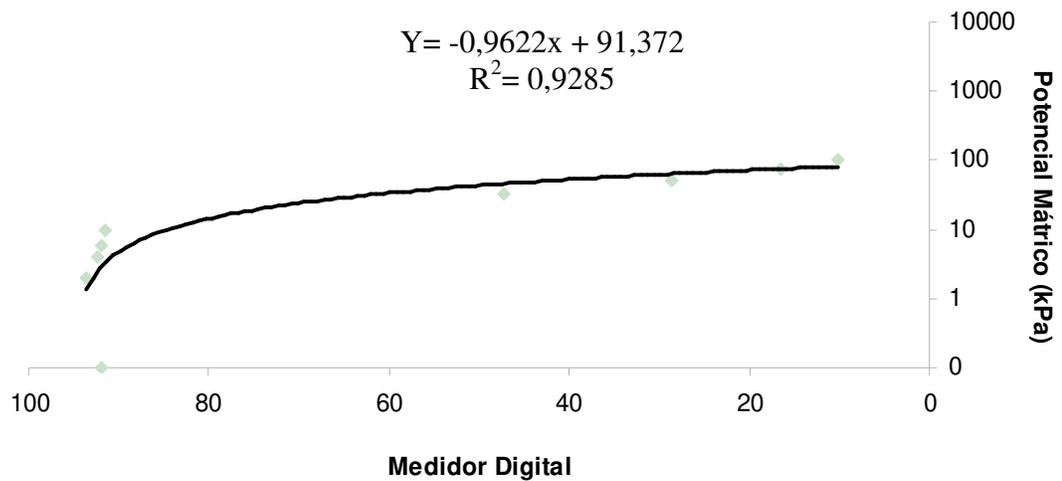
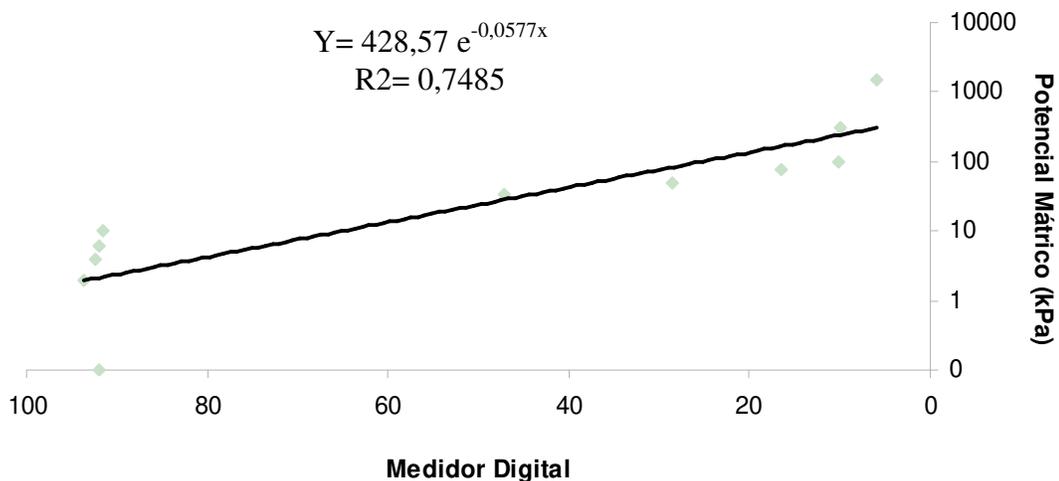


Figura 5.3.3. Curva de calibração e equação de ajuste entre as medidas do medidor dos blocos de gesso e os potenciais matriciais na faixa entre 0 e 100 kPa.

Para a faixa entre 0 e 10 kPa, o elevado coeficiente de determinação ( $R^2=0,93$ ) do ajuste da curva de calibração indica estreita correlação entre as duas medidas, em praticamente toda faixa de variação do potencial matricial, com ligeira dispersão, como esperado, somente próximo à saturação.



□

Figura 5.3.4. Curva de calibração e equação de ajuste entre as medidas do medidor dos blocos de gesso e os potenciais matriciais na faixa entre 0 e 1500 kPa.

Para a faixa entre 0 e 1500 kPa, houve maior dispersão dos dados, implicando em um coeficiente de determinação mais baixo, da ordem de  $R^2=0,75$ , para o ajuste da curva de calibração. Os coeficiente de determinação dos ajustes das curvas de calibração são suficientemente elevados para permitir que a partir da leitura do medidor dos blocos de gesso, lançando-a na equação de calibração, pode-se determinar com alto grau de confiança o potencial matricial da água do solo, que lançado na curva característica de umidade do solo em questão, permitirá a estimativa da umidade atual.

Em virtude da calibração ter sido superior quando considerada a parte úmida da curva de retenção, ela foi usada na determinação do potencial da água do solo para fins de determinação da umidade atual durante o monitoramento da cultura. Tal procedimento não causou qualquer prejuízo, uma vez que a cultura é de verão, época bastante chuvosa durante a qual o solo permanece úmido, com potenciais matriciais muito inferiores a 300 kPa.

#### **5.3.3.2. Monitoramento do conteúdo de água no solo nas parcelas experimentais sob SC e SPD.**

Os dados de precipitação mensal durante o ciclo da cultura do milho para duas safras (2008/2009 e 2009/2010) encontram-se no Anexo 1. Observando-se os registros, pode-se notar uma melhor distribuição das precipitações na safra de 2008/2009, em relação à safra seguinte, 2009-2010, na qual a distribuição foi pouco uniforme das chuvas, com elevados índices em dezembro e janeiro, e baixa pluviosidade em fevereiro. Ainda, a precipitação na safra 2008-2009 foi superior em 140 mm à ocorrida na safra seguinte.

Esse comportamento diferencial da precipitação implica sensivelmente no crescimento e desenvolvimento da cultura, e também na eficiência do monitoramento da umidade atual por meio de sensores, em função da faixa ótima de funcionamento. As Figuras 5.3.5 e 5.3.6 resumizam os resultados do monitoramento da umidade atual do solo para a safra 2008-2009 para os dois sistemas de manejo, respectivamente SC e SPD. Ambas Figuras em (a) ilustram a variação da umidade atual do solo no decorrer do ciclo fenológico do milho estimada por três métodos (gravimetria, resistência elétrica e tensiometria) e posicionadas no gráfico em relação à faixa de umidade ótima definida pelo IHO da classe de solo em questão, ou seja o LVdt. Em (b), em ambas Figuras, são apresentados os gráficos 1:1 entre os valores de umidade atual determinados pelo método da estufa e os valores estimados pelos blocos de gesso. Em (c), em

ambas Figuras, apresentam-se os gráficos 1:1 das medidas determinadas pelo método da estufa e com uso de tensiômetros digitais.

A análise desses resultados evidencia que a umidade atual do solo se manteve na faixa de umidade ótima na maior parte do tempo, excedendo este limite em alguns períodos. Os blocos de gesso permitiram a obtenção de leituras em toda faixa de variação da umidade no decorrer do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, em ambos os sistemas de manejo. Os valores de umidade atual estimados pelos blocos de gesso se aproximam muito daqueles determinados pelo método da estufa (referência) na condição de solo mais seco ou próximo do limite inferior da faixa de umidade ótima, afastando-se mais dos valores de referência na condição de solo úmido. Já os resultados obtidos para os tensiômetros digitais evidenciam que para ambos os sistemas de manejo os valores acompanharam de perto aqueles estimados pelo método da estufa na condição de solo mais úmido, ou próximo do limite superior da faixa de umidade ótima, sendo que em condição de solo mais seco, o sensor não permitiu a obtenção de estimativas.

A observação das Figuras 5.3.5 e 5.3.6 permite verificar também que a umidade atual do solo se manteve mais elevada no decorrer do ciclo fenológico sob Sistema Plantio Direto, indicativo de que esse sistema de manejo permitiu conservação da água no solo nas condições do ensaio.

Sistema Convencional- Safra 2008/2009

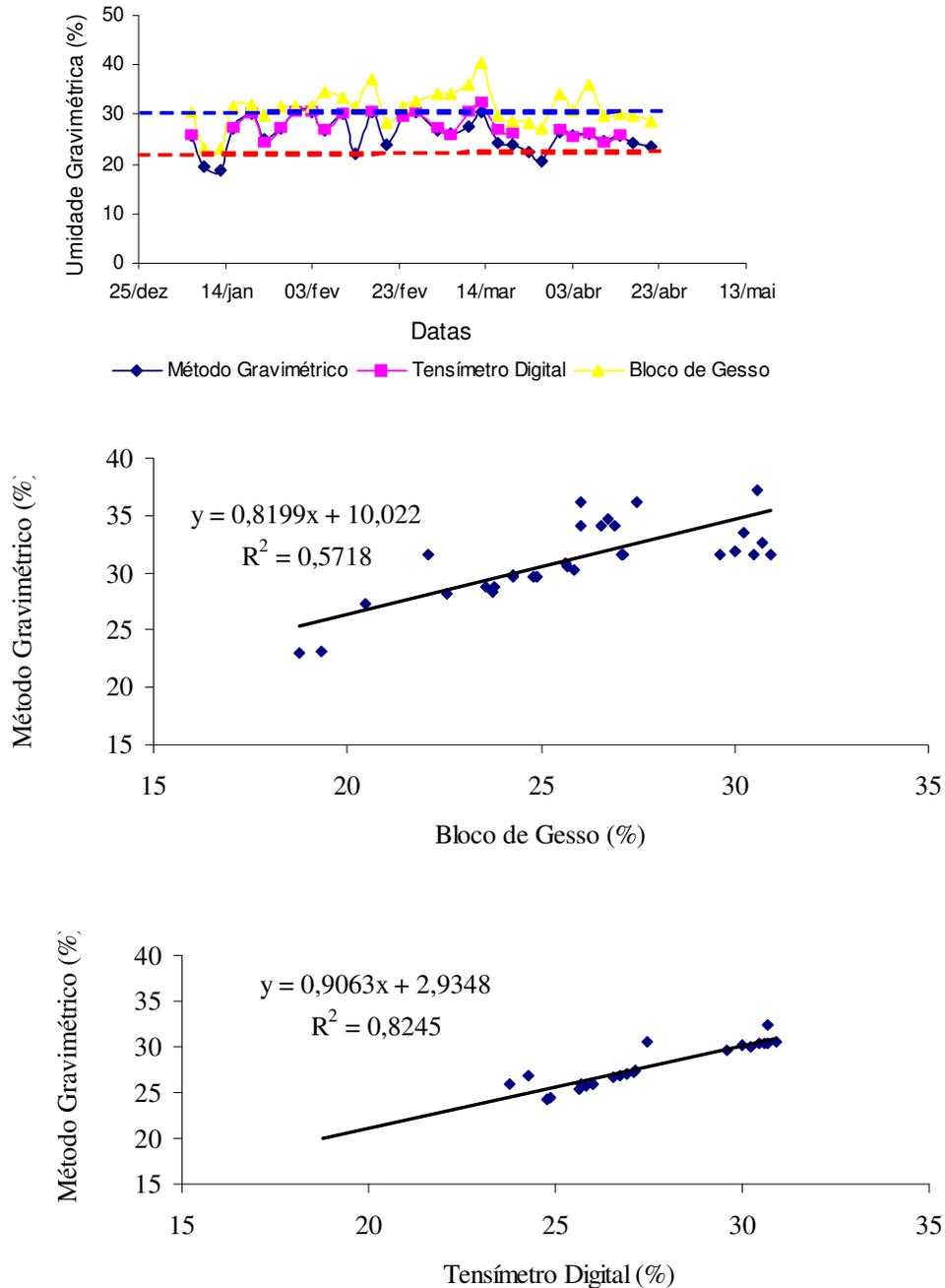


Figura 5.3.5. Sistema Convencional: Em (a) Variação temporal da umidade volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores digitais de umidade: blocos de gesso e tensímetros; (b) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo bloco de gesso; (c) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo tensímetro digital.

