

ADRIANA CLAUDIA CHAGAS

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS, QUÍMICAS E
MICROMORFOLÓGICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO
EM DOM AQUINO, MT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2004

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

C433p
2004

Chagas, Adriana Claudia, 1976-

Propriedades físicas, mecânicas, químicas e micromorfológicas de um LATOSSOLO VERMELHO sob cerrado e submetido dois sistemas de manejo, em Dom Aquino, MT. / Adriana Claudia Chagas. – Viçosa : UFV, 2004. xi, 68f. : il. ; 29cm.

Orientador: Carlos Ernesto G. Reynaud.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - Caracterização - Dom Aquino (MT). 2. Solos - Compactação. 3. Solos - Manejo. 4. Soja – Compactação o do solo. 5. Algodão - Compactação do solo. 6. Latossolo Vermelho - Propriedades. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 20.ed. 631.4

ADRIANA CLAUDIA CHAGAS

**PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS, QUÍMICAS E
MICROMORFOLÓGICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO
SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO
EM DOM AQUINO, MT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA EM: 15 de abril de 2004.

Prof. Hugo Alberto Huiz
(Conselheiro)

Prof. Dario Cardoso de Lima
(Conselheiro)

Prof. Elpídio Inácio Fernandes Filho

Prof. Ivo Jucksch

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

Aos meus pais

Onofra Chagas (*in memoriam*) e
João Chagas

Dedico este trabalho como fruto de seus esforços por minha formação.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela paz de que impregnou meu coração mesmo nos momentos mais difíceis. Por seu amor; pela misericórdia com que me trata; pela vida.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, pela valiosa oportunidade concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa.

A Carlos Ernesto Schaefer, por sua orientação, amizade e, principalmente, por sua paciência.

Aos professores Hugo Alberto Huiz e Dario Cardoso de Lima pela participação e colaboração neste trabalho e pela convivência sempre amigável.

Aos professores Elpídio Inácio Fernandes Filho e Ivo Jucksch pelo envolvimento e sugestões ao trabalho.

Ao amigo José Marcos Foloni, pelo apoio financeiro e logístico no Mato Grosso, mas principalmente por seu entusiasmo e estímulo.

Ao proprietário da Fazenda Castelinho, Sr. Dorival Agulhon, pela oportunidade de realização deste trabalho e a todos os seus funcionários pelo acolhimento amigável.

A Alessandro, por seu cuidado de todos os dias, por sofrer e se alegrar comigo nos bons e maus momentos, a despeito da distância.

À minha família, pelo amor e pelo apoio. Em cada momento foi bom saber que mesmo longe, vocês estavam ao meu lado.

Às amigas, irmãs do coração, Dôra e Valéria; família que Deus me concedeu em Viçosa. Obrigada por vocês serem as pessoas que são e estarem me dando a oportunidade de desfrutar de sua amizade.

Aos colegas e amigos Daniela, Cristiane, Cassiano e Juscimar. Valeu demais a amizade, o companheirismo e a força. Obrigada por terem tornado mais suaves e agradáveis os momentos de estudo e trabalho que passamos juntos.

Aos irmãos da ABU-Pós pelos momentos tão doces e preciosos passados no seio do grupo. Por poder dividir as cargas e as conquistas com vocês, e aprender dia a dia o significado do evangelho vivo por meio de suas vidas.

Ao bolsista João Bosco Lemos Júnior, pela colaboração imprescindível no campo e no laboratório, pela convivência sempre tão agradável e por sua amizade; muito obrigada.

A João Herbert Viana e Edson Hack, o meu agradecimento e minha admiração por sua paciência e boa vontade comigo em dois momentos tão difíceis da realização deste trabalho.

Aos professores do DPS-UFV com os quais convivi desde a graduação, e que sempre me proporcionaram grandes oportunidades de crescimento técnico e pessoal. De forma especial aos professores Reinaldo Bertola Cantarutti e Anôr Fiorini Cardoso, por sua participação mais direta no meu envolvimento com a pesquisa e o ensino em ciência do solo e ao professor João Carlos Ker pelo exemplo de seu trabalho.

Aos inúmeros amigos do DPS, minha dívida de gratidão. Aos laboratoristas Cláudio, Carlos Fonseca, Jorge e Zélia, por sua colaboração constante. Ao Sr. Tiãozinho, Luciana e Sr. Vicente pelo sorriso amigo de todos os dias. À Cláudia por tornar as nossas vidas mais fáceis. Aos colegas Elaine, Eliane, Célia, Ágno, Roseilton, Lindomário e Eddi, por sua amizade.

Ao laboratorista Júlio, do Departamento de Engenharia Civil, pela colaboração tão valiosa.

A todos aqueles que, embora não tenham sido citados, fizeram e fazem parte da minha vida, dando-lhe o colorido e a alegria.

BIOGRAFIA

ADRIANA CLAUDIA CHAGAS, natural de Patrocínio (MG), é filha de Onofra Chagas e João Chagas. Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa em maio de 2002. Ainda no primeiro semestre de 2002 iniciou seus estudos no curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na mesma instituição, submetendo-se à defesa de tese em abril de 2004.

CONTEÚDO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MORFOLÓGICA DE UM LATOSSOLO SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO.	3
RESUMO	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
2.1 Local.....	8
2.2 Amostragem e Análises de Laboratório.	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.1 Classificação.....	12
3.2 Atributos Macromorfológicos e Físicos	13
3.3 Atributos Químicos e Matéria Orgânica.....	17
3.4 Aspectos Micromorfológicos	22
4. CONCLUSÕES	27
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
ESTUDO DE FATORES RELACIONADOS À AGREGAÇÃO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UM LATOSSOLO SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO.	32
RESUMO	32
1. INTRODUÇÃO.....	34

2. REVISÃO DE LITERATURA	36
2.1 Compactação do Solo	36
2.2 Efeito da Mecanização no Processo de Compactação do Solo	37
2.3 Destruição Mecânica de Camadas Compactadas/Adensadas.....	39
2.4 Modificações Morfológicas Relacionadas ao Aumento de Densidade do Solo...	40
2.5 Micromorfometria	42
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Densidade do Solo, Porosidade Total, Macro e Microporosidade	47
4.2 Avaliação da Porosidade por Micromorfometria	49
4.3 Resistência à Penetração.....	50
4.4 Estabilidade de Agregados	52
4.5 Curvas de Compactação	54
5. CONCLUSÕES	58
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE	65

RESUMO

CHAGAS, Adriana Claudia, M.S.; Universidade Federal de Viçosa, abril de 2004.
Propriedades físicas, mecânicas, químicas e micromorfológicas de um LATOSSOLO VERMELHO sob cerrado e submetido dois sistemas de manejo, em Dom Aquino, MT. Orientador: Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer.
Conselheiros: Hugo Alberto Ruiz e Dario Cardoso de Lima.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização pedológica e a avaliação das propriedades químicas, físicas, mecânicas e microestruturais de um solo da região de Dom Aquino - MT, sob vegetação natural e submetido a dois sistemas de produção agrícola representativos da região: rotação soja-algodão com uso da escarificação como operação de preparo periódico do solo e monocultivo de soja em cultivo mínimo. Para tanto, foi aberta uma trincheira na área sob cerrado, os horizontes diagnósticos foram separados, descritos e amostrados para a realização de análises físico-químicas, até a profundidade de 105 cm. Adicionalmente, foram abertas três trincheiras por área e coletadas amostras deformadas, em camadas de 10 cm até 60 cm de profundidade, indeformadas em anéis de PVC com volume interno de 50 cm³ nas profundidades de 10-15; 20-25; 30-35, 40-45 e 50-55 cm e indeformadas em caixas plásticas de aproximadamente 7 x 5 x 2 cm nas profundidades de 10-17, 30-37 e 50-57 cm. As amostras deformadas serviram às análises químicas de rotina, matéria orgânica, fracionamento de substâncias húmicas, equivalente de umidade, textura e argila dispersa em água. As amostras indeformadas coletadas em anéis serviram às análises de densidade do solo, densidade de partículas e microporosidade sendo a porosidade total e a macroporosidade obtidas por cálculo. A estabilidade de agregados via úmida foi determinada em amostras de diâmetro compreendido entre 2 e 4 mm. Testes de

resistência à penetração foram realizadas nas três áreas com o auxílio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF, em 15 pontos por área ou por segmento da área (linha e entrelinhas consideradas). Ensaios de compactação na energia Proctor Normal foram conduzidos em amostras da profundidade de 30 a 40 cm e calculados os índices de compactação relativa do solo nas três áreas. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico. A textura é argilosa com ligeiras diferenças naturais na proporção de argila e na relação areia grossa/areia fina entre as áreas. O solo apresentou graus de flocculação elevados nas três áreas. O uso agrícola promoveu mudanças químicas acentuadas no solo, com aumento na saturação de bases e nos teores de fósforo, mesmo em subsuperfície. Os teores de matéria orgânica tenderam a diminuir em profundidade e nas áreas cultivadas. A análise qualitativa da macroestrutura demonstrou a formação de estrutura laminar na superfície da área sob cultivo mínimo e aumento na proporção e no grau de desenvolvimento das estruturas em bloco do solo submetido a escarificações. Observou-se uma acentuada modificação na forma e no arranjo estrutural do solo, com aumento da densidade do solo e diminuição da porosidade total nos sistemas de manejo. As mudanças foram mais acentuadas na área sob cultivo mínimo. A resistência à penetração, apesar da diferença de umidade entre as áreas no momento de realização dos testes, serviu-se muito bem à descrição do perfil de alteração da compactação dos solos com a profundidade. Os dados refletem a dinâmica de rompimento da camada superficial compactada no sistema escarificação e a formação de uma camada subsuperficial não alterada pela ação das hastes do escarificador. As análises micromorfológicas permitiram observar alterações na compactação do solo pelos sistemas de manejo, com perda de macroporosidade e reformatação de microagregados granulares em blocos. A macroporosidade calculada por métodos de análise de imagens refletiu o aumento de compactação em superfície e na camada de 30 a 37 cm, com reflexos na camada de 50 a 57 cm. As curvas de compactação seguiram o modelo esperado com valores de densidade máxima do solo de 1,54, 1,57 e 1,65 g.cm⁻³ para o cerrado, escarificação e cultivo mínimo, respectivamente. Os índices de compactação relativa demonstraram adiantado estado de alteração da densidade do solo nos dois sistemas.

ABSTRACT

CHAGAS, Adriana Claudia. M.S.; Universidade Federal de Viçosa, April 2004.
Physical, mechanical, chemical and micromorphological properties of a Red Latosol under savanna and submitted to two management systems in Dom Aquino, Mato Grosso Estate. Adviser: Carlos Ernesto G. Reynaud Schaefer.
Comitee Members: Hugo Alberto Ruiz and Dario Cardoso de Lima.

The aim of this work was to provide a pedological characterization as well as evaluating chemical, physical, mechanical and microstructural properties of a Red Latosol from Dom Aquino, MT, under natural savanna (cerrado) and submitted to two types of cultivation system: a soya-cotton rotation with heavy-duty subsoiling and single soya cultivation with minimum tillage. For this purpose, a soil pit in an area of savanna was opened, sampled and described, following by physical and chemical analysis down to 105 cm depth. In addition, three extra soil pits were dug collecting samples at each 10 cm layer, down to 60 cm depth, as well as undeformed soil blocks in PVC tubes of 50 cm³ internal volume, at 10-15; 20-25; 30-35; 40-45 e 50-55 cm depths, and in plastic boxes of 7 x 5 x 2 cm for micropedological analysis at 10-17, 30-37 and 50-57 cm depths. Samples were subjected to routine chemical analysis, organic matter, humic substances fractionation, texture and dispersible clay determination. Undeformed samples were used to determine soil density, particle density and microporosity, obtaining the total porosity and macroporosity by calculation. Wet aggregate stability was determined in soil samples of between 2 - 4 mm. Tests of penetration resistance were carried out in three areas assisted by an Impact Penetrometer model IAA/PLANALSUCAR STOLF, in 15 points per area or per area segment (row and inter-row). Compaction tests at normal Proctor energy were carried out in samples collected at 30-40 cm depth, calculating the relative compaction index of soil in the three areas. The soil was classified as acric Red Latosol, with clayed texture and slight

differences in the natural proportion of clay and in the coarse/fine sand ratio in the areas. The soil is highly flocculated in all areas. Cultivation promoted pronounced chemical changes in the soil, with increasing bases saturation and P levels, even in subsurface. The organic matter amounts tend to decrease with depth and in cultivated areas. The qualitative analysis of macrostructure revealed the formation of platy-like peds in the minimum tillage area, increasing degree of blocky-peds development in the soil under heavy-duty subsoiling. It was also observed a clear modification in the form and structural arrangement of the soil, with increasing soil density and reducing total porosity in all management systems. These changes were observed particularly in the area under minimum tillage. The penetration resistance, despite variation in moisture between areas, was a good indicator of soil compaction with depth. Data also illustrate the dynamic of breaking the surface dense layer by heavy-duty subsoiling, but also the formation of a sub-surface dense layer down the subsoiler. Micromorphological analysis allowed the observation of visual alternations in soil compaction under different management systems, accompanied by macroporosity losses and re-shaping of macroaggregates into blocky-like peds. The macroporosity calculated by image analysis was the result of greater compacity at the surface and in the 30-37 cm depth, extending down to 50-57 cm depth. The compaction curves followed the expected model, with maximum values of 1.54, 1.57 and 1.65 g.cm⁻³ for the natural savanna, heavy-duty subsoiling and minimum tillage, respectively. The compaction indexes demonstrate a pronounced degree of soil density alteration in both management systems, compared with savanna.

INTRODUÇÃO GERAL

A vegetação predominante de cerrados ocupando chapadas e chapadões, com matas ao longo dos cursos d'água dá ao Centro-Oeste uma fisionomia típica. A pecuária constituiu a atividade tradicional mais importante durante décadas na região.

O domínio de tecnologias agrícolas adaptadas às condições de cerrado mudou drasticamente a paisagem e as estruturas sociais e econômicas de considerável porção do país, notadamente na região Centro-Oeste. A modernização dos meios de transporte e circulação, especialmente com a ampliação da rede viária forçada pela implantação de Brasília, foi extremamente importante para esta extensão de fronteiras (AB'SABER, 2003).

O novo modelo de ocupação dos cerrados trouxe consigo novos e intrigantes desafios para as ciências naturais e da terra e, de forma especial, para a ciência do solo. Muito se tem discutido e pesquisado sobre características e dinâmicas dos solos sob cerrado, principalmente nos campos da fertilidade e adubação (QUEIROZ NETO, 1982). A predominância de solos profundamente intemperizados, em grande parte distróficos e, mesmo, álicos, justifica a grande preocupação inicial do corpo técnico-científico brasileiro com a nutrição e produtividade das culturas. Entretanto, após um período de quase quatro décadas de intensificação da ocupação agrícola e ampla correção de deficiências químicas, percebe-se uma crescente preocupação com o estado físico e estrutural destes solos.

O Latossolo é considerado por muitos como um sistema de alta capacidade de sustentação de atividades mecanizadas, especialmente quando desenvolvido sobre relevos planos a suave ondulados. No entanto, alguns trabalhos como o de HARTMANN (1992); SCHAEFER (2001) e VIANA et al. (2004), utilizando-se de

técnicas micromorfológicas, têm chamado a atenção para a sua fragilidade ao demonstrarem a complexidade de fatores físico-químicos e biológicos envolvidos na microestruturação típica destes solos, principal responsável por suas qualidades físicas.

A evolução de camadas subsuperficiais compactadas em áreas de cultivo de soja em monocultivo ou rotacionada com algodão, como se tem observado na região de Dom Aquino, Campo Verde e Primavera do Leste - MT, pode vir a comprometer a sustentabilidade agronômica das culturas e mesmo da utilização agrícola destes solos.

Pouco se conhece sobre a dinâmica e reversibilidade do processo de compactação nestas condições, sendo necessária a condução de estudos que visem a caracterização deste fenômeno com vistas à prevenção ou antecipação de medidas corretivas.

O objetivo geral deste estudo foi a caracterização do solo sob dois sistemas agrícolas representativos daquela região; monocultivo de soja em cultivo mínimo e rotação soja-algodão com o uso de escarificações profundas no preparo periódico do solo para o plantio do algodão. O solo sob vegetação original de cerrado foi assumido como referência.

O trabalho está dividido em dois capítulos. No primeiro são apresentadas as caracterizações físico-química e morfológica do solo nas três áreas em estudo. O segundo capítulo apresenta e discute os principais fatores relacionados à compactação do solo nas situações estudadas.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MORFOLÓGICA DE UM LATOSSOLO SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a caracterização pedológica de um solo sob cerrado e a avaliação das propriedades químicas, da textura, do grau de dispersão e da organização macro e microestrutural sob dois sistemas de manejo assumindo como referência o solo sob cerrado. Para tanto foram amostradas três áreas: cerrado nativo; rotação soja-algodão sob escarificações periódicas e monocultivo de soja sob cultivo mínimo. A amostragem constituiu-se na abertura de três trincheiras por área, dispostas em triângulo aproximadamente equilátero com cerca de 50 m de lado e retirada de amostras deformadas em camadas de 10 cm até a profundidade de 60 cm. Amostras para o estudo micromorfológico foram retiradas nas profundidades de 10-17; 30-37 e 50-57 cm de profundidade. Os horizontes pedogenéticos observados sob cerrado foram separados, descritos e coletados até a profundidade de 105 cm para caracterização físico-química e mineralógica. Foram realizadas análises químicas de rotina, carbono orgânico total e fracionamento da matéria orgânica em todas as camadas amostradas, nas três áreas. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico. A textura é argilosa com ligeiras diferenças naturais na proporção de argila e na relação areia grossa/areia fina entre as áreas. O solo apresentou graus de dispersão elevados em toda a extensão do perfil estudado, nas três áreas. O uso agrícola promoveu mudanças

químicas acentuadas com aumento na saturação de bases e nos teores de fósforo, mesmo em subsuperfície. Os teores de matéria orgânica tenderam a diminuir em profundidade e nas áreas manejadas. A análise qualitativa da macroestrutura demonstrou a formação de estrutura laminar na superfície da área sob cultivo mínimo e aumento na proporção e no grau de desenvolvimento das estruturas em bloco do solo submetido a escarificações. As análises micromorfológicas permitiram observar alterações na compactidade do solo pelos sistemas de manejo, com perda de macroporosidade e reformatação de microagregados granulares em blocos.

Termos de indexação: soja, algodão, escarificação, cultivo mínimo.

1. INTRODUÇÃO

A história da agricultura brasileira, como percebida atualmente, é relativamente recente, vindo em sucessão a uma longa fase de extrativismo e de monocultivos de cana-de açúcar e de café.

No decorrer das últimas três décadas algumas regiões brasileiras mudaram drasticamente, com incorporação de padrões modernos de estruturas sociais e econômicas. Estas mudanças se ligaram, sobretudo, a implantações de novas infra-estruturas viárias e energéticas e à descoberta de impensadas vocações dos solos regionais para atividades agrárias rentáveis, como ocorrido nos estados de Goiás e Mato Grosso (AB'SABER, 2003).