Sistema Plantio Direto - Safra 2008/2009

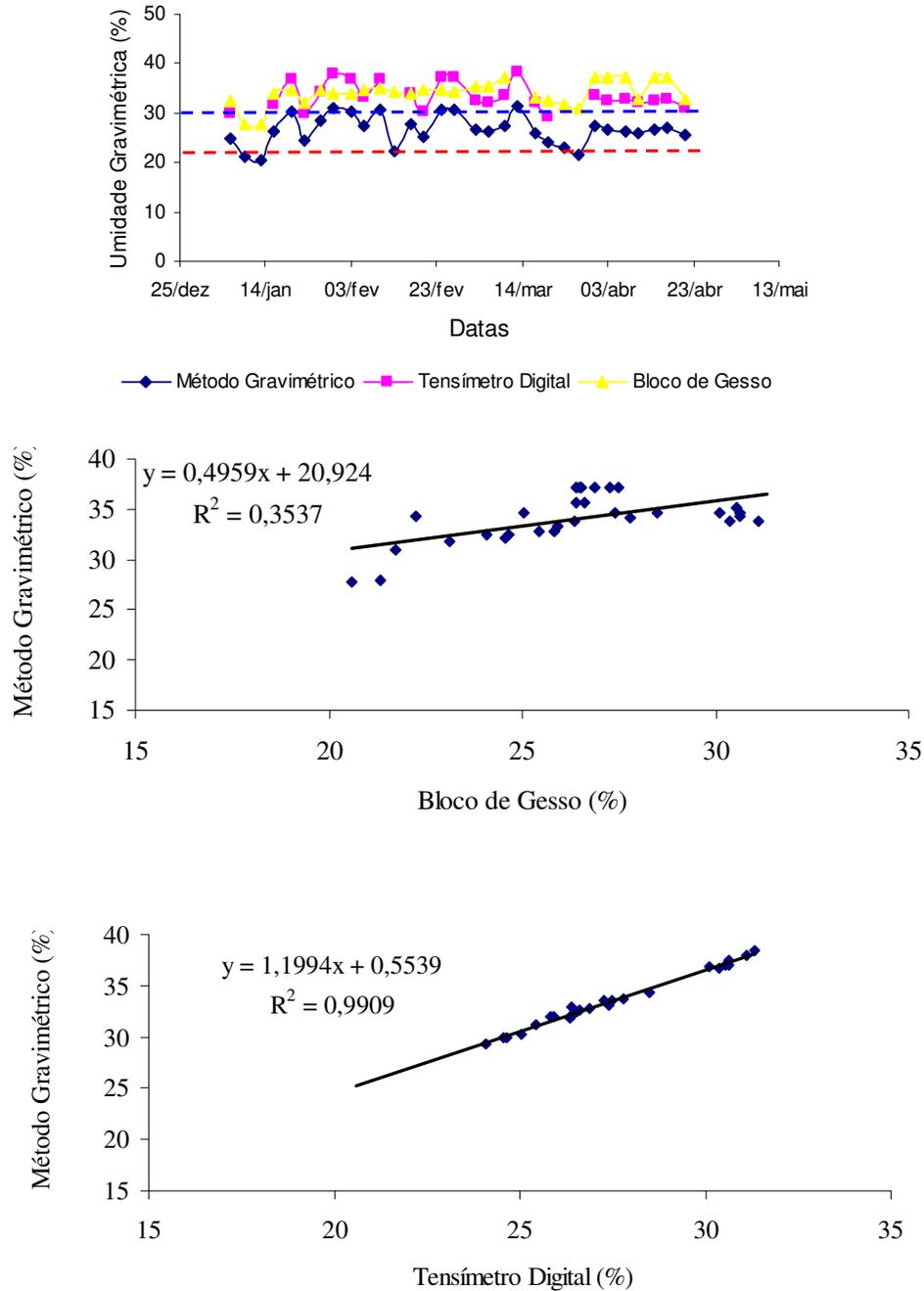


Figura 5.3.6. Sistema Plantio Direto: Em (a) Variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores digitais de umidade: blocos de gesso e tensímetros; (b) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e estimadas pelo bloco de gesso, (c) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital.

Assim, os resultados mostram que os blocos de gesso funcionaram e permitiram estimar o potencial da água do solo em todo o período de monitoramento da cultura. Mas, no caso dos tensímetros, nos dias de em que o potencial matricial foi inferior a 75 kPa, limite de funcionamento do sensor, não foi possível obter as leituras. Assim, no SC não foram realizadas medições em oito dias durante o ciclo da cultura, em que o potencial da água no solo esteve abaixo de 75 kPa. No SPD, o solo se manteve mais úmido, diminuindo o número de dias nos quais houve quebra da coluna, impossibilitando a leitura dos tensiômetros. Tal resultado é importante quando se trata, como no caso do experimento, de agricultura dependente de chuva, isto é, não irrigada. Neste caso, os blocos de gesso são sensores mais eficientes no monitoramento da umidade atual, além de mais baratos. Os tensímetros são muito usados e eficientes no manejo de irrigação, quando o solo é sempre mantido úmido, próximo à capacidade de campo.

Para os dois sistemas de manejo, ao longo do ciclo foram observados valores pontuais de umidade que caracterizaram restrição por excessiva resistência à penetração (RP), ficando a maior parte dos valores de umidade, no entanto, dentro dos limites do IHO. Observa-se de modo geral que o SPD apresentou maior conteúdo de água em relação ao SC praticamente durante todo o ciclo da cultura (Figuras 5.3.5 e 5.3.6), em função da presença nesse sistema de palhada na superfície do solo, que previne as perdas de água por evapotranspiração e melhora as características de retenção de água no solo.

No SC, como o solo permaneceu com menor umidade, a dispersão dos valores estimados pelos blocos de gesso em relação àqueles determinados pelo método de referência no gráfico do tipo 1:1 teve melhor ajuste ( $R^2 = 0,57$ ) em relação à dispersão obtida para o SPD ( $R^2 = 0,35$ ), o que evidencia melhor ajuste em condição de solo mais seco. Entretanto, mesmo a umidade do solo manejado sob SC ser mais baixa quando comparada com a do solo sob SPD, os valores são considerados altos em relação à safra seguinte, motivo pelo qual a eficiência ficou em torno de 60%. Para os valores estimados pelos tensímetros digitais, a correlação foi alta em ambos sistemas de manejo, com coeficientes de correlação para o SC de  $R^2 = 0,82$  e para o SPD de  $R^2 = 0,99$ , evidenciando desse modo a eficiência deste instrumento nas condições de solo mais úmido.

Sistema Convencional- Safra 2009/2010

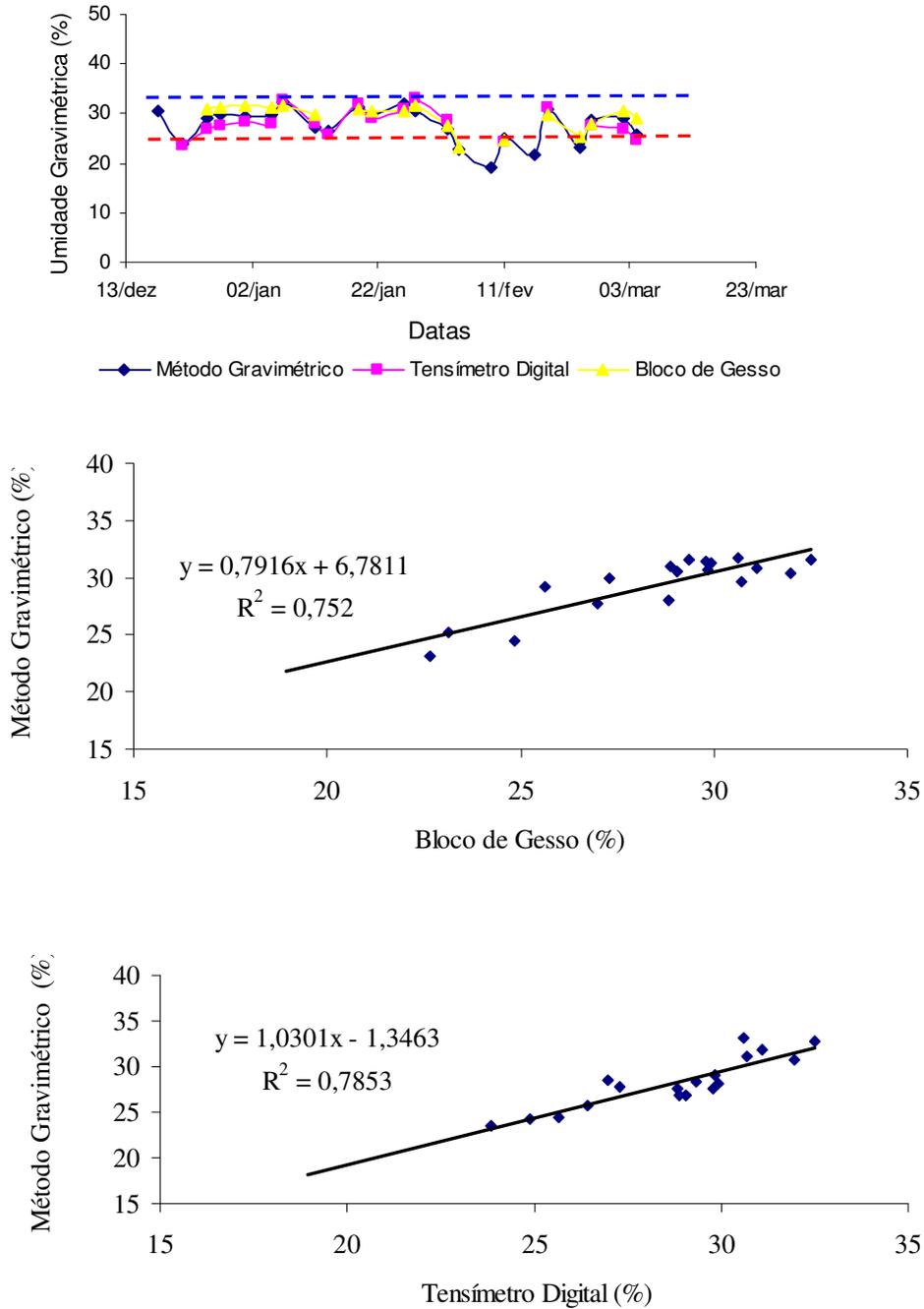


Figura 5.3.7. Sistema Convencional: Em (a) Variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois tipos de sensores de umidade digitais: blocos de gesso e tensímetros digitais; (b) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo bloco de gesso, (c) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital.

Do mesmo modo que para a safra anterior, as Figuras 5.3.7 e 5.3.8 resumiram os resultados do monitoramento da umidade atual do solo para a safra 2009-2010 para os dois sistemas de manejo e três métodos de determinação e estimativa da umidade atual.

Na safra 2009-2010, observa-se a mesma tendência observada para a safra anterior, isto é, para os dois sistemas de manejo na maior parte do tempo, os valores de umidade estimados ficaram dentro dos limites da faixa ótima de umidade definida pelo IHO, mas ocorrendo também alguns valores abaixo do limite mínimo, indicativo da possibilidade de restrição ao desenvolvimento da cultura por limitações relacionadas à elevada RP.

Já os valores de umidade estimados pelos blocos de gesso nesta safra acompanharam mais de perto os resultados determinados pelo método da estufa, para ambos sistemas de manejo. No SC, no gráfico 1:1, a dispersão dos valores estimados pelos blocos de gesso em relação àqueles determinados pelo método da estufa teve ajuste superior ( $R^2 = 0,75$ ) em relação à dispersão obtida para o mesmo sistema de manejo na safra anterior ( $R^2 = 0,60$ ), o que evidencia melhor ajuste em condição de solo mais seco. No SPD, no gráfico 1:1, a correlação entre os dados também foi superior com valor de  $R^2 = 0,49$  para a safra 2009-2010, quando na safra anterior foi de  $R^2 = 0,35$ .

Em relação aos valores de umidade atual estimados pelos tensômetros digitais, a correlação foi alta em ambos sistemas de manejo, porém com coeficientes inferiores aos da safra anterior (2008/2009). Para ambos os sistemas de manejo os coeficientes de correlação foram em torno de  $R^2 = 0,78$ , sendo que na safra anterior o valor foi de  $R^2 = 0,82$ .