A região dos cerrados possui características climáticas próprias, predominantes na maior parte do seu território como a precipitação média anual, com valores entre 1200 e 1800 mm e a duração do período seco, que oscila entre 5 e 6 meses. Os valores da temperatura média anual situam-se entre 22°C, ao sul da região e 27°C ao norte, com condições definidas de isoterмия; as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas no conjunto da região oscilam entre 4 e 5°C, diminuindo progressivamente para o norte e aumentando para o sul da região dos cerrados (ADÁMOLI et al., 1985)

AB'SABER (2003) observa que o desenvolvimento regional, especialmente de Goiás e Mato Grosso, deveu-se a uma harmoniosa transformação acoplada do meio urbano e dos meios rurais a serviço da produção de alimentos, em que foi muito importante a série de modificações na rede urbana do Brasil Central, forçadas pela implantação de Brasília.

Para que ocorresse a expansão de fronteira e o aumento de produtividade agrícola observados a partir da década de 70 era necessário que se estabelecesse no Brasil um programa forte de investigação para a geração de tecnologias apropriadas às condições de país continental, diversificado em fatores como solos, clima, instrução e cultura da população. Em 1973 era criada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA - pelo Ministério da Agricultura. Dois anos depois foi estabelecido o POLO-CENTRO (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), ao qual se atrelaram outros programas como o PERGEB (Programa Especial para a Região Geoeconômica de Brasília), o de Pesquisa Agropecuária da EMBRAPA, o de Assistência Técnica e Extensão Rural, da EMBRATER e os de assentamentos dirigidos, dentre outros, possibilitando aos cerrados os mecanismos iniciais que lhe proporcionaram alguns níveis de desenvolvimento (WAGNER, 1985).

A principal unidade de solo que ocorre na região dos cerrados, de acordo com o Mapa de Solos do Brasil de 1981, apresentado por MACEDO (1995), constitui-se em Latossolos, ocupando cerca de 49% do total, seguindo-se cerca de 15% de Areias Quartzosas, 15% de Argissolos, 7,4% Litossolos, 6% de Lateritas Hidromórficas, e menores porcentagens de Terras Roxas, Cambissolos, Gleys, Lateríticos e Concrecionários, dentre outros.

A classe dos Latossolos é constituída por solos em avançado estado de intemperização. São normalmente profundos, virtualmente desprovidos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, com baixa capacidade de troca catiônica, em muitos casos distróficos ou álicos e mineralogia predominantemente caulínica (EMBRAPA, 1999), com ocorrência de solos gibbsíticos e, mesmo, ácricos.

Devido às características de pobreza química e baixa capacidade de troca de cátions, os Latossolos constituem-se em sistemas fortemente dependentes da ciclagem biogeoquímica e da manutenção de resíduos orgânicos associados à matriz mineral. NEUFELDT (1999) considera a matéria orgânica do solo como um componente-chave na manutenção da dinâmica química e de estruturação em Latossolos.

Acentuadas mudanças químicas são requeridas na grande maioria dos Latossolos para que grandes produções agrícolas sejam sustentadas, especialmente naqueles desenvolvidos sobre as superfícies antigas e pré-intemperizadas do Planalto Central Brasileiro.

TOGNON et al (1997) em um estudo sobre as modificações químicas induzidas pelo uso agrícola dos solos sob plantio direto em duas áreas de cerrado na região de

Guairá -SP observaram acentuados incrementos de bases tanto na superfície como na subsuperfície de Latossolo Roxo, transformando os solos álicos em distróficos e, mesmo, epieutróficos.

Em adição às modificações químicas, operações de revolvimento físico e trânsito de máquinas fazem parte, em maior ou menor escala, da dinâmica de produção de alimentos e fibras daquela região. Desta forma, é comum que a alteração da paisagem ocasionada pela presença humana supere a simples retirada da vegetação original e chegue a atingir outros níveis de organização, como o do solo.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização pedológica e classificação do solo sob vegetação natural de cerrado e o estudo das diferenciações físicas e químicas, naturais e induzidas pelo uso, em dois sistemas representativos da região de Dom Aquino -MT; monocultivo de soja em cultivo mínimo e rotação soja-algodão com o uso de escarificações profundas no preparo inicial do solo para o plantio do algodão

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

O presente trabalho foi realizado em uma propriedade agrícola localizada na Bacia do Prata, município de Dom Aquino – MT, 15° 38’S, 54° 47’WGr, entre os municípios de Campo Verde e Primavera do Leste,. O clima da região é classificado como tropical quente e sub-úmido, com quatro meses de seca. A precipitação média anual é de 1750 mm e a temperatura média 22°C (RIBEIRO, 2003).

A propriedade apresenta um histórico de mais de vinte anos de utilização agrícola. A pecuária, atividade pioneira, foi substituída pelo monocultivo de soja há cerca de dez anos sendo que, apenas na safra de 1996/97, foi dado início o plantio de algodão.

Observa-se que o sistema de cultivo do solo adotado relaciona-se diretamente à cultura em questão. Assim, enquanto o plantio de soja constitui-se em uma espécie de cultivo mínimo, caracterizado pelo uso exclusivo de grade niveladora na operação de preparo periódico do solo, o plantio do algodão é precedido por escarificações profundas seguidas por nivelamento com grade. A sucessão de culturas acarreta, portanto, em alternância dos sistemas de preparo.

Três áreas foram escolhidas para a caracterização detalhada: uma área sob monocultivo de soja como cultura de verão há cerca de dez anos, sendo denominada cultivo mínimo (CM), uma área de rotação soja-algodão, escarificada periodicamente (E) e uma área sob cerrado (C).

A área E vem sendo cultivada com algodão desde a safra 1996/97, seguindo a sucessão explicitada no Quadro 1. O talhão possuía até então um histórico de

monocultivo de soja. Atualmente, o plantio do algodão é realizado em sucessão ao milho, após sua dessecação e a passagem de uma grade niveladora. O milho tem sido usado com a função exclusiva de condicionador das condições físicas e de matéria orgânica do solo, sempre plantado na entressafra; imediatamente após a colheita da cultura anterior ou no início do período chuvoso subsequente, a lavoura é lançada nos sulcos abertos pelo escarificador. De uma forma geral, a operação de escarificação profunda ocorre no preparo do solo para o plantio do algodão, com exceção ao ocorrido na safra 2001/2002.

Quadro 1 – Sucessão de cultivos e operações de escarificação profunda na área E.

<i>Safra</i>	<i>96/97</i>	<i>97/98</i>	<i>98/99</i>	<i>99/00</i>	<i>00/01</i>	<i>01/02</i>	<i>02/03</i>
Cultura	Algodão	Soja	Algodão	Algodão	Soja	Soja	Algodão
Escarificação	*(1)		*	*		*	*

⁽¹⁾ a operação foi realizada

A escarificação é normalmente realizada no sentido da linha de plantio, que não é demarcada em nível. Entretanto, a operação realizada na safra 2002/2003, imediatamente anterior à amostragem, ocorreu em nível, o que resultou em um ângulo compreendido entre 25° e 35° com a direção de plantio da cultura do algodão. A distância entre hastes do escarificador utilizada tem variado de 30 a 37 cm, a depender do número de hastes e a profundidade é de 30 cm. A operação é realizada quando o solo apresenta umidade mínima suficiente para deslocamento das hastes, o que pode ocorrer logo após a colheita da soja ou no princípio do período chuvoso subsequente. O controle de umidade, em ambos os casos, é feito de forma empírica, não sendo possível determinar as faixas de umidade em que as escarificações vêm sendo realizadas.

A área CM vem sendo explorada há cerca de quinze anos com o plantio de soja seguido por pousio durante o período de seca, em sistema de cultivo mínimo caracterizado pelo uso apenas de grade niveladora nas operações de preparo periódico do solo. Eventualmente a área tem recebido plantios de milho ou sorgo no final do período chuvoso, em cultivos “safrinha”.

A área C constitui-se em uma pequena faixa de vegetação nativa de cerrado remanescente, suscetível a queimadas periódicas e a intervenções antrópicas eventuais como extração de madeira. Aparentemente não apresenta nenhuma perturbação edáfica anterior.

2.2 Amostragem e Análises de Laboratório.

A amostragem das áreas foi realizada, em agosto de 2002, por meio da abertura de três trincheiras por área com 1 m de profundidade por aproximadamente 1,3 m de largura, transversalmente ao sentido de trabalho do solo pelos implementos. As trincheiras foram dispostas formando um triângulo aproximadamente equilátero com cerca de 50 metros de lado. Em todas as áreas a amostragem foi realizada no terço médio inferior de pendentes suaves, com declividade de aproximadamente 2 a 3%.

No cerrado, os horizontes diagnósticos de um dos perfis foram separados, descritos e amostrados até a profundidade de 105 cm. Em todas as trincheiras das três áreas foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 e 50-60 cm. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado por peneira de abertura nominal de 2 mm, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA).

Amostras indeformadas foram coletadas em caixas de aproximadamente 7 cm de comprimento por 5 cm de largura e 2 cm de espessura nas profundidades de 10-17; 30-37 e 50-57 cm, em uma trincheira por área em estudo, com posterior impregnação em resina de poliéster, corte e confecção de seções finas, como descrito por CASTRO (1995). Estas foram descritas com enfoque na estruturação dos solos, sendo enfatizadas as relações entre macroporosidade, porcentagem de plasma e feições de alteração de estrutura.

Na TFSA foram determinadas a composição granulométrica, como descrito por RUIZ (2003) e a argila dispersa em água, de acordo com EMBRAPA (1997). As frações texturais areia total, silte e argila da profundidade de 30 a 40 cm foram submetidas a análise mineralógica por meio da difratometria de raios-x (WHITTIG & ALLARDICE, 1986).