### Sistema Plantio Direto - Safra 2009/2010

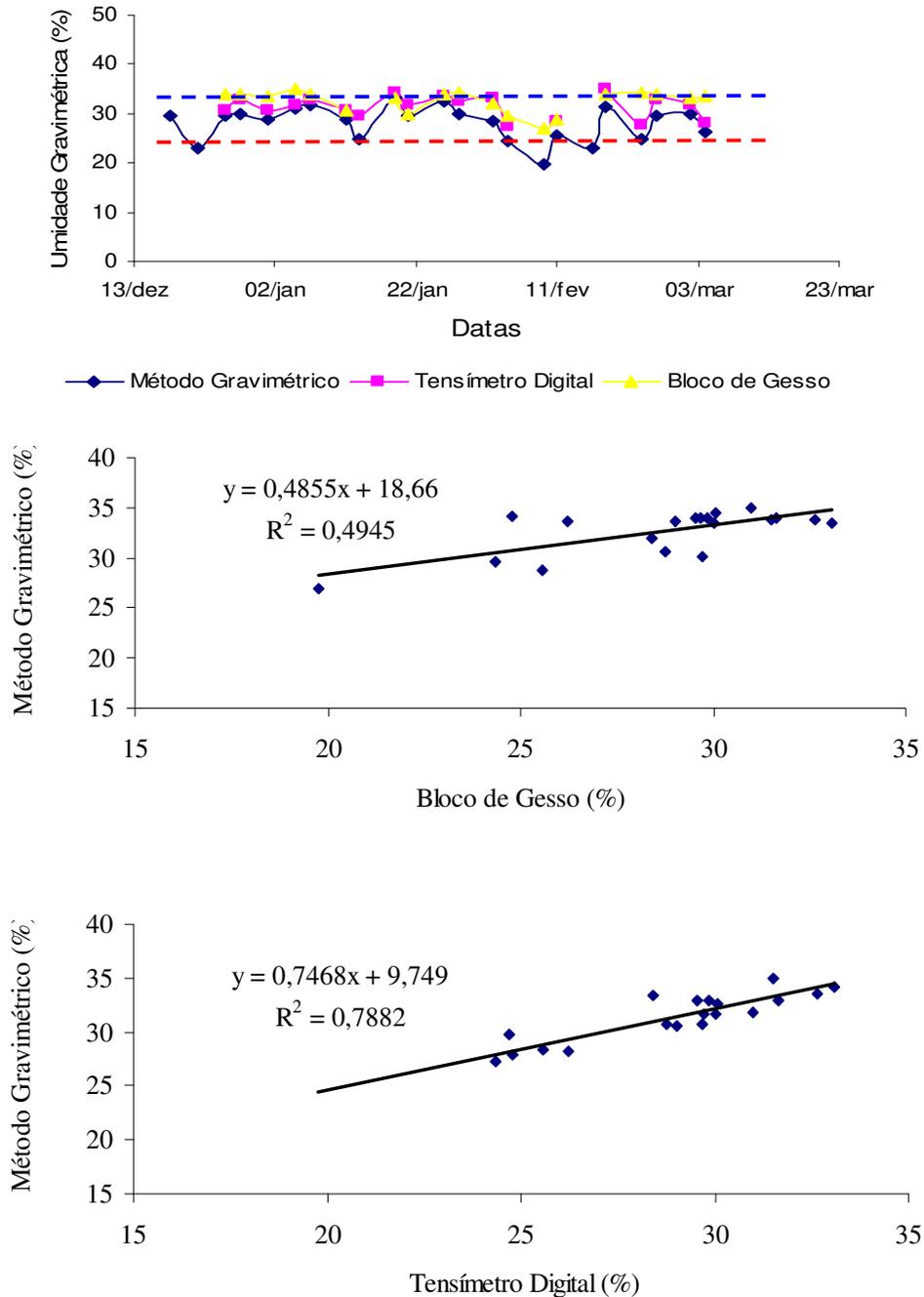


Figura 5.3.8. Sistema Plantio Direto: Em (a) Variação temporal da umidade do solo em base volumétrica (em %) estimada na profundidade de 0,075m durante o ciclo da cultura do milho, empregando o método da estufa (referência) e dois sensores de umidade digitais: blocos de gesso e tensímetros; (b) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método estufa e as estimadas pelo bloco de gesso, (c) Gráfico 1:1 das medidas de umidade volumétrica determinadas pelo método da estufa e as estimadas pelo tensímetro digital.

### 5.3.3.3. Ensaios biométricos e produtividade da cultura do milho

No Tabela 5.3.2 estão relacionados os valores médios dos atributos do ensaio biométrico da cultura do milho sob os diferentes sistemas de manejo para as safras 2008/2009 e 2009/2010.

No que diz respeito às avaliações dos parâmetros biométricos da cultura ( massa de mil grãos, altura de espiga, altura de plantas e índice de espiga), para safra 2008/2009 ocorrem diferenças significativas entre os sistemas de manejo para os quatro atributos avaliados, com valores maiores para as plantas cultivadas sob SPD, em comparação com o SC..

Já para safra 2009/2010, observa-se que a massa de mil grãos e o índice de espiga foram superiores nas plantas cultivadas sob SC. Atribui-se parte desses resultados à aplicação inadequada de herbicida na parcela sob SPD, tendo em vista que ocorreu amarelecimento na maioria das plantas, o que pode ter afetado o desenvolvimento e rendimento das mesmas. No entanto, a altura de planta e a altura de inserção da espigação superiores sob SPD.

Tabela 5.3.2. Valores médios de atributos do Ensaio Biométrico de duas safras da cultura do milho para dois sistemas de manejo agrícola: Sistema Convencional (SC) e Sistema Plantio Direto (SPD)

Parâmetros	Safra 2008/2009		Safra 2009/2010	
	SC	SPD	SC	SPD
Massa de mil grãos (g)	320,8 A	366,9 B	266,77 A	207,35 B
Altura de Espiga (m)	1,25 A	1,39 B	0,96 A	1,01 A
Altura de plantas (m)	2,47 A	2,82 B	2,27 A	2,43 B
Índice de espiga	1,06 A	1,38 B	1,03A	0,88 B

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estaticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os valores de produtividade obtidos nos diferentes sistemas de manejo e safras analisadas apresentaram diferença estatística e encontram-se na Figura 5.3.9. Observa-se para safra de 2008/2009 o SPD demonstrou um melhor desempenho ( $6.860 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) quando

comparado com o SC (5.059 kg.ha<sup>-1</sup>), concordando com os resultados obtidos com os atributos do ensaio biométrico.

Já para safra 2009/2010, os resultados de produtividade (6.365 kg.ha<sup>-1</sup> para o SC e 4.491 kg.ha<sup>-1</sup> para o SPD) demonstram que houve melhor desempenho da cultura de milho submetida ao SC, o que difere dos resultados previstos na literatura. Tais resultados podem estar relacionados com a ocorrência descrita na parcela cultivada sob SPD.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estaticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Figura 5.3.9. Dados de produtividade da cultura do milho sob dois sistemas de manejo agrícola em área de LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico para duas safras.

#### 5.3.4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem recomendar o uso de blocos de gesso no monitoramento da umidade atual do solo em culturas dependentes de chuva ou não irrigadas, uma vez as estimativas da umidade atual pelo sensor possuem boa correlação com as determinações obtidas pelo método de referência, especialmente em condição de solo mais seco, ou abaixo da capacidade de campo.

A faixa de umidade ótima definida pelo IHO se mostrou um critério adequado para interpretar a condição da qualidade estrutural do solo durante o ciclo fenológico da cultura, Por este critério, e com avaliações não destrutivas da umidade atual, é possível conhecer não somente as fases do ciclo em que a cultura fica sob condição restritiva, como também a

natureza da restrição, se por excesso ou escassez de água e seus efeitos decorrentes na estrutura e qualidade do solo. Este critério de avaliação da qualidade do solo se constitui uma ferramenta para o manejo da cultura, por trazer subsídios para tomada de decisão sobre a necessidade ou não de intervenção.

### 5.3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOURGET, S.J., ELRICK D.E., and TANNER C.B. Electrical resistance units for moisture measurements: Their moisture hysteresis, uniformity and sensitivity. *Soil Sci.* 86:298–304, 1958.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise, Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. Instituto Agronômico, Campinas, SP, 1986, 94P. (Boletim Técnico Instituto Agronômico, 106).

CARY J. W.; FISHER H. D. Irrigation Decisions Simplified with Electronics and Soil Water Sensors. *SOIL SCI. SOC. AM. J.*, VOL. 47, 1983.

COELHO, E.F.; OR,D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v.39, p.2007-2016, 1996.

COSTA, F.M.; OLIVEIRA, E.C.G. TAVARES, M. Classificação do coeficiente de variação da umidade do solo em experimentação agrícola. *FAMAT em Revista*, n 10, Abril de 2008.

ELDREDGE, E.P.; et al. Effects of transitory water stress on potato tuber stem-end reducing sugar and fry color. *American Potato Journal*, Orono, v.73, p.517-30. 1996.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K.; SIMON, M.A.; JUNIOR, I.J.B. Avaliação de sensores de resistência elétrica e tensiômetros com transdutores de tensão para determinação do potencial de água do solo. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.3, n.2, p. 80-86, 2004.

KLUTE, A. Methods of Soil Analysis: PHYSICAL AND MINERALOGICAL METHODS. 2 ED. MADISON: ASA,1986. CAP.26 ,p. 635-660: WATER RETENTION: LABORATORY METHODS.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. ADV SOIL SCI., V. 1, P. 227-294, 1985.

SCANLON, B. R.; ANDRASKI, B. J.; BILSKIE, J. Miscellaneous Methods for Measuring Matric or Water Potential. In: DANE, J. H.; TOPP, G. C. (Co-editors) Methods of Soil Analysis. Part 4- Physical Methods. Soil Science Society of América , Inc., Madison, WI, USA, p. 643-670, 2002.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G.; SAUNDERS, L.D. Potato Yield and quality response to deficit irrigation. HortScience, Charlottertoun, v.33, p. 655-59. 1998.

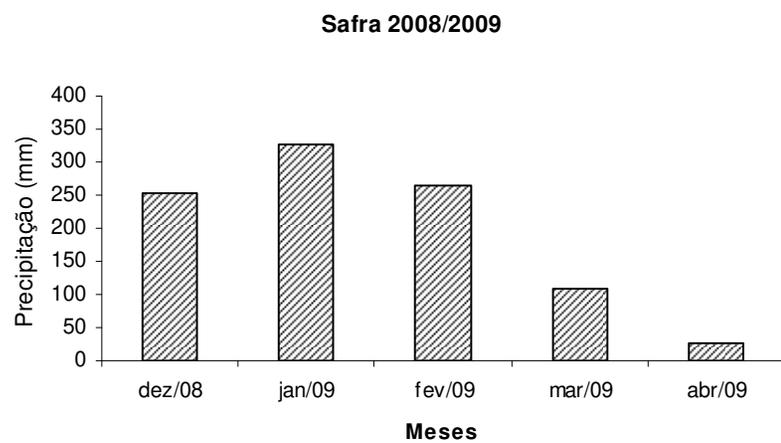
SILVA, L. F. S. da. Aplicação do intervalo hídrico ótimo no monitoramento da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distroférico típico.Intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de pastejo e manejo da pastagem. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

THOMSON, S.J.; YOUNOS, T.; WOOD, K. Evaluation of calibration equations and application methods for the watermarkâgranular matrix sensor soil moisture sensor. Applied Engineering in Agriculture. v.12, p.99-103. 1996.

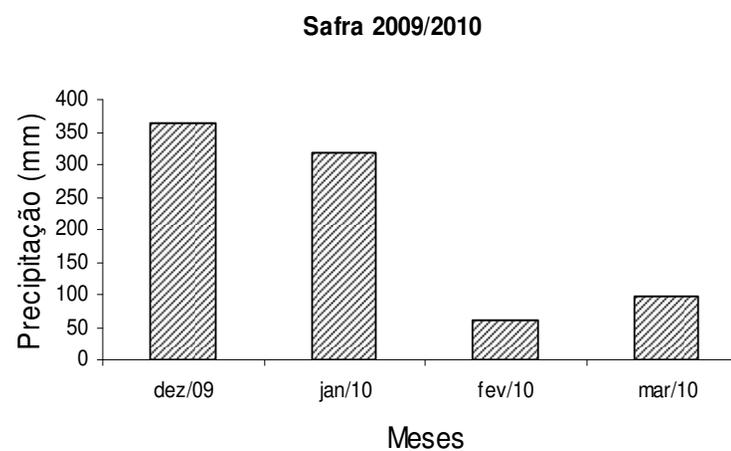
TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resources Research, Washington, v.16, p.574-582, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. TH. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

## ANEXO 1



(a)



(b)

Precipitação pluvial mensal no período entre dezembro de 2008 e março de 2010, correspondente às safras 2008/2009 (a) e 2009/2010 (b).

## ANEXO 2

### Perfil 1245 – Unidade Barão Geraldo (OLIVEIRA et al., 1979)

Classificação: LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico

Rhodic Haplorthox; hipertérmico, muito argiloso, oxidico (USA);  
Rhodic Ferralsol (FAO);  
Solo ferralítico fortemente dessaturado no horizonte B (Fr).

Localização: Folha de Leme. Coordenadas UTM 260-262km E., 7544-7546km N.

Altitude 650metros.

Material de origem: produtos da intemperização de diabásio afetados por retrabalhamento local.

Relevo: suave-ondulado.

Situação e declive: terço superior da encosta, quase topo de colina, 4%.

Vegetação primária: mata tropical subcaducifólia.

Vegetação atual: idem.

1245A<sub>1</sub> 0-35cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmida, 2,5 YR 3/4 seca); argilosa; granular média forte; ligeiramente dura e friável, plástica e pegajosa; transição clara e plana.

1245A<sub>3</sub> 35-68cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmida, 2,5 YR 3/5 seca); argilosa; subangular média fraca; ligeiramente dura e muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

1245B<sub>1</sub> 68-120cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmida, 2,5 YR 3/6 seca); argilosa; subangular média fraca passando para apédica; macia, muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

1245B<sub>2</sub> 120-200cm; bruno-avermelhado-escuro (2,5YR 3/4 úmida, 2,5 YR 3/6 seca); argilosa; subangular média fraca passando para apédica; macia, muito friável, plástica e pegajosa; transição difusa e plana.

Obs.: Raízes finas abundantes na primeira camada, poucas na segunda, raras na terceira e médias abundantes nas três camadas. Diferença de cor entre camadas muito sutil: camada *a*, tanto úmida como seca, 2,5YR 3/4. Carvão ao longo do perfil, mais abundante na segunda e terceira camadas.

**Características físicas e químicas do perfil 1245, representativo da Unidade Barão Geraldo.**

Camada Nº	Horizonte		Densidade Aparente <i>g/cm<sup>3</sup></i>	Densidade Real <i>g/cm<sup>3</sup></i>	Porosidade Total %	Umidade 15 atm %	15 atm x 2,5 %
	Símbolo	Profundidade <i>cm<sup>3</sup></i>					
A	A <sub>1</sub>	0-35	0,94	2,53	63		
B	A <sub>3</sub>	35-68					
C	B <sub>1</sub>	68-120	0,95	2,78	66		
D	B <sub>2</sub>	120-200					
E	tradagem	200+					

Areia Grossa %	Composição Granulométrica			Cascalho %	Argila Natural %	pH		Delta pH
	Areia Fina %	Silte %	Argila %			H <sub>2</sub> O	KCl	
6	23	17	54	0	39	7,3	6,5	-0,80
5	23	8	64	0	42	6,6	6,2	-0,40
6	20	8	66	0	37	5,2	4,6	-0,60
4	22	10	64	0	15	5,0	4,8	-0,20
3	25	8	64	0	0	5,3	5,9	0,60

*PO <sup>-3</sup> <sub>4</sub> Sol.	Cátions Trocáveis					S <i>e mg</i>	T <i>e mg</i>	V %	CTC/100g argila <i>e mg</i>	Al <sup>3+</sup> / Al <sup>3+</sup> +S %
	Ca <sup>2+</sup> <i>e mg</i>	Mg <sup>2+</sup> <i>e mg</i>	K <sup>+</sup> <i>e mg</i>	Al <sup>3+</sup> <i>e mg</i>	H <sup>+</sup> <i>e mg</i>					
0,05	15,00	2,48	0,40	0,0	1,2	17,88	19,08	94	33,1	0,0
0,10	7,50	2,40	0,40	0,0	1,4	10,30	11,70	88	16,1	0,0
0,05	1,40	0,78	0,30	0,0	6,0**	2,48	8,48	29	3,7	0,0
0,02	1,25	0,07	0,07	0,0	4,8**	1,39	6,19	23	2,5	12,6
0,01	0,90	0,03	0,03	0,0	1,5	0,96	2,46	39	1,5	0,0

C %	N %	C/N	Digestão com H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1				Ki	Kr	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Livre %
			SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	TiO <sub>2</sub> %			
2,96	0,32	9,3	11,51	10,47	21,32	7,41	1,87	0,81	17,4
1,42	0,14	10,1	12,31	11,59	22,46	7,94	1,80	0,81	17,1
1,34	0,09	14,9	12,51	11,58	22,00	7,83	1,80	0,82	18,9
0,92	0,06	15,3	11,31	11,41	23,48	8,46	1,68	0,73	19,2
0,40	-	-	10,72	11,78	23,03	8,73	1,55	0,69	-

(\*) Expresso em relação a 100g de TFSA. (\*\*) Análise repetida.

### ANEXO 3a

Texto extraído na íntegra do capítulo de micromorfologia do solo no livro *Tópicos em ciência do solo*. CASTRO, S.S. de et al.. *Micromorfologia do solo: bases e aplicações*. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.107-164.

#### TERMINOLOGIA E PRINCIPAIS CONCEITOS BÁSICOS DA MICROMORFOLOGIA

A proliferação de sistemas conceituais e descritivos difundidos nas décadas de 1960-70 gerou um problema de uniformização na terminologia utilizada nas descrições de lâminas delgadas que, ao mesmo tempo, originou dificuldades na hora de comparar e interpretar as descrições micromorfológicas obtidas a partir de sistemas de nomenclatura diferentes. Um outro problema que surgiu da falta de uniformidade dos sistemas de descrição foi à alta especificidade de alguns deles em relação a certas áreas da pedologia. Assim, alguns eram mais específicos para a descrição da fração mineral do solo (Altemüller, 1962; Brewer, 1964) e outros mais específicos para a descrição da fração orgânica do solo (Babel, 1971; Bal, 1973; Baratt, 1969).

Desta forma, a União Internacional de Ciência do Solo, com o objetivo de uniformizar a terminologia utilizada na descrição de lâminas, fundou no final da década de 60, a subcomissão de Micromorfologia do Solo. A idéia deste grupo era desenvolver um sistema que fosse o mais amplo possível e aceito por toda a comunidade científica internacional que trabalhasse com micromorfologia de solos. O resultado foi o “*Handbook for Soil Thin Section Description*” publicado em 1985 por Bullock et al. (1985). Por esse motivo esta proposta será aqui apresentada.

Esses autores reconheceram seis conceitos básicos que são considerados de vital importância para a análise microscópica e descrição dos solos. Estes são: a) Fábrica ou contextura, b) Estrutura e poros, c) Material grosseiro e fino (Conceito G/F), d) Componentes básicos, e) Fundo matricial e micromassa, e f) Feições pedológicas.

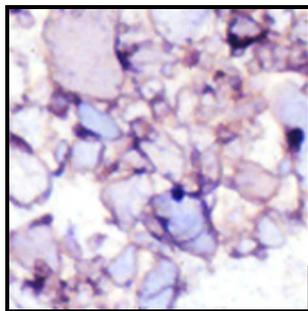
- a) **Fábrica ou contextura ou trama** - organização tridimensional dos constituintes do solo (sólido, líquido e gasoso) expressa pelo seu tamanho, forma, e frequência considerado de um ponto de vista de configuração, funcional, e genético.
- b) **Estrutura e poros** - arranjo das partículas primárias do solo em unidades chamadas agregados; sendo o tamanho, forma e arranjo das partículas primárias e poros associados em materiais agregados e não agregados e o tamanho, forma e arranjo de quaisquer agregados presentes.
- c) **Material Grosseiro e Fino (Conceito G/F)** – razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e material fino (F), que define a relação G/F. A separação entre o material

grosso e fino neste caso não é fixo e depende da granulometria do solo estudado, da natureza das partículas nas diferentes classes granulométricas, da espessura da lâmina e do poder de resolução do microscópio no maior aumento utilizado. A principal diferença entre o conceito G/F (Stoops & Jongerius, 1975) e o conceito plasma/grãos de esqueleto proposto por Brewer (1964) é que o primeiro propõe um limite de tamanho variável entre o material grosso e fino e não fixo como propôs Brewer (1964).

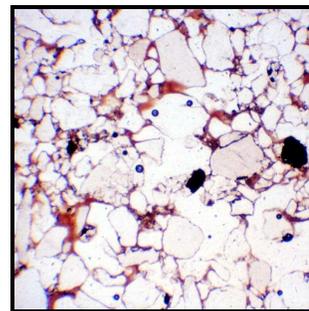
Para a descrição sistemática da relação G/F, Bullock et al. (1985) adotaram a classificação de Stoops & Jongerius (1975) denominado distribuição relativa G/F que contém cinco padrões baseados nas relações G/F das partículas.

*Padrões de distribuição relativa G/F :*

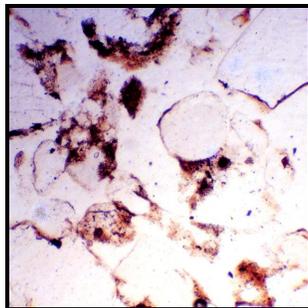
- (i) Mônica: unidades de fábrica com partículas de um só grupo de tamanho ou ainda material amorfo (por exemplo, areia, silte, cascalho) (Figura 12a).
- (ii) Gefúrica: as unidades grosseiras são ligadas por pontes de material fino (Figura 12b).
- (iii) Quitônica: as unidades grosseiras estão rodeadas de material fino (por exemplo, areia recoberto por argila ou agregados recobertos por argila) (Figura 12c).
- (iv) Enáulica: material grosso e agregados de material fino (microagregados) nos espaços intersticiais, sem preenchê-los completamente (Figura 12d,e).
- (v) Porfírica: as partículas grosseiras distribuem-se numa massa densa de material fino (por exemplo, argila), não existem os poros intersticiais. Pode ser de três tipos: aberta, dupla ou simples (Figura 12f).



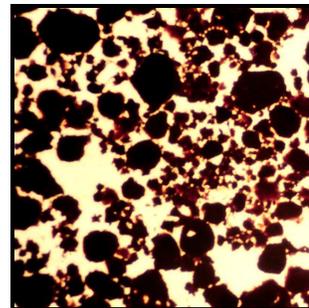
a) Mônica. Empilhamento de grãos de quartzo



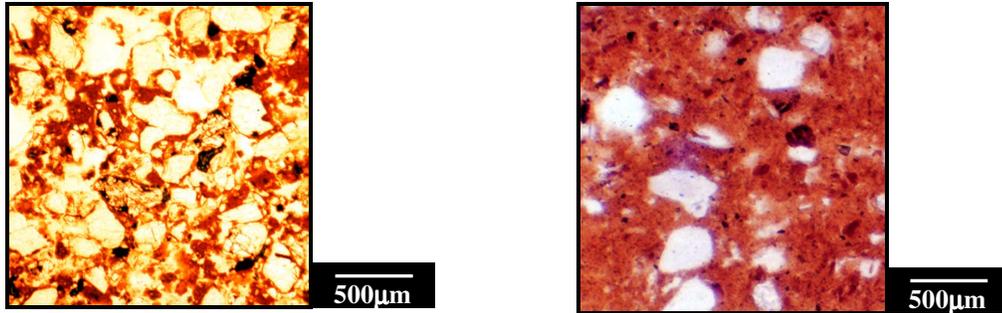
b) Gefúrica. Grãos de quartzo com pontes de argila.



c) Quitônica. Grãos de quartzo recobertos por argila e óxidos de ferro.



d) Enáulica. Empilhamento de microagregados



e) Enáulica. Empilhamento de grãos de quartzo e microagregados.

f) Porfírica. Grãos de quartzo numa massa densa de material fino

Figura 12: Fotomicrografias exemplificando os diferentes tipos de distribuições relativas.