Nas amostras de todas as profundidades foram determinados pH em água (1:2,5), P e K disponíveis (Mehlich-1), Al^{3+} , Ca^{2+} e Mg^{2+} (KCl, 1mol.L^{-1}), H+Al ($Ca(OAc)_2$ $0,5\text{mol.L}^{-1}$ pH 7,0), matéria orgânica pela oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido, como descrito por EMBRAPA (1997), P-rem (concentração de fósforo na solução de equilíbrio após agitação por 1 h da TFSA com solução de $CaCl_2$ $0,01\text{mol.L}^{-1}$, contendo 60mg.L^{-1} de P, na relação 1:10) de acordo com ALVAREZ et. al (2000) e o fracionamento da matéria orgânica segundo SWIFT (1996). Os teores totais de Fe, Al, Si e Ti em extrato sulfúrico e o pH em solução de KCl

1mol.L⁻¹ na relação 1:2,5 foram determinados nos horizontes pedogenéticos amostrados no cerrado, de acordo com EMBRAPA (1997).

A cor do solo foi determinada por comparação de acordo com a caderneta de Munsell (MUNSELL COLOR COMPANY, 1975). A separação de horizontes pedogenéticos e a descrição morfológica do perfil foram realizadas segundo LEMOS e SANTOS (1996) e EMBRAPA (1999).

Os dados apresentados constituem-se em médias das três amostras acompanhadas pelo erro padrão da média entre parênteses.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Classificação

O solo foi classificado com LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico A moderado, fase cerrado subcaducifólio, relevo suave ondulado. Os resultados das análises de caracterização são mostrados no Quadro 2.

Sob condições de vegetação natural o solo apresenta distrofismo acentuado. A relação silte/argila é baixa e o grau de flocculação das argilas elevado nos horizontes amostrados.

Os resultados de difração de raios-x demonstraram que a fração argila é composta por caulinita, gibbsita, hematita e goethita. Apenas quartzo e feldspato-K foram identificados na fração areia. A fração silte, por sua vez, apresentou tanto os minerais encontrados na fração argila quanto o quartzo. A existência de argilominerais secundários na fração silte provavelmente foi ocasionada por dispersão incompleta durante a separação das frações granulométricas. A ausência de pré-tratamentos de remoção dos agentes cimentantes em Latossolos pode resultar na permanência de pseudo-silte – aglomerado argiloso com diâmetro compreendido entre 0,053 e 0,002 mm - como apontado por DONAGEMMA et al. (2003).

Os valores de K_i e K_r , calculados com base nos valores totais de Al, Fe e Si extraídos pelo ataque sulfúrico, e o pH positivo nos horizontes subsuperficiais dão uma idéia de proporções elevadas dos óxidos na mineralogia deste solo e refletem uma dessilicação avançada (MACEDO, 1996).

As características do perfil estudado concordam com as características gerais descritas por GOEDERT et al. (1980), LOPES (1984), ADÁMOLI et al. (1986) e

MACEDO (1996) em solos sob cerrado. STOOPS et al. (1994) explicam as características típicas da maioria dos solos tropicais, como as aqui apresentadas, como resultado do seu desenvolvimento sobre superfícies geomorfológicas antigas ou sobre materiais derivados de sua erosão, em ambos os casos, sobre materiais pré-intemperizado, associado a condições de temperatura e umidade elevadas, predominantes nestes geoambientes.

Quadro 2 – Caracterização química e aspectos físicos do solo estudado em área sob cerrado.

Horizonte		Fração da amostra total (g.kg ⁻¹)			Composição granulométrica da terra fina (g.kg ⁻¹)				ADA ⁽⁶⁾ (g.kg ⁻¹)	GF ⁽⁷⁾ (%)	Silte Argila
	Prof (cm)	Clh ⁽¹⁾	Cas ⁽²⁾	TF ⁽³⁾	AG ⁽⁴⁾	AF ⁽⁵⁾	Silte	Argila			
A1	0-16	0	0	1000	340	122	42	411	0,81	98,03	0,10
A/B	16-30	0	0	1000	263	153	20	476	3,10	93,49	0,04
Bw1	30-45	0	0	1000	240	141	40	523	4,25	91,87	0,08
Bw2	45-75	0	0	1000	229	136	32	542	0,55	98,98	0,06
Bw3	75-105+	0	0	1000	213	134	39	528	1,65	96,88	0,07
Relação Textural: 1,20											
Horiz	pH (1: 2,5)		Complexo Sortivo cmol.cdm ⁻³							Valor V ⁽⁸⁾	Valor m ⁽⁹⁾
	Água	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Valor S (soma)	Al ³⁺	H+Al	Valor T (soma)	%	
A1	4,97	4,36	0,00	0,02	0,03	0,05	0,5	7,9	8,45	0,6	90,9
A/B	5,17	4,91	0,02	0,02	0,02	0,06	0,2	6,3	6,36	0,9	76,9
Bw1	5,24	5,29	0,02	0,01	0,01	0,04	0,0	4,6	4,64	0,9	0,0
Bw2	4,98	5,59	0,00	0,00	0,01	0,01	0,0	3,3	3,31	0,3	0,0
Bw3	5,18	5,93	0,00	0,00	0,01	0,01	0,0	3,0	3,01	0,3	0,0
Horiz	P mg.dm ⁻³	C org (g.kg ⁻¹)	Ataque por H ₂ SO ₄ (1:1) - (dag.kg ⁻¹)						Ki	Kr	Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO			
A1	0,3	26,1	13,74	28,44	10,33	1,47	-*	-	0,82	0,67	4,32
A/B	0,5	16,2	14,06	31,98	11,22	1,74	-	-	0,75	0,61	4,47
Bw1	0,4	13,7	18,13	36,94	12,58	1,92	-	-	0,83	0,69	4,61
Bw2	0,4	18,7	17,16	34,29	11,62	1,71	-	-	0,85	0,70	4,63
Bw3	0,4	16,2	18,61	34,34	11,72	1,77	-	-	0,92	0,76	4,60

⁽¹⁾ calhau; partículas com diâmetro superior a 20 mm. ⁽²⁾ cascalho; partículas com diâmetro entre 20 e 2 mm. ⁽³⁾ terra fina; partículas com diâmetro inferior a 2 mm. ⁽⁴⁾ areia grossa; ⁽⁵⁾ areia fina; ⁽⁶⁾ argila dispersa em água ⁽⁷⁾ grau de floculação ⁽⁸⁾ saturação por bases ⁽⁹⁾ saturação por alumínio.

* não determinado

3.2 Atributos Macromorfológicos e Físicos

No que concerne à estrutura macroscópica, observou-se que a estrutura em blocos pequenos a médios subangulares, de grau fraco a moderado se desfaz em média

(horizonte A) e pequena granular (horizontes AB e Bw), com grau de desenvolvimento forte a muito forte.

Nas áreas submetidas a uso agrícola foi observada uma modificação estrutural acentuada. Na área E ocorre a formação de blocos grandes na profundidade de 10 a 30 cm de profundidade, com claro adensamento na camada de 10 a 20 cm. A estrutura originalmente observada na área C, caracterizada por maior proporção de material pequeno granular, só é observada em E a partir de 50 cm de profundidade, indicando que a perturbação edáfica produziu efeitos intensos na estruturação do solo até esta profundidade.

O cultivo mínimo produziu uma modificação estrutural menos profunda, não ultrapassando em muito a camada de 20 cm. Porém, observa-se a formação de estrutura laminar em superfície (0-8 cm), o que pode ter influência negativa sobre a velocidade de infiltração da água no solo.

Quadro 3 – Cor, profundidade e descrição da estrutura dos horizontes pedológicos do solo sob vegetação natural de cerrados.

<i>Horizonte</i>	<i>Cor</i>	<i>Profundidade</i>	<i>Descrição da Estrutura</i>
Cerrado			
O		0-3	Moderada, pequena média blocos subangulares e moderada média granular.
A1	5YR 3/3	3-25	Fraca/moderada, média blocos subangulares e forte pequena granular.
AB	5YR 4/4	25-45	Fraca/moderada, média blocos subangulares e forte pequena granular.
BA	2,5YR 4/6	45-70	Fraca, média blocos subangulares e forte muito pequena granular.
Bw1	2,5YR 4,5/8	70-100	Fraca, média blocos subangulares, forte muito pequena granular.
Bw2	2,5YR 5/8	100-120+	Fraca, média blocos subangulares, forte muito pequena granular.
Escarificação			
Ap		0-10	Moderada, média bloco subangular que se desfaz em forte média granular.
AB		10-20	Moderada/forte, média/grande bloco subangular. Horizonte adensado.
Bw1		20-30	Moderada, média/grande blocos subangulares e forte pequena granular.
Bw2		30-40	Moderada, média, blocos subangulares, forte pequena granular.
Bw3		40-50	Fraca, pequena/média blocos e forte muito pequena granular.
Bw4		50-60+	Fraca, pequena/média blocos e forte muito pequena granular. Menos coeso, maior proporção de material pequeno granular
Cultivo Mínimo			
Ap		0-8	Forte, muito pequena granular e fraca, média, laminar.
AB		8-20	Moderada, média/grande blocos subangulares e moderada, muito pequena granular.
Bw1		20-50	Fraca/moderada, média, blocos subangulares e forte, pequena granular
Bw2		50-65+	Fraca/moderada, média, blocos subangulares e forte, muito pequena granular.

Os componentes granulométricos principais são argila e areia, com diminutas proporções de silte. A textura é argilosa em toda a extensão do perfil com acréscimo nos teores de argila em profundidade, denotando processos de eluviação natural (Quadro 4).

Quadro 4 – Análise granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação das argilas e relação areia grossa/areia fina do solo nas três áreas em estudo.

Prof	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	ADA ⁽¹⁾	GF ⁽²⁾	AG/AF ⁽³⁾
	g.kg ⁻¹				%		
CERRADO							
0-10	323 (± 8)	154 (± 1)	27 (± 7)	424 (±14)	26,4 (± 1,6)	93,77(±0,23)	2,1
10-20	306 (± 4)	155 (± 4)	33 (± 3)	426 (± 7)	33,3 (± 5,1)	92,21(±1,06)	2,0
20-30	281 (± 5)	153 (± 9)	25 (± 3)	448 (± 9)	41,2 (± 9,5)	90,79(±2,13)	1,9
30-40	276 (± 2)	139 (± 8)	22 (± 1)	472 (±14)	37,0 (± 8,0)	92,21(±1,59)	2,0
40-50	243 (± 8)	146 (± 2)	28 (± 3)	493 (±10)	29,0 (± 8,7)	94,18(±1,69)	1,7
50-60	242 (± 3)	134 (± 4)	25 (± 5)	506 (± 4)	37,4 (±13,3)	92,62(±2,61)	1,8
ESCARIFICAÇÃO							
0-10	289 (± 8)	118 (± 7)	24 (± 3)	504 (± 9)	45,6 (±16,1)	91,03(±3,07)	2,5
10-20	272 (±11)	124 (± 4)	26 (±10)	518 (± 7)	28,6 (± 4,9)	94,44(±1,01)	2,2
20-30	270 (± 5)	119 (± 3)	25 (± 2)	516 (± 4)	23,4 (± 2,1)	95,46(±0,42)	2,3
30-40	247 (±18)	112 (± 6)	32 (±10)	518 (± 7)	39,0 (± 2,7)	92,47(±0,48)	2,2
40-50	229 (±11)	116 (± 2)	25 (± 4)	549 (±11)	47,5 (±14,2)	91,38(±2,56)	2,0
50-60	216 (±13)	132 (± 6)	25 (± 1)	564 (±13)	28,6 (±10,3)	94,84(±1,89)	1,6
CULTIVO MÍNIMO							
0-10	390 (±21)	115 (± 3)	24 (± 6)	405 (± 8)	35,5 (± 4,7)	91,23(±1,15)	3,4
10-20	372 (±28)	117(±17)	17 (± 3)	430 (±18)	37,4 (± 2,1)	91,30(±0,41)	3,4
20-30	379 (±39)	121 (± 9)	26 (± 6)	402 (±22)	37,6 (± 5,7)	90,57(±1,54)	3,2
30-40	370 (±26)	119 (±10)	23 (± 5)	417 (±17)	45,8 (±16,4)	88,94(±3,90)	3,2
40-50	371 (±20)	117 (± 2)	30 (± 3)	416 (±16)	45,3 (± 6,7)	89,12(±1,55)	3,2
50-60	336 (± 9)	106 (± 5)	26 (± 6)	458 (± 7)	69,5 (± 5,2)	84,50(±0,93)	3,2

⁽¹⁾ argila dispersa em água; ⁽²⁾ grau de floculação; ⁽³⁾ proporção entre areia grossa e areia fina.

As três áreas em estudo apresentam sutis diferenças texturais. A área E foi enquadrada, de acordo com a classificação textural do Soil Survey Manual, com modificações (LE MOS e SANTOS, 1996), na classe Argila, enquanto as duas outras áreas pertencem à classe Argila Arenosa. Nota-se, entretanto, que a área submetida a

cultivo mínimo apresenta de 5 a 18% menos argila que a referência sob cerrado. Outro dado relevante se refere à proporção areia grossa/areia fina consideravelmente maior em CM, quando comparada com as demais áreas, o que pode acarretar em diferenciações na permeabilidade e no comportamento mecânico do solo nesta área.

O grau de flocculação calculado para as áreas sob cultivo e cerrado (Quadro 4) demonstra pouca influência do uso do solo sobre a dispersão de argila. A manutenção do pH na faixa de 5,3 a 6,2 associada a teores relativamente altos de matéria orgânica nas áreas E e CM provavelmente apresentam-se como pouco modificadores da condição inicial de dispersão do solo.

3.3 Atributos Químicos e Matéria Orgânica

Os resultados da análise química de rotina são apresentados no Quadro 5. Observa-se uma clara modificação das características químicas como resultado de correções e adubações do solo sob atividade agrícola, com aumento nas concentrações de macro e micronutrientes, elevação da CTC e neutralização do alumínio trocável. Entretanto, os valores médios, especialmente de P e K, demonstram um maior aporte químico na área escarificada (E), submetida ao plantio periódico de algodão, e uma maior abrangência da modificação no perfil até a profundidade estudada de 60 cm.

Os maiores teores de matéria orgânica são observados no solo sob vegetação original. A área E, embora seja revolvida periodicamente até a profundidade média de 30 cm, apresenta teores de matéria orgânica considerados altos (TOMÉ JR., 1997) o que demonstra a eficiência de fixação do carbono ao solo pelo milheto. A ação de gramíneas no incremento de carbono e na estabilização de agregados do solo foi reportada por CARPENEDO e MIELNICZUK, (1990) e SILVA e MIELNICZUK, (1997) sendo considerada como resultado de sua alta densidade de raízes bem distribuídas no solo e em constante renovação.

A área sob cultivo mínimo apresentou um ligeiro declínio nos teores e uma tendência a acúmulo de matéria orgânica do solo em subsuperfície, apesar do baixo grau de revolvimento do sistema. Este fato pode estar relacionado à menor produção de biomassa nas entressafras em que a área foi mantida sob pousio e há indícios de que presente, também, uma relação com a textura do solo. O talhão apresenta uma relação areia grossa/areia fina de até 3,4:1, enquanto a relação no cerrado atinge a relação de 2:1 e na área E 2,4:1. Este fato, associado aos teores ligeiramente superiores de areia total

nesta área, pode ser responsável por uma maior mobilidade dos compostos orgânicos de menor peso molecular.

Quadro 5 – Características químicas e matéria orgânica do solo nas três áreas

<i>Prof</i> cm	<i>pH</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>H+Al</i>	<i>SB</i> ⁽¹⁾	<i>t</i> ⁽²⁾	<i>T</i> ⁽³⁾	<i>V</i> ⁽⁴⁾	<i>m</i> ⁽⁵⁾ %
		mg.dm ⁻³				cmol _c .dm ⁻³						
CERRADO												
0-10	5,0 (±0,12)	0,6 (±0,30)	29,3 (±19,33)	0,1 (±0,06)	0,1 (±0,07)	0,9 (±0,27)	9,5 (±1,53)	0,2	1,1	9,7	1,9	84,6
10-20	5,3 (±0,04)	0,3 (±0,12)	10,7 (± 3,67)	0,0 (±0,00)	0,0 (±0,01)	0,3 (±0,13)	6,4 (±1,01)	0,1	0,4	6,4	0,8	86,0
20-30	5,5 (±0,06)	0,3 (±0,06)	5,0 (± 1,00)	0,0 (±0,00)	0,0 (±0,01)	0,2 (±0,12)	5,5 (±0,57)	0,0	0,2	5,5	0,5	58,8
30-40	5,5 (±0,05)	0,3 (±0,10)	2,3 (± 0,88)	0,0 (±0,00)	0,0 (±0,01)	1,2 (±0,60)	4,4 (±0,26)	0,0	1,2	4,4	0,4	66,1
40-50	5,4 (±0,10)	0,3 (±0,09)	0,0 (± 0,00)	0,0 (±0,03)	0,0 (±0,01)	0,6 (±0,60)	3,9 (±0,13)	0,0	0,6	3,9	1,2	33,0
50-60	5,4 (±0,12)	0,2 (±0,07)	0,0 (± 0,00)	0,0 (±0,01)	0,0 (±0,01)	0,6 (±0,60)	3,3 (±0,17)	0,0	0,6	3,3	0,5	33,3
ESCARIFICAÇÃO												
0-10	6,2 (±0,12)	8,6 (±1,89)	92,0 (±18,15)	2,8 (±0,37)	1,5 (±0,17)	0,0 (±0,00)	5,2 (±0,13)	4,6	4,6	9,7	46,5	0,0
10-20	6,0 (±0,17)	4,1 (±2,25)	58,0 (± 4,16)	2,0 (±0,45)	1,1 (±0,32)	0,0 (±0,00)	4,8 (±0,23)	3,3	3,3	8,1	39,5	0,0
20-30	5,7 (±0,15)	2,0 (±0,81)	50,0 (± 2,31)	1,4 (±0,35)	0,7 (±0,12)	0,0 (±0,00)	4,5 (±0,20)	2,2	2,2	6,7	32,1	0,0
30-40	5,6 (±0,10)	0,9 (±0,34)	47,3 (± 1,76)	1,0 (±0,22)	0,5 (±0,06)	0,0 (±0,00)	3,8 (±0,23)	1,6	1,6	5,4	30,1	0,0
40-50	5,4 (±0,04)	0,1 (±0,03)	32,7 (± 5,81)	0,6 (±0,06)	0,4 (±0,05)	0,0 (±0,00)	3,8 (±0,23)	1,1	1,1	4,9	22,9	0,0
50-60	5,4 (±0,01)	0,0 (±0,00)	28,0 (± 7,21)	0,5 (±0,02)	0,4 (±0,03)	0,0 (±0,00)	3,1 (±0,10)	1,0	1,0	4,1	23,9	0,0
CULTIVO MÍNIMO												
0-10	6,0 (±0,05)	3,5 (±0,73)	54,7 (± 8,51)	2,2 (±0,13)	1,8 (±0,37)	0,0 (±0,00)	5,6 (±0,40)	4,1	4,1	9,7	42,2	0,0
10-20	5,8 (±0,06)	2,8 (±2,00)	21,3 (± 8,35)	1,5 (±0,16)	0,8 (±0,06)	0,0 (±0,00)	4,3 (±0,20)	2,4	2,4	6,6	35,4	0,0
20-30	5,5 (±0,08)	0,3 (±0,07)	15,3 (± 3,33)	0,9 (±0,25)	0,5 (±0,04)	0,1 (±0,07)	4,0 (±0,20)	1,5	1,5	5,4	26,6	3,2
30-40	5,4 (±0,04)	0,2 (±0,03)	14,0 (± 3,06)	0,5 (±0,09)	0,4 (±0,02)	0,0 (±0,00)	4,0 (±0,20)	0,9	0,9	4,9	18,3	0,0
40-50	5,4 (±0,00)	0,1 (±0,03)	12,3 (± 3,38)	0,4 (±0,03)	0,3 (±0,04)	0,0 (±0,00)	3,5 (±0,23)	0,7	0,7	4,3	17,4	0,0
50-60	5,4 (±0,01)	0,1 (±0,03)	8,7 (± 4,67)	0,3 (±0,01)	0,3 (±0,01)	0,0 (±0,00)	3,1 (±0,10)	0,6	0,6	3,7	16,6	0,0