**d) Componentes básicos** - minerais (quartzo, feldspatos, micas, calcita, argilas silicatadas, etc.) e outras unidades básicas (tecidos de plantas, matéria orgânica, etc.). Constituem a base de formação da micromassa, fundo matricial, feições pedológicas, estrutura e fábrica. São partículas herdadas do material de origem ou formadas pela alteração de minerais primários herdados ou pelo acúmulo de material orgânico na superfície ou dentro do solo.

*Fração grosseira* - Os critérios principais utilizados para descrever a fração grosseira são: a natureza (ou composição), tamanho, forma, arranjo, características internas dos minerais ou agregados de minerais, e os padrões de alteração. A identificação de minerais em lâminas delgadas é baseada nas suas propriedades cristalográficas e nas propriedades óticas gerais.

*Fração fina* - é aquela que não pode ser identificado com aumentos médios dos microscópios óticos. Os limites entre as frações grosseiras e finas não são fixas, mas, os autores sugerem que o material fino é aquele que apresenta um tamanho menor a 10µm. As características mais importantes para a descrição do material inorgânico fino são: (i) natureza, (ii) forma, (iii) tamanho, (iv) frequência, (v) organização, (vi) cor, e (vii) limpidez. Estas características podem ser utilizadas também para descrever o material orgânico fino e os complexos organo-minerías.

**e) Fundo matricial e micromassa** -Fundo matricial é o termo geral utilizado para descrever o arranjo do material grosseiro e fino que forma a base do solo sem incluir as feições pedológicas. Micromassa é o termo geral utilizado para descrever o material fino do fundo matricial. Este termo micromassa difere do termo plasma apresentado por Brewer (1964) em que os tamanhos das partículas que compõem a micromassa podem ser maiores ou iguais ao limite de 2µm fixado pelo Brewer (1964) para o plasma.

A descrição da micromassa é baseada na caracterização da fábrica do material fino que o compõe observada sob luz polarizada. Esta fábrica, denominada por Bullock et al. (1985) como *fábrica birrefringente ou b-fabric*, é descrita pelos padrões de orientação e distribuição das cores de interferência e pela sua natureza.

*Fábricas birrefringentes* - A fábrica birrefringente do material fino pode ser subdividida em três grupos principais:

- (i) Fábrica indiferenciada: esta fábrica é caracterizada pela ausência de cores de interferência.

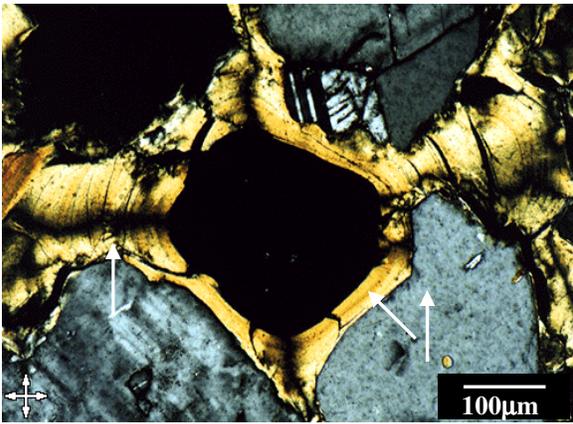
- (ii) Fábrica cristalítica: caracterizada pela presença de pequenos cristalitos birrefringentes (por exemplo, calcita), ou fragmentos de minerais (por exemplo, mica) que causam as cores de interferência do material fino.
- (iii) Fábrica estriada, salpicada e estrial: caracterizada pela presença de zonas de argilas birrefringentes. Aquelas compostas por zonas mais alongadas são descritas como *estriadas*. Se as zonas consistem de domínios isolados a fábrica é denominada *salpicada*. Se todo o material fino exhibe orientação paralela preferencial, a fábrica é denominada *estrial*.  
A fábrica estriada pode estar subdividida em função do padrão das listras birrefringentes e das superfícies com as quais estão associadas: (i) Monoestriada, (ii) Estriada paralela, (iii) Estriada reticular, (iv) Estriada cruzada, (v) Estriada ao acaso, (vi) Estriada circular, (vii) Estriada em crescente, (viii) Poroestriada, e (ix) Granoestriada. Ao mesmo tempo, a fábrica salpicada é subdividida em dois grupos: (i) Salpicada granida, e (ii) Salpicada em mosaico.

Se os componentes do material fino são de tamanho suficiente para serem observadas na escala de observação, fábricas diferentes aos das fábricas birrefringentes podem ser utilizadas para a sua descrição.

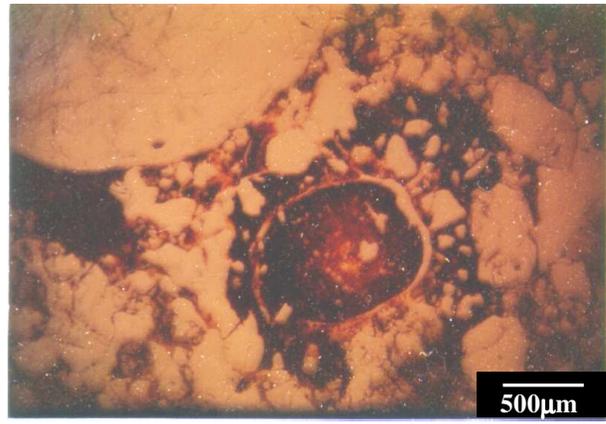
**f) Feições pedológicas** - unidades discretas de fábrica que se diferenciam do material adjacente por diferenças na concentração de um ou mais componentes, por exemplo, uma fração granulométrica, matéria orgânica, cristais, componentes químicos ou fábrica interna diferente. Fábricas birrefringentes estão excluídas das feições pedológicas. Os autores classificaram as feições pedológicas em 7 grupos principais (Figura 13):

- (i) Feições pedológicas texturais - consistem no acúmulo de partículas de qualquer tamanho e em proporções variáveis relacionados ao transporte mecânico (Figura 13A e D). A translocação não é só restrita às partículas minerais, apesar de que o movimento destas é o processo mais comum nos solos. São classificadas de acordo com a sua associação com superfícies naturais (poros, grãos e superfícies de agregados). De acordo com este princípio quatro grupos podem ser distinguidos: a) Revestimentos (cutãs), b) Hiporevestimentos, c) Quase-revestimentos, e d) Preenchimentos. As características mais importantes a serem tomadas em consideração para a descrição das feições pedológicas texturais são textura, mineralogia, fábrica interna, tamanho, espessura, morfologia externa, abundância e distribuição.
- (ii) Feições pedológicas de depleção - Estas feições pedológicas são formadas pela perda de componentes, não texturais, da matriz do solo adjacente à superfície natural (poro ou agregado) (Figura 13E). Poucos tipos de depleção tem sido observados, os mais comuns são a depleção de Fe-Mn e CaCO<sub>3</sub>. As características mais importantes a serem tomadas em consideração para a descrição das feições pedológicas de depleção são: composição do componente difundido, fábrica interna, tamanho, morfologia externa, contraste, abundância, variabilidade e distribuição.

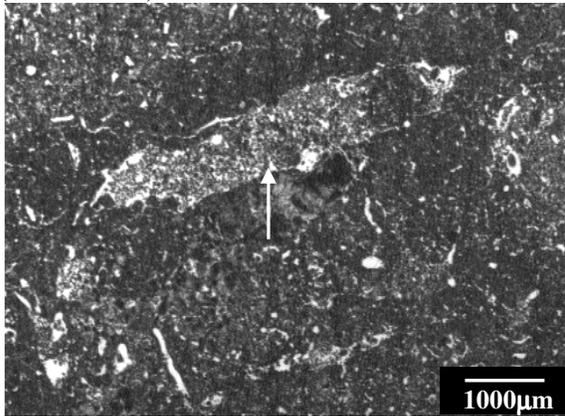
- (iii) Feições pedológicas cristalinas- São formados por cristais, formados in situ, de tamanhos variáveis sob o microscópio petrográfico (Figura 13F). Cristais isolados são considerados como feições pedológicas cristalinas quando em seu tamanho ultrapassam os 20µm. Cristais menores são considerados parte do fundo matricial ou fazem parte de feições pedológicas criptocristalinas. Estão sub-divididas em quatro grupos: (i) Típicos, (ii) Pseudomórficos, (iii) Bio, e (iv) Impregnativo. As características mais importantes a serem tomadas em consideração para a descrição das feições pedológicas cristalinas são: a natureza mineralógica, fábrica interna, tamanho, morfologia externa, e ocorrência.
- (iv) Feições pedológicas amorfas ou criptocristalinas - são isotrópicas em luz polarizada, com exceção de inclusões de materiais orgânicos ou minerais birrefringentes. Cristais do sistema cúbico, isotrópicos em luz polarizada, estão excluídos deste grupo. As características mais importantes a serem tomadas em consideração para a descrição das feições pedológicas amorfas ou criptocristalinas são: a natureza mineralógica, fábrica interna, tamanho, morfologia externa, contraste, abundância, e distribuição.
- (v) Nódulos - são as feições pedológicas amorfas mais comuns encontradas nas lâminas delgadas (Figura 13B). São formadas pela concentração de Fe, Mn, óxido-hidróxidos de Al etc. Os tipos mais comuns são os nódulos ferruginosos, manganíferos, calcíticos, e gibsíticos. Várias formas de nódulos podem ser descritos, os mais comuns são: (i) Típicos, (ii) Concêntricos, (iii) Nucléicos, (iv) Geoidicos, (v) Septáticos, (vi) Pseudomórficos, e (vii) Halo. Morfologicamente, os nódulos podem apresentar as seguintes formas: ameboidal, digitada, disjunta, agregada e composta.
- (vi) Feições pedológicas de fábrica ou contextura - diferenciam-se do material adjacente por uma diferença na fábrica interna (por exemplo, slickensides). O critério mais importante para a sua descrição é a fábrica interna. Outros critérios são: composição, tamanho, morfologia externa, contraste com o material adjacente, frequência, variabilidade, distribuição e orientação.
- (vii) Feições pedológicas de excremento - refletem a atividade biológica (passada ou presente) e frequentemente são componentes essenciais para a estrutura do solo. A fauna do solo é responsável pela sua existência e podem consistir de materiais puramente orgânicos (feitos por animais que comem plantas), terrosos (inorgânicos, formados por animais que comem solo) e mistos. A descrição dos excrementos deve incluir a forma, a rugosidade (depende do tipo de alimento), o tamanho (depende do tipo de animal e a natureza do alimento), frequência, composição (orgânico, organo-mineral, mineral), fábrica interna (normalmente mônica, porfírica, e as vezes gefúrica), distribuição e estágio de senescência.