Quadro 5 - continuação

<i>Prof</i> cm	<i>P-rem</i> ⁽⁶⁾ mg.dm ⁻³	<i>MO</i> g.kg ⁻¹	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>
			mg.dm ⁻³			
CERRADO						
0-10	15,9 (±0,87)	51,0 (±11,29)	0,5 (±0,50)	42,5 (±16,22)	3,3 (±2,30)	0,4 (±0,11)
10-20	14,8 (±0,61)	31,9 (± 3,63)	0,0 (±0,00)	17,1 (± 6,63)	1,0 (±0,19)	0,4 (±0,03)
20-30	14,8 (±0,28)	32,4 (± 1,23)	0,0 (±0,00)	22,1 (± 6,79)	0,6 (±0,15)	0,4 (±0,06)
30-40	15,0 (±0,69)	22,0 (± 3,70)	2,0 (±1,96)	12,6 (± 0,54)	0,4 (±0,10)	0,8 (±0,37)
40-50	12,0 (±0,58)	21,6 (± 1,67)	1,8 (±1,81)	10,8 (± 0,27)	0,8 (±0,22)	0,5 (±0,17)
50-60	10,2 (±0,81)	18,2 (± 2,29)	0,3 (±0,30)	7,1 (± 0,59)	0,7 (±0,09)	0,5 (±0,07)
ESCARIFICAÇÃO						
0-10	24,4 (±0,30)	31,1 (± 2,14)	7,2 (±0,42)	23,0 (± 4,82)	7,4 (±1,83)	0,9 (±0,06)
10-20	20,8 (±1,54)	27,8 (± 3,33)	6,7 (±2,31)	21,0 (± 4,21)	5,2 (±0,75)	1,0 (±0,37)
20-30	17,7 (±1,37)	31,5 (± 4,68)	10,2 (±6,34)	19,8 (± 1,72)	3,5 (±0,61)	0,7 (±0,23)
30-40	13,9 (±1,26)	24,5 (± 5,47)	2,6 (±2,00)	13,1 (± 1,40)	1,3 (±0,45)	0,6 (±0,35)
40-50	11,5 (±0,67)	20,3 (± 2,07)	1,5 (±1,53)	8,6 (± 1,20)	0,8 (±0,03)	0,5 (±0,24)
50-60	10,2 (±0,81)	19,1 (± 3,54)	3,8 (±3,77)	7,3 (± 1,04)	0,9 (±0,22)	0,8 (±0,53)
CULTIVO MÍNIMO						
0-10	31,3 (±0,03)	26,6 (± 6,68)	15,8 (±6,32)	17,0 (± 1,84)	5,5 (±0,53)	2,1 (±0,88)
10-20	26,8 (±1,41)	24,9 (± 3,82)	9,1 (±4,55)	15,9 (± 2,16)	2,6 (±0,50)	1,5 (±0,63)
20-30	23,6 (±0,67)	21,2 (± 1,90)	5,9 (±2,97)	23,1 (± 1,03)	0,6 (±0,22)	1,2 (±0,42)
30-40	22,2 (±1,26)	17,8 (± 3,70)	9,9 (±5,34)	15,2 (± 2,05)	0,3 (±0,17)	1,7 (±0,81)
40-50	13,7 (±6,64)	21,6 (± 6,66)	12,5 (±6,43)	12,2 (± 1,21)	0,3 (±0,10)	2,5 (±1,28)
50-60	19,6 (±0,74)	34,0 (±13,03)	14,4 (±5,90)	9,5 (± 1,61)	0,4 (±0,03)	2,5 (±0,85)

⁽¹⁾ soma de bases; ⁽²⁾ CTC efetiva; ⁽³⁾ CTC a pH 7,0; ⁽⁴⁾ saturação por bases; ⁽⁵⁾ saturação por alumínio. ⁽⁶⁾ fósforo remanescente.

Pelos dados de fracionamento das substâncias húmicas (Quadro 6), observa-se que a fração humina foi predominante nas três áreas e em todas as profundidades estudadas, em teores que variaram entre 64 e 74% somatório das frações. Os dados corroboram com o de BORGES E KIEHL (1996) e ALBUQUERQUE (2001) nos quais os teores de humina no solo são também predominantes.

Quadro 6 – Características do carbono orgânico do solo nas três áreas estudadas.

<i>Prof</i>	<i>FHU</i> ⁽¹⁾	<i>FAH</i> ⁽²⁾	<i>FAF</i> ⁽³⁾	<i>(COT)</i> ⁽⁴⁾	<i>FHU/COT</i>	<i>FAH/FAF</i>
	dag.kg ⁻¹				%	
CERRADO						
0-10	1,85 (±0,89)	0,37 (±0,02)	0,27 (±0,01)	2,49	74,40	1,37
10-20	1,06 (±0,13)	0,23 (±0,01)	0,26 (±0,00)	1,55	68,62	0,90
20-30	0,85 (±0,09)	0,19 (±0,01)	0,20 (±0,00)	1,25	67,91	0,95
30-40	0,70 (±0,03)	0,12 (±0,01)	0,19 (±0,00)	1,01	69,38	0,60
40-50	0,56 (±0,03)	0,08 (±0,02)	0,17 (±0,00)	0,81	69,36	0,47
50-60	0,55 (±0,20)	0,03 (±0,02)	0,17 (±0,00)	0,75	73,29	0,18
ESCARIFICAÇÃO						
0-10	1,13 (±0,03)	0,33 (±0,02)	0,21 (±0,01)	1,66	67,88	1,59
10-20	1,05 (±0,20)	0,28 (±0,02)	0,22 (±0,00)	1,55	67,43	1,28
20-30	0,93 (±0,02)	0,24 (±0,03)	0,19 (±0,00)	1,37	68,33	1,29
30-40	0,65 (±0,06)	0,15 (±0,02)	0,17 (±0,00)	0,97	66,62	0,86
40-50	0,51 (±0,14)	0,08 (±0,01)	0,16 (±0,02)	0,75	67,75	0,49
50-60	0,53 (±0,02)	0,05 (±0,01)	0,17 (±0,01)	0,75	71,31	0,29
CULTIVO MÍNIMO						
0-10	1,14 (±0,05)	0,21 (±0,06)	0,20 (±0,00)	1,54	73,72	1,06
10-20	0,81 (±0,01)	0,27 (±0,03)	0,17 (±0,01)	1,26	64,67	1,61
20-30	0,63 (±0,02)	0,21 (±0,05)	0,15 (±0,01)	0,98	63,82	1,41
30-40	0,64 (±0,13)	0,08 (±0,03)	0,15 (±0,01)	0,87	73,87	0,54
40-50	0,54 (±0,17)	0,07 (±0,01)	0,15 (±0,01)	0,76	71,54	0,45
50-60	0,40 (±0,07)	0,04 (±0,00)	0,14 (±0,01)	0,58	68,58	0,32

⁽¹⁾ fração humina; ⁽²⁾ fração ácido húmico; ⁽³⁾ fração ácidos fúlvico; ⁽⁴⁾ carbono orgânico total, obtido pelo somatório das frações.

A relação entre as frações ácido húmico (FAH) e ácido fúlvico (FAF) sofre, nas três áreas, um claro decréscimo com a profundidade denotando maior humificação do carbono em superfície. Observa-se que, nas áreas sob uso agrícola, a concentração relativa de ácidos húmicos em superfície e até 30 cm de profundidade é mais acentuada, o que pode estar relacionado com translocação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular para a camada inferior. A elevada reatividade da matéria orgânica solúvel

pode favorecer a formação de complexos estáveis com elementos presentes, como MENDONÇA (1995), observou com relação ao alumínio. Isso poderia justificar o incremento relativo de Cu e Zn na camada de 40 a 60 cm de profundidade neste solo.

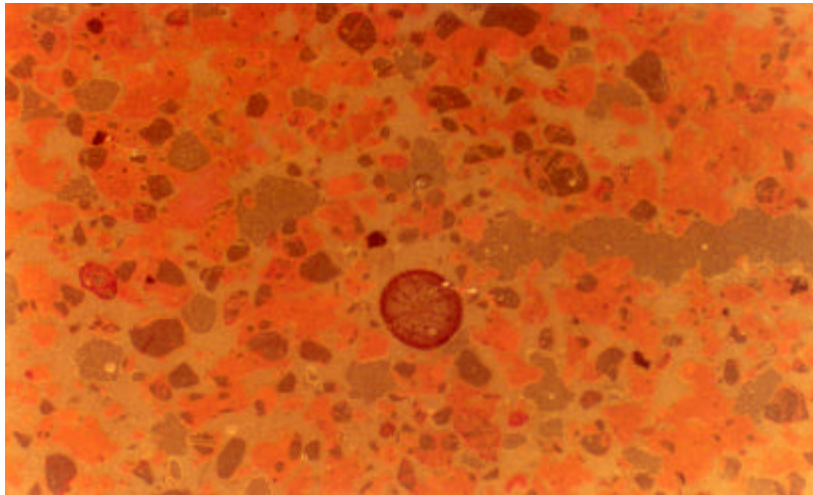
3.4 Aspectos Micromorfológicos

A análise das seções finas permite a observação de que o quartzo é o grão predominante na formação do esqueleto. O padrão arredondado e fraturado registra a sua origem sedimentar.