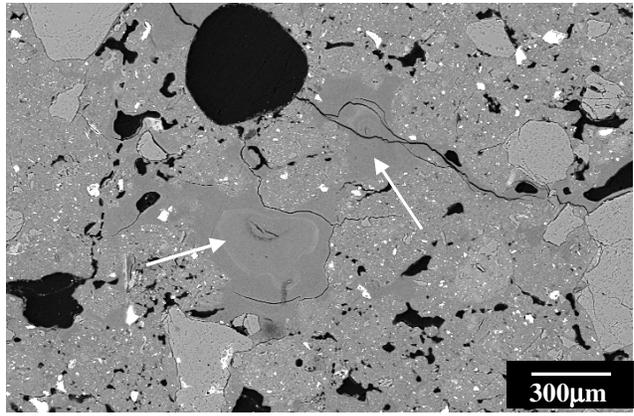
A) Feição pedológica textural mostrando uma orientação forte e contínua típico de materiais iluviais (setas brancas)



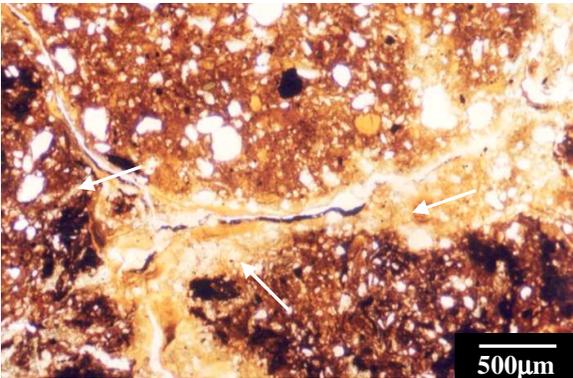
B) Nódulo ferruginoso (seta branca) de Plintossolo Pétrico



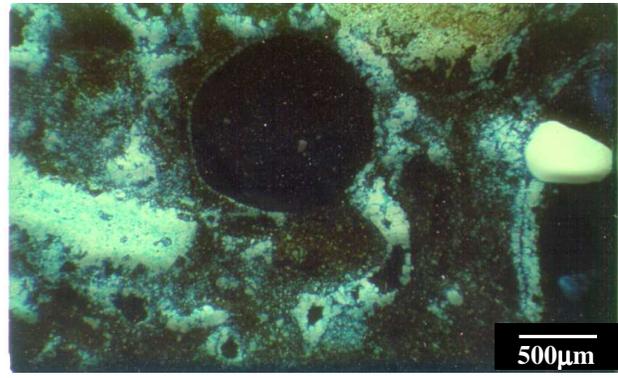
C) Preenchimento de microagregados e excrementos dentro de um canal biológico (seta branca) num Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico



D) Feição pedológica textural (setas brancas) num Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico



E) Feição pedológica de depleção de ferro (seta branca) no horizonte B textural de um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico



F) Feição pedológica cristalina (setas brancas) no horizonte B plânico de um Planossolo Nátrico carbonático

Figura 13: Feições pedológicas de alguns solos característicos das regiões tropical e semi-árida.

## Microestrutura

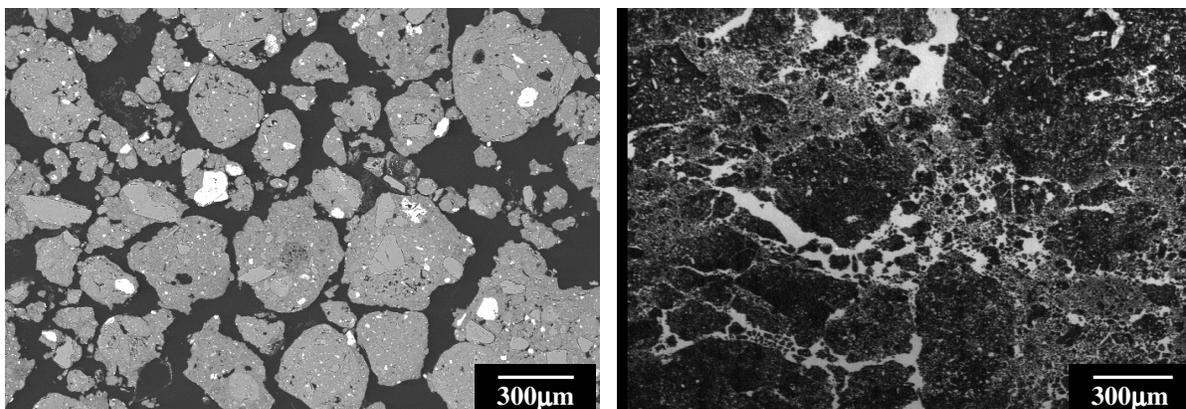
A microestrutura do solo engloba todos os aspectos da estrutura quando o solo é estudado sob aumentos de 5x ou maiores. Não inclui a fábrica interna dos componentes sólidos da massa do solo. Os aspectos da estrutura em nível microscópico e os aspectos macromorfológicos da estrutura, como a presença de canais de minhocas, agregados grandes etc., que podem ser observados a olho nu, devem ser considerados. Em materiais agregados, a microestrutura é caracterizada pela descrição dos agregados junto aos poros associados entre e dentro dos agregados, em materiais não agregados a microestrutura é descrita pelo arranjo da porosidade presente.

## Agregação

### Forma dos agregados

Quatro tipos de agregados são descritos por Bullock et al. (1985) para caracterizar a microestrutura. Estes são:

- (i) esferoidais: as partículas estão arranjadas em agregados em que as três dimensões da unidade são aproximadamente iguais. Os agregados são arredondados e, conseqüentemente, não acomodados com os agregados vizinhos. Existem dois tipos: *grumosa* e *granular* (Figura 14).
- (ii) em blocos (Figura 14): as partículas estão arranjadas em agregados em que as três dimensões da unidade são aproximadamente iguais e podem ser classificados como *angulares* se os agregados estão em contato por superfícies planas ou *subangulares* se os agregados estão em contato por superfícies planas e arredondadas.
- (iii) laminares: as partículas estão arranjadas em torno de um plano horizontal.
- (iv) em prismas: as partículas estão arranjadas em torno de um plano vertical. Podem ser divididos em dois tipos: *colunares* com as extremidades arredondadas ou *prismáticas* com as extremidades planas.



a) Agregados granulares do horizonte B latossólico de um Nitossolo Vermelho eutroférico latossólico

b) Agregados em blocos do horizonte B nítico de um Nitossolo Vermelho eutroférico

Figura 14 : Exemplos de agregados granulares e agregados em blocos.

## Pedalidade

O grau de desenvolvimento da estrutura é determinado pelo grau de pedalidade. Bullock et al. (1985) descrevem três tipos de pedalidade: a) bem desenvolvida, b) moderadamente desenvolvida, e c) fracamente desenvolvida.

## Tamanho e abundância

O tamanho dos agregados pode ser medido utilizando um micrometro. Não existe um consenso geral sobre o tamanho de classes. Bullock et al. (1985) sugerem adotar os tamanhos que Figuram no Quadro 2

Quadro 2: Classes de tamanho de agregados em mm (Bullock et al., 1985).

Tipos de agregados					
Grumosa	Granular	Blocos sub-angulares	Blocos angulares	Laminar	Prismas
Ultrafinos < 0,5	Ultrafinos < 0,5	Ultrafinos < 1	Ultrafinos < 1	Ultrafinos <0,5	
Muito finos 0,5 - 1	Muito finos 0,5 - 1	Muito finos 1 - 5	Muito finos 1 - 5	Muito finos 0,5 - 1	Muito finos <10
Finos 1 – 2	Finos 1 – 2	Finos 5 – 10	Finos 5 – 10	Finos 1 – 2	Finos 10 – 20
Médios 2 – 5	Médios 2 – 5	Médios 10 – 20	Médios 10 – 20	Médios 2 – 5	Médios 20 – 50
Grandes 5 – 10	Grandes 5 – 10	Grandes 20 – 50	Grandes 20 – 50	Grandes 5 – 10	Grandes 50 – 100
Muito grandes 10 – 20	Muito grandes 10 – 20	Muito grandes >50	Muito grandes >50	Muito grandes >10	Muito grandes >100

Na descrição dos agregados dois aspectos de abundância devem ser tomados em consideração: a) a proporção total da lâmina delgada ocupada pelos agregados, e b) as proporções relativas, em porcentagem, dos diferentes tipos de agregados.

## Rugosidade superficial dos agregados

A rugosidade superficial dos agregados é uma característica importante que deve ser descrita já que é muito útil na interpretação da gênese do solo e como indicador do movimento da água em vários estágios de saturação.

## Acomodação entre os agregados

A acomodação entre os agregados mede o grau de encaixamento das paredes dos agregados. Três tipos de acomodação são descritos: a) Acomodados, b) Parcialmente acomodados, e c) Não acomodados.

## Padrões de distribuição dos agregados

Dois tipos de padrões são identificados: padrões de distribuição básica e padrões de distribuição por referência.

Nos padrões de distribuição básica normalmente são identificados os seguintes tipos: ao acaso, agrupados e bandeados, junto com um tipo adicional denominado tubular que caracteriza agregados distribuídos dentro de canais.

Os seguintes tipos de padrões de distribuição por referência são definidos: perpendicular, paralelo e inclinado.

## Poros

Espaços desprovidos de matéria sólida; podem ocorrer em quatro posições dentro do fundo matricial: entre os agregados (interagregados), dentro dos agregados (intra-agregados), atravessando os agregados (trans-agregados) e dentro de materiais não agregados.

### Tipos de poros

Vários têm sido os sistemas propostos para descrever a morfologia dos poros. Bullock et al. (1985) adotaram o sistema proposto por Brewer (1964), estes são: (Figura 15).

- (i) Empacotamento ou empilhamento (Figura 15d): poros resultantes do empacotamento de grãos de material grosseiro ou agregados. Estes poros são irregulares, orientados ao acaso e fortemente interconectados. Este tipo de poros pode ser subdividido em:
  - Poros de empacotamento simples: resultam do empacotamento de grãos de material grosseiro;
  - Poros de empacotamento composto: resultam do empacotamento de agregados cujas faces não apresentam acomodação;
  - Poros de empacotamento complexo: resultam do empacotamento de grãos de material grosseiro e agregados.
- (ii) Cavidades (Figura 15a): poros relativamente grandes que apresentam formas esféricas a alongadas, às vezes irregulares. Estes poros não estão interconectados com outros poros.
- (iii) Canais (Figura 15b): poros alongados com formas mais ou menos cilíndricas e que apresentam paredes relativamente lisas. O diâmetro é praticamente constante na maior parte do seu comprimento.
- (iv) Câmaras (Figura 15e): são poros cavitários interconectados por canais.
- (v) Vesículas: poros semelhantes às cavidades, diferenciando-se destes pelo alisamento das paredes e sua forma bem arredondada e regular.
- (vi) Fissuras (Figura 15c): poros nos quais um dos seus eixos geométricos é muito menor que os outros dois. São formados pela contração do solo resultando em rachaduras.

### Forma dos poros

A diferenciação da forma dos poros pode ser problemática em lâminas delgadas. Por definição, os poros apresentam uma forma tri-dimensional enquanto que a lâmina delgada fornece formas bidimensionais. Desta forma, em lâminas delgadas orientadas horizontalmente, os canais podem aparecer arredondados apresentando uma morfologia semelhante às vesículas. Em casos como este, seções verticais são necessárias para diferenciar estas formas de poros.

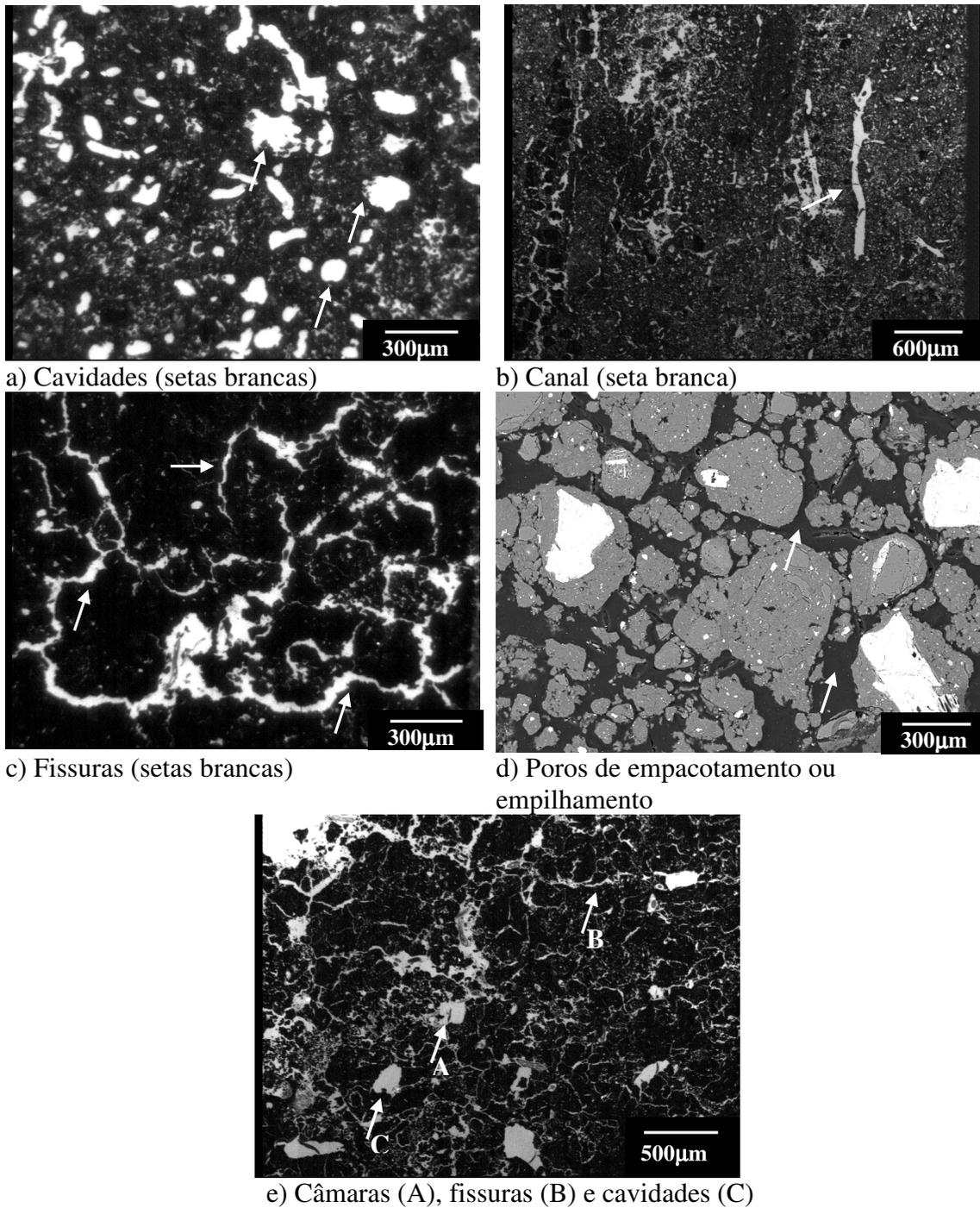


Figura 15 : Sistema de classificação de poros proposto por Brewer (1964).

### Outras características

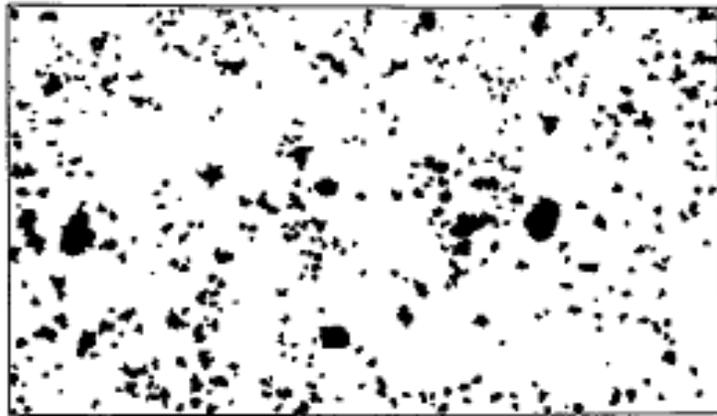
Além do tipo, a descrição dos poros também inclui a caracterização do tamanho, da abundância, da rugosidade e alisamento das paredes, e dos padrões de orientação e distribuição.

### Tipos de microestrutura

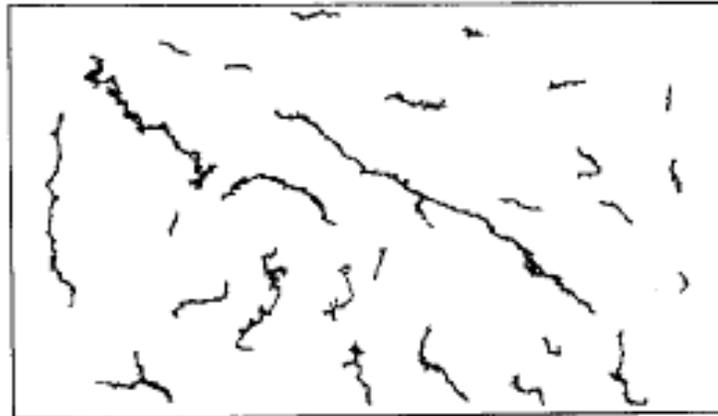
Bullock et al. (1985) descrevem 21 tipos diferentes, baseados nas características dos poros (principalmente em materiais não agregados), nos padrões de distribuição relativa (materiais não agregados e microagregados) e na forma dos agregados. Em função da alta complexidade dos solos, mais de um tipo de microestrutura pode ser encontrado quando descrevendo uma lâmina. Desta forma, os tipos de microestrutura descritos por Bullock et al. (1985) são: a) de grãos soltos, b) de grãos interligados, c) de grãos com películas, c) com microagregados entre grãos, d) com vesículas entre grãos, e) com canais entre grãos, f) de grãos compactos, g) com cavidades, h) esponjosa, i) em canais, j) em câmaras, k) com vesículas, l) grumosa, m) granular, n) em blocos subangulares, o) em blocos angulares, p) laminar, q) prismática, r) com fissuras, s) com rachaduras, t) maciça, e u) complexa.

Em relação a outras propostas, principalmente de Brewer (1964) e de Fitzpatrick (1980) (com complemento em 1993), vale lembrar que Stoops (1986) elaborou glossário contendo a tradução dos termos apresentados por Bullock et al (1985) em seis línguas.

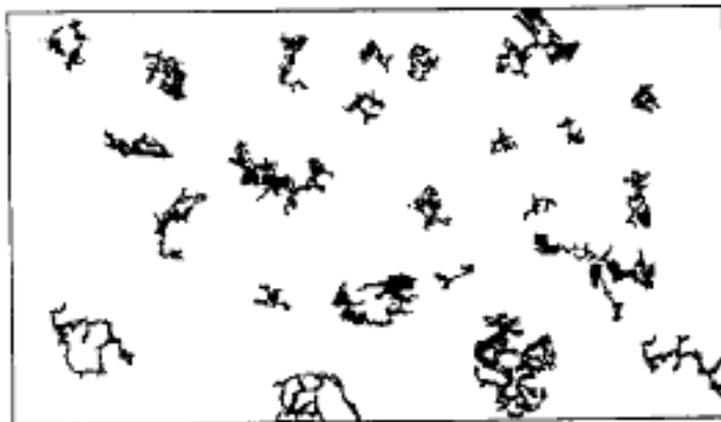
### ANEXO 3b



(a)



(b)



(c)

Esquema mostrando poróides (áreas escuras) representativas das classes de forma definidas: (a) arredondados; (b) alongados; (c) complexos. Extraído de CASTRO et al. (2003).

#### ANEXO 4

##### Descrição da micromorfologia de unidades morfológicamente homogêneas (UHMs) do perfil da Parcela Memória.

<i>UMHs da Parcela Memória</i>				
Micromorfologia	NAM	CΔμ	FmtΔμ	FptμΔ+tf
<b>Fundo matricial</b>	Material Grosso: 15% Material Fino: 60 - 65% Porosidade: 25- 30%	Material Grosso: 15% Material Fino: 65 % Porosidade: 20%	Material Grosso: 15% Material Fino: 65 % Porosidade: 20%	Material Grosso: 15% Material Fino: 65 % Porosidade: 20%
<b>Distribuição Relativa G/F **</b>	Pórfiro-Enáulica com algumas zonas puramente porfírica e outras enáulica.	Enáulica- porfírica com zonas enáulicas.	Enáulica- porfírica com zonas enáulicas.	Enáulica- porfírica com zonas enáulicas.
<b>Material Grosso</b>	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,14 mm a 1,1 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesferica. Ocorrência de magnetita (5%) e presença de nódulos de ferro (5%).	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,05 mm a 1,6 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesferica. Ocorrência de magnetita (< 5%) e presença de nódulos de ferro (5%).	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,11 mm a 1,2 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesferica. Ocorrência de magnetita (< 5%) e presença de nódulos de ferro (< 5%).	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,07 mm a 1,8 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesferica. Ocorrência de magnetita (< 5%) e presença de nódulos de ferro (< 5%).
<b>Material Fino</b>	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN):Vermelho, 2,5 YR 4/6. Luz polarizada (LP): Vermelho escuro,2,5 YR 3/6.	Cor: Luz normal (LN):Vermelho, 2,5 YR 4/6. Luz polarizada (LP): Vermelho escuro,2,5 YR 3/6.	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN): Bruno avermelho, 2,5 YR 4/4. Luz polarizada (LP): Bruno avermelhado escuro,2,5 YR 3/4.	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN): Bruno avermelho, 2,5 YR 4/4. Luz polarizada (LP): Bruno avermelhado escuro,2,5 YR 3/4.

<i>UMHs da Parcela Memória</i>				
	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>FmtΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Poros</b>	Empilhamento composto (50%) e cavidades arredondadas e policôncavas (35%), canais (5%) e fissuras (10%).	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (40%), e fissuras grandes (30%).	Cavidades arredondadas e policôncavas (55%), fissuras (25%) e canais (20%).	Fissuras com intensa microfissuração (40%), Cavidades arredondadas e policôncavas (40%) e canais (20%).
<b>Microestrutura</b>	Microestrutura complexa: uma zona predominante microgranular com pedalidade fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada. A outra zona é em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado.	Microestrutura complexa: uma zona predominante com blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca. A outra zona com microestrutura microgranular com pedalidade dominante moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada.	Predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca. A zona enáulica restringe-se as cavidades preenchidas.	Predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente a fortemente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura em blocos subangulares fissural. A zona enáulica restringe-se as cavidades preenchidas.
<b>Fábricas Birrefringentes</b>	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 5%)	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 5%)	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 5%)	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 1%)

<i>UMHs da Parcela Memória</i>				
	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>FmΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Feições Pedológicas</b>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,29 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,42 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,36 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 1%); 2) preenchimento: denso descontínuo.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,31mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>
<b>Material Orgânico Básico</b>	Fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;	Fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;	Fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;	Muitos fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;
<b>Observações</b>	A atividade biológica na lâmina corresponde cerca de 30%.	Vestígios de atividade biológica (< 15%).	Vestígios de atividade biológica. A ubestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca é menos nítida que a anterior.	Vestígios de atividade biológica.

\*\*G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e pelo material fino (F).