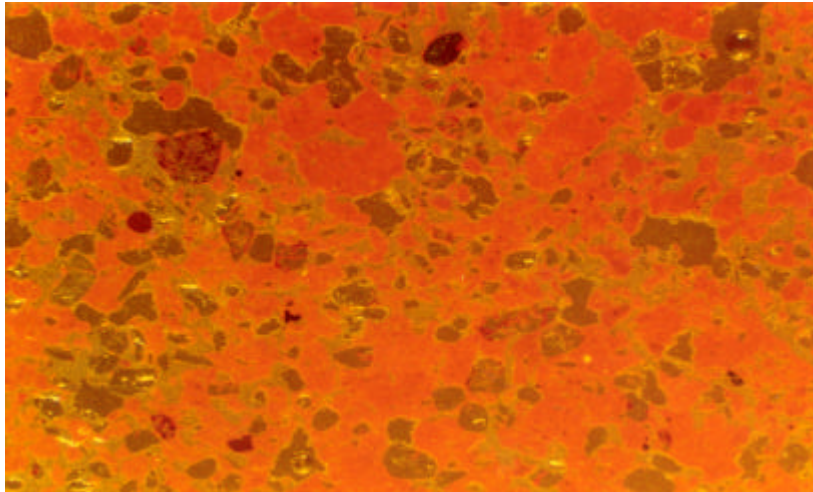
As Figuras 1.1, 1.2 e 1.3 mostram aspectos da microestruturação do solo sob vegetação natural de cerrado nas profundidades de 10-17, 30-37 e 50-57 cm, respectivamente. A microestrutura granular forte é melhor evidenciada na Figura 1.3, em que se observa grande proporção de poros de empacotamento composto, definidos pelo espaço entre os grãos do esqueleto ou o plasma que os envolve e os grânulos, como também observado por FERREIRA et al. (1999) para Latossolos gibbsíticos.

As figuras 2.1.1 e 2.1.2 apresentam o arranjo microestrutural da área E de amostras coletadas dentro do sulco de subsolagem e em área em que a haste do subsolador não atingiu diretamente na operação realizada na safra 2002/2003, respectivamente. A modificação provocada pelo cisalhamento do solo é bastante clara. A estrutura massiva formada pela união íntima de microagregados e com muito baixa proporção de poros observada em 2.1.2 foi quebrada em diversos pequenos blocos, compostos por unidades granulares (Figura 2.1.1). A porosidade formada é predominantemente fissural, preservando áreas de intenso adensamento de forma semelhante ao observado por KOOISTRA et al, (1991) e HERTMANN (1992) em solos sob utilização agrícola. A destruição e soldagem de microagregados de Latossolos em blocos mostrou-se um fenômeno de baixa reversibilidade por VIANA et al. (2004), em condições experimentais. A Figura 2.2 apresenta a permanência deste padrão de distribuição estrutural na profundidade de 30 a 37 cm de profundidade, com efeitos até a profundidade de 57 cm (Figura 2.3).

1



2



3

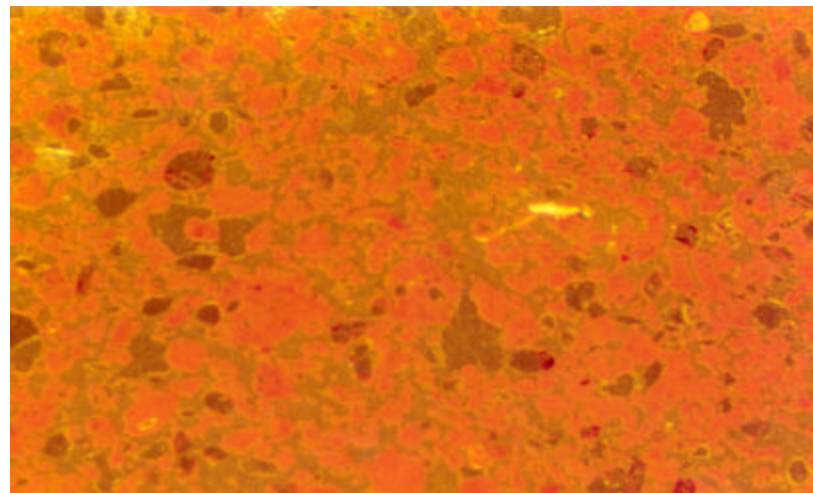
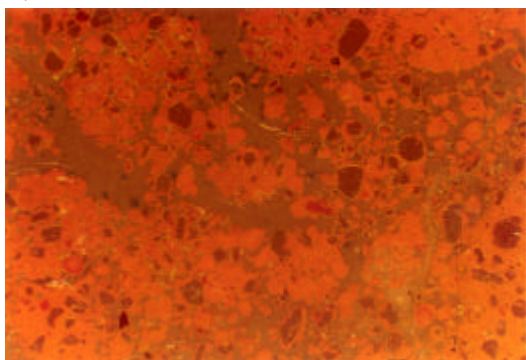
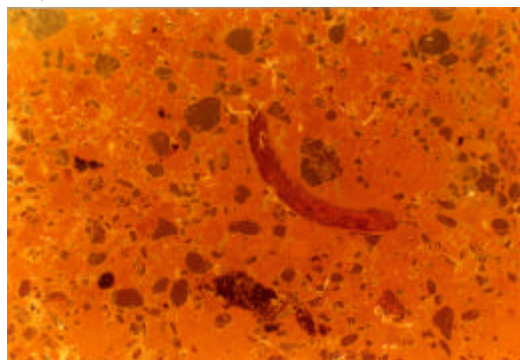


Figura 1 – Fotomicrografias em lupa de amostras do Cerrado nas profundidades de 10-17 (1.1); 30-37 (1.2) e 50-57 cm (1.3) no aumento de 15x.

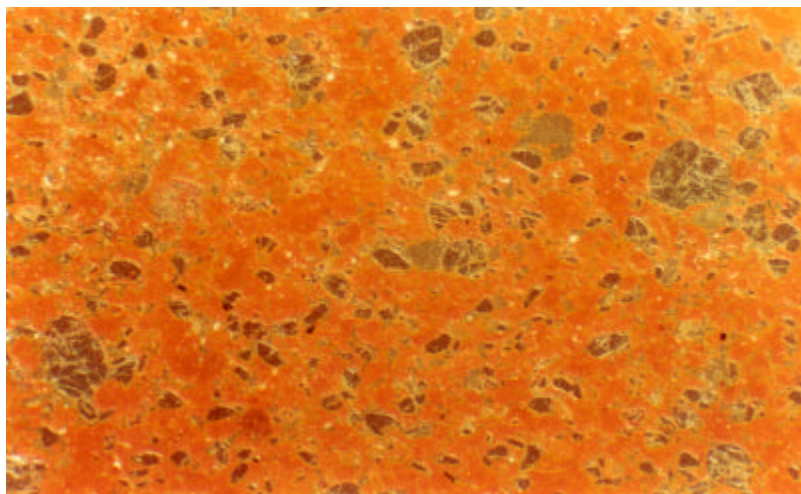
1.1



1.2



2



3

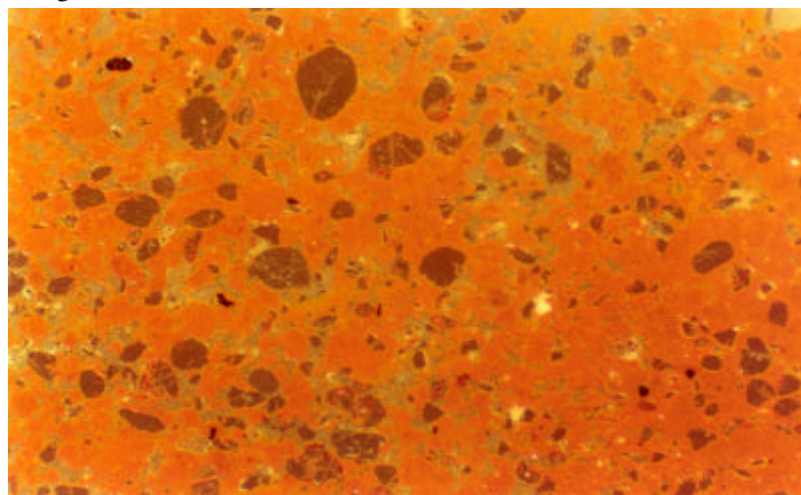


Figura 2 – Fotomicrografias em lupa de amostras da área sob Escarificação. 2.1.1: 10-17 cm dentro do sulco aberto pelo escarificador na safra 2002/2003; 2.1.2: 10-17 cm em área não atingida pelas hastes do escarificador na safra 2002/2003; 2.2: 30-37 cm 2.3: 50-57 cm.

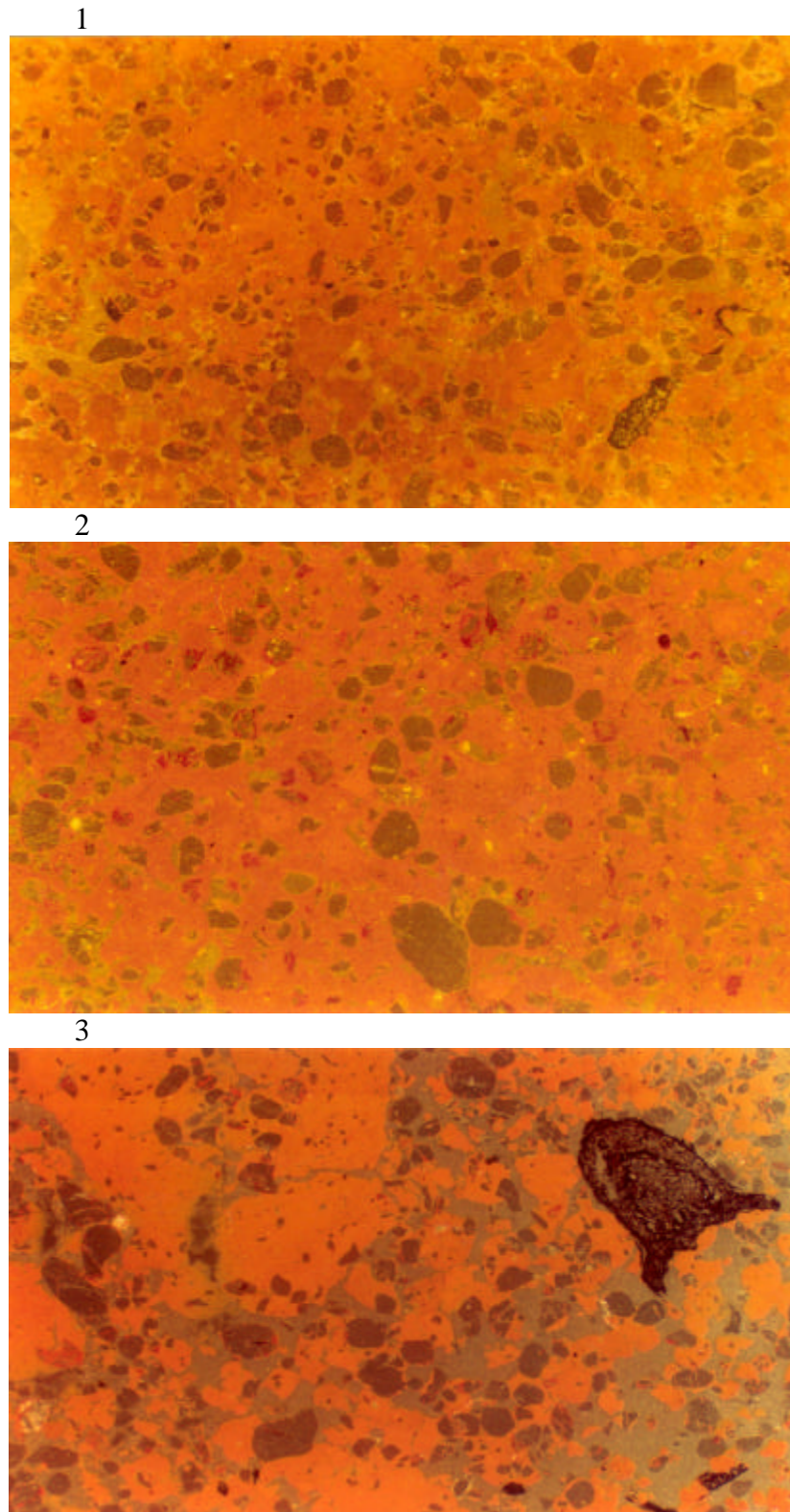


Figura 3 – Fotomicrografias em lupa de amostras da área sob Cultivo Mínimo nas profundidades de 10-17 cm (3.1); 30-37 cm (3.2) e 50-57 cm (3.3) no aumento de 15x.

A densificação observada em E também pode ser constatada na área sob cultivo mínimo, especialmente na porção subsuperficial (Figura 3.2). Observa-se pela Figura 3.3 que o efeito deste sistema sobre a forma e a proporção de espaço poroso no solo atingiu menores profundidades, embora tenha sido mais enérgica nas camadas de 10 a 17 e 30 a 37 cm. O revolvimento apenas superficial do solo garante a manutenção de uma densidade de solo elevada durante todo o ciclo da cultura, o que pode estar conferindo ao solo uma maior capacidade de suporte à pressão exercida pelo trânsito de máquinas. O sistema escarificação (E) apresenta um período de baixa densidade, imediatamente após o preparo e plantio, em que o trânsito de máquinas acarreta em maior densificação de camadas superficiais e sub-superficiais, uma vez que a operação atinge uma camada de, pelo menos, 30 cm de profundidade. SIDIRAS e VIEIRA (1984) observaram um fenômeno semelhante, embora não tenham utilizado técnicas micromorfológicas para o estudo da porosidade. Sistemas de maior atuação na desagregação do solo sofreram maior compactação pela passagem das rodas de um trator, demonstrando a menor capacidade de suporte de carga conferida ao solo por práticas como subsolagem e escarificação profunda.

4. CONCLUSÕES

O solo em estudo, um LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico, apresentou-se profundamente alterado quimicamente nas áreas sob utilização agrícola consideradas, com acréscimo acentuado de bases e P, e retirada do Al do sítio de troca.

Os teores de carbono decresceram em profundidade, exceto no cultivo mínimo, que apresenta um acréscimo de matéria orgânica na camada de 40 a 60 cm de profundidade.

Ocorreram diferenças texturais naturais entre as três áreas com maior proporção de areia total e maior relação areia grossa/areia fina na área sob cultivo mínimo.

Os aspectos da microtextura do solo observados em três profundidades demonstraram alterações estruturais notáveis induzidas pelo uso agrícola, com aumento de densidade e diminuição da porosidade total do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159 p.
- ADÁMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L.G.; MADEIRA NETTO, J. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J. (Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. p: 33-74.
- ALBUQUERQUE FILHO, M.R. **Relação Homem-Paisagem e Pedogênese em uma microbacia do Médio Rio Doce, MG**. Viçosa-MG: UFV, 2001. 73 p. (Tese de Mestrado)
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, 52: 27-32, 2000.
- BORGES, A.L.; KIEHL, J.C. Alteração na matéria orgânica de um Latossolo Amarelo álico de Cruz das Almas (BA), pelo cultivo com frutíferas perenes e mandioca. **R. Bras. Ci. Solo**, 20: 313-318, 1996.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo** 14: 99-105, 1990.
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, 10: 44, 1985.

- DONAGEMMA, RUIZ, H.A.; FONTES, M.P.F.; KER, J.C. SCHAEFER, C.E.G.R
Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:765-772, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412 p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. **R. Bras. Ci. Solo**, 23: 507-514, 1999.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; WAGNER, E. Potencial agrícola da região dos cerrados brasileiros. **Pesq. agropec. bras**, 15: 1-17, 1980.
- HARTMAN, C.; TESSIER, D.; PÉDRO, G. Changes in sandy Oxisols microfabric after mechanical up-rooting of an oil palm plantation. In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Eds) **Soil Micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier. 1994. p. 687-696.
- KOOISTRA, M.J.; JUO, A.S.R.; SCHOONDERBEEK, D. Soil degradation in cultivated Alfisols under different farming systems in Western Nigeria. In: **Soil Micromorphology: a basic and applied science**. Amsterdam: Elsevier. 1990. p. 61-70
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 2 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa-CNPS, 1996. 84 p.
- LOPES, A.S **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162 p.

- MACEDO, J. Os solos da região dos cerrados. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F.(Eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p: 135-155.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 19: 25-30, 1995.
- MUNSEL COLOR COMPANY. **Munsel color charts**. Baltimore, MD 1975.
- NEUFELDT, H Physical and chemical properties of selected Oxisols in the Brazilian cerrados In: **Sustainable Land Management for the Oxisols of the Latin America Savannas: dynamics of soil organic matter and indicators of soil quality**. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1999. p: 37-50.
- QUEIROZ NETO, J.P. Solos da região dos cerrados e suas interpretações. **R. Bras. Ci. Solo**, 6: 1-12, 1982.
- RIBEIRO, L. (Org). **MTNEWS**: informativo via Internet de Mato Grosso. Disponível em: <http://www.mtnews.com.br/cidades/dom_aquino.htm>. Acessado em: 20 dezembro 2003.
- RUIZ, H.A. **Métodos de Análises Físicas de Solo**. Viçosa: UFV/DPS, 2003. 22 p. (Apostila Didática)
- SCHAEFER, C.E.R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Aust. J. Soil Res.**, 39: 909-926, 2001.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, M.J. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico, compactado pelas rodas do trator na semeadura. **Pesq. Agropec. Bras**, 19: 1285-1293, 1984.
- SILVA, F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **R. Bras. Ci. Solo**. 21: 113-117, 1997.

- STOOPS, G.; MARCELINO, V.; ZAUZYAH, S.; MAAS, A. Micromorphology of soils of the humid tropics. In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Eds) **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 1-15.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In SPARKS, D.L. et al., (Eds) **Methods of soil analysis**. Part 3. Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am. p: 1018-1020, 1996.
- TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.A.M.; MAZZA, J.A. Alterações nas propriedades químicas de Latossolos Roxos em sistemas de manejo intensivos e de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, 21: 271-278, 1997.
- TOMÉ JR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária. 1997. 247 p.
- VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 11-19, 2004.
- WAGNER, E. Desenvolvimento da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W.J.(Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1985. p: 19-31
- WITTING, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-Ray diffraction Techniques. In KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. Part 1. 2nd Ed., Madison, WI: Soil Sci. Soc. Am., 1986. p: 331-362.

CAPÍTULO 2

ESTUDO DE FATORES RELACIONADOS À AGREGAÇÃO