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; μΔ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto “solo pulverizado”; Z = estrutura laminar; o sinal “/” representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

**ANEXO 5**

**Descrição da micromorfologia de unidades morfológicamente homogêneas (UHMs) do perfil sob SPD**

<i>UMHs do Sistema Plantio Direto (SPD)</i>					
	<b>NAN</b>	<b>CΔμ</b>	<b>CμΔ</b>	<b>FmtΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Fundo matricial</b>	Material Grosseiro: 15-20%  Material Fino: 60%  Porosidade: 30%	Material Grosseiro: 15% Material Fino: 65% Porosidade: 20%	Material Grosseiro: 15% Material Fino: 60-65% Porosidade: 20-25%	Material Grosseiro: 10% - 15% Material Fino: 60 – 65% Porosidade: 25%- 30%	Material Grosseiro: 10% Material Fino: 60% Porosidade: 30%
<b>Distribuição Relativa G/F **</b>	Pórfiro-Enáulica com algumas zonas puramente porfírica e outras enáulica.	Enáulica-porfírica com zonas enáulicas.	Enáulica-porfírica com zonas enáulicas.	Enáulica- porfírica com zonas enáulicas.	Enáulica- porfírica com zonas enáulicas.
<b>Material Grosseiro</b>	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio de 1,12 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesferica. Ocorrência de magnetita (5%) e presença de nódulos de ferro (5%).	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,05 mm a 1,6 mm.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,08 mm a 1,4 mm.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,12 mm a 1,8mm.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,06 mm a 2,1 mm.
<b>Material Fino</b>	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN): Vermelho, 2,5 YR 4/6. Luz polarizada (LP): Vermelho escuro, 2,5 YR	Idem ao anterior	Idem ao anterior	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN): Bruno avermelho, 2,5 YR 4/4. Luz polarizada (LP): Bruno avermelhado	Idem ao anterior

**UMHs do Sistema Plantio Direto (SPD)**

	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>CμΔ</b>	<b>FmtΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Poros</b>	Empilhamento composto (55%) e cavidades arredondadas e policôncavas (30%), canais (5%) e fissuras (10%).	Empilhamento composto (30%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (45%), e fissuras grandes (25%).	Empilhamento composto (40%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (40%), e fissuras grandes (20%).	Cavidades arredondadas e policôncavas (40-45%), fissuras (20%), canais (25-30%) e empilhamento composto (10%)	Cavidades arredondadas e policôncavas (40-45%), fissuras (15-20%), canais (30%) e empilhamento composto (10%).
<b>Microestrutura</b>	Microestrutura complexa: uma zona predominante microgranular com pedalidade fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada. A outra zona é em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado.	Microestrutura complexa: uma zona predominante com blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade moderada a fraca.	Microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca.	Predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade moderada a fraca. A zona enáulica restringe-se as cavidades preenchidas.	Idem ao anterior
<b>Fábricas Birrefringentes</b>	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 5%)	Idem ao anterior	Idem ao anterior	De forma generalizada principalmente onde há coalescência de agregados. Tipo estriada, salpicada e manchada. (< 2%).	Idem ao anterior

<i>UMHs do Sistema Plantio Direto (SPD)</i>					
	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>CμΔ</b>	<b>FmtΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Feições Pedológicas</b>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,32mm.</p> <p><b>Excremento:</b> -</p>	<p><b>Textural:</b> Idem ao anterior.</p> <p><b>Amorfa:</b> Idem ao anterior.</p> <p><b>Excremento:</b> coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> Idem ao anterior.</p> <p><b>Amorfa:</b> Idem ao anterior.</p> <p><b>Excremento:</b> coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 2%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,42 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 2%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginosos típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,42 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>
<b>Material Orgânico Básico</b>	-	Fragmentos de restos de raízes em decomposição;	Idem ao anterior.	Fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;	Muitos fragmentos de restos de raízes em decomposição; Coprólitos nos poros;
<b>Observações</b>	A atividade biológica na lâmina é de 20%.	Vestígios de atividade biológica na lâmina (20%).	Vestígios de atividade biológica na lâmina (10%)	Vestígios de atividade biológica mais intensa que as unidades Contínuas descritas anteriormente (>20%)	Vestígios de atividade biológica mais intensa que as unidades Contínuas descritas anteriormente (>20%).

\*\*G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e pelo material fino (F).

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; μΔ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto “solo pulverizado”; Z = estrutura laminar; o sinal “/” representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

**ANEXO 6**

**Descrição da micromorfologia de unidades morfológicamente homogêneas (UHMs) do perfil sob (SC)**

<i>UMHs do Sistema Convencional (SC)</i>					
	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>CμΔ</b>	<b>FptΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Fundo matricial</b>	Material Grosso: 10% Material Fino: 50-55 % Porosidade: 35-40 %	Material Grosso: 15% Material Fino: 65-70% Porosidade: 15-20%	Material Grosso: 15% Material Fino: 60 % Porosidade: 20%	Material Grosso: 15% Material Fino: 65% Porosidade: 20%	Material Grosso: 10% Material Fino: 60-65% Porosidade: 25-30%
<b>Distribuição Relativa G/F **</b>	Enáulica com algumas zonas Pórfiro-Enáulica	Enáulica- porfírica com coalescência de agregados e algumas zonas enáulicas.	Enáulica- porfírica com coalescência de agregados e algumas zonas enáulicas.	Idem ao anterior. Porém 80% da lâmina é porfírica.	Idem ao anterior
<b>Material Grosso</b>	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,08 mm a 0,45 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados. Com rugosidade lisa/ondulada e esfericidade subesférica. Ocorrência de magnetita (5%) e presença de nódulos de ferro (5%).	Grãos de quartzo policristalino (100%) com tamanho médio variando de 0,09 mm a 2,1 mm, blocos subarredondados e pobremente selecionados.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,06 mm a 1,12 mm.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,05 mm a 1,8 mm.	Idem ao anterior com tamanho médio variando de 0,04 mm a 1,16 mm.
<b>Material Fino</b>	Composição: argila e óxidos de Fe. Cor: Luz normal (LN): Vermelho, 2,5 YR 4/6. Luz polarizada (LP): Vermelho escuro, 2,5 YR	Idem ao anterior	Idem ao anterior	Idem ao anterior	Idem ao anterior

<i>UMHs do Sistema Convencional (SC)</i>					
	<b>NAM</b>	<b>CΔμ</b>	<b>CμΔ</b>	<b>FptΔμ</b>	<b>FptμΔ+tf</b>
<b>Poros</b>	Empilhamento composto (60%) e cavidades arredondadas e policôncavas (30%), canais (5%) e fissuras (5%).	Empilhamento composto (20%) e cavidades arredondadas e policôncavas pequenas (35%), Fissuras (40%) e canais (5%).	Empilhamento composto (10%) e cavidades arredondadas e policôncavas grandes (70%), microfissuras (20%).	Empilhamento composto (10%) e cavidades arredondadas e policôncavas (50%), fissuras grandes (20%) e canais (20%).	Cavidades arredondadas grandes e policôncavas (45%), fissuras (25%), canais (20%) e empilhamento composto (10%).
<b>Microestrutura</b>	Microestrutura complexa: uma zona predominante microgranular com pedalidade fortemente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada. A outra zona é em blocos subangulares com pedalidade moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado.	Microestrutura complexa: uma zona predominante com blocos subangulares com pedalidade fracamente desenvolvida e parcialmente a bem acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca. A outra zona com microestrutura microgranular com pedalidade dominante moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodada.	Predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade fracamente a moderadamente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca.	Predomina uma microestrutura em blocos subangulares com pedalidade fracamente desenvolvida e parcialmente acomodado, que apresenta uma subestrutura microgranular coalescida com pedalidade fraca.	Idem ao anterior
<b>Fábricas Birrefringentes</b>	Idem a NAM descrita sob SPD.	Idem ao anterior	Idem ao anterior	Idem a FmtΔμ descrita sob SPD.	Idem ao anterior

UMHs do Sistema Convencional (SC)					
	NAM	CΔμ	CμΔ	FptΔμ	FptμΔ+tf
Feições Pedológicas	<p><b>Textural:</b> 1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginoso típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,39 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos.</p>	<p>1) revestimento: ferro-argilãs ao redor dos poros e agregados (&lt; 5%); 2) preenchimento: solto descontínuo formado pelos microagregados da matriz e denso contínuo de argila com extinção cruzada.</p> <p><b>Amorfa:</b> nódulo ferruginoso típico (10%) com colaração na LN: 10R 2/1 e LP 10R 2/2 com tamanho médio de 0,78 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> Presença de coprólitos. (&gt; 2%)</p>	<p><b>Textural:</b> Idem ao anterior.</p> <p><b>Amorfa:</b> Idem ao anterior, porem com tamanho médio de 0,25 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> coprólitos. (&gt; 2%)</p>	<p><b>Textural:</b> Idem ao CΔμ, porém ausência de preenchimento denso contínuo;</p> <p><b>Amorfa:</b> Idem ao anterior, porem com tamanho médio de 0,18 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> coprólitos.</p>	<p><b>Textural:</b> Idem ao CΔμ, porém ausência de preenchimento denso contínuo;</p> <p><b>Amorfa:</b> Idem ao anterior, porem com tamanho médio de 0,24 mm.</p> <p><b>Excremento:</b> -</p>
Material Orgânico Básico	Fragmentos de restos de raízes em decomposição;	Fragmentos de restos de raízes em decomposição;	Ausência de Fragmentos de restos de raízes em decomposição;	Poucas fragmentos de restos de raízes em decomposição;	Poucas fragmentos de restos de raízes em decomposição
Observações	A atividade biológica na lâmina corresponde cerca de 20%.	Lâmina bem heterogênea em termos de distribuição relativa e microestrutura.	Poucos canais presentes.		

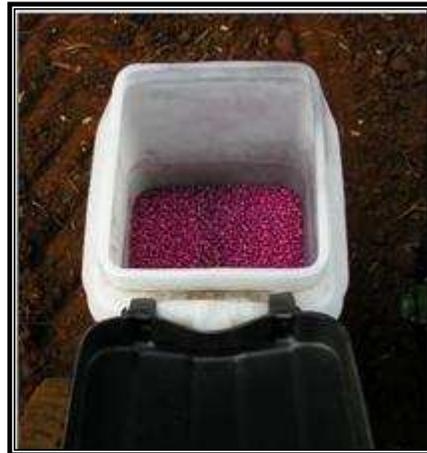
\*\*G/F: Razão entre a parte ocupada pelo material grosseiro (G) e pelo material fino (F).

Legenda: F ou C = volume de solo Fissural ou Contínuo; μΔ ou μΔ= torrões compactos ou porosos, com agregados bem compactos Δ, compactos Δμ e agregados em processo de compactação (μΔ); pt, mt, gt = pequenos, médios ou grandes torrões; tf = terra fina; L = volume de solo livre, não compacto “solo pulverizado”; Z = estrutura laminar; o sinal “/” representa transição. NAM = não alterado pelo manejo.

## ANEXO 7



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Implementação das safras 2008/2009 e 2009/2010 nos diferentes sistemas de manejos: maquinário (a), semente de milho cultivar SH 4050 (b), detalhe do disco de corte (c), área sob Sistema Plantio Direto (d) e área sob Sistema Convencional (e) e fechamento das parcelas com placas metálicas (f).

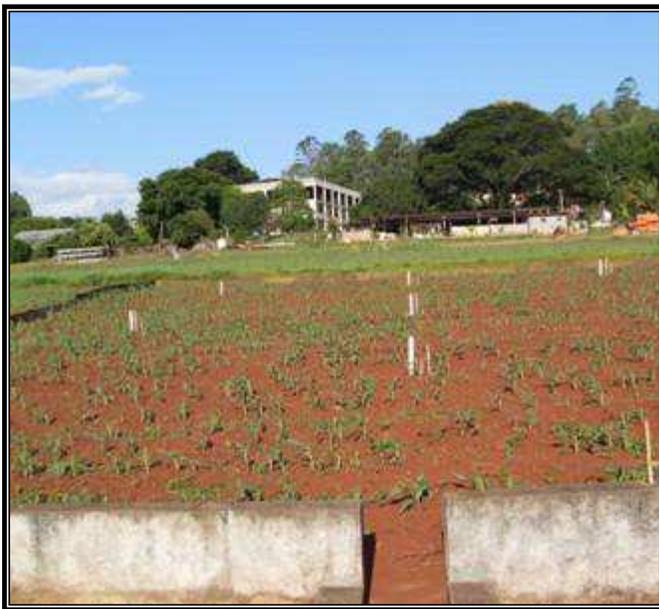
## ANEXO 8



(a)



(b)



(c)



(d)

Emergência das plantas de milho nas parcelas experimentais sob Sistema Convencional(a) e Sistema Plantio Direto (b), estacas em branco pontos de instalação dos sensores de umidade (c), detalhe do tensiometro instalado na parcela (d).

## ANEXO 9



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fases do ciclo da cultura do milho: plantas com 20 dias após a emergência milho nas parcelas experimentais sob Sistema Convencional(a) e Sistema Plantio Direto (b), plantas com 65 dias após a emergência (c e d), plantas com 90 dias após a emergência (e) e pendoamento das plantas de milho (f).

## ANEXO 10



(a)



(b)



(c)



(d)

Fase colheita: parcela experimental com plantas secas no final do ciclo (a), colheita mecânica (b), medidas biométricos em campo (c) e laboratório (d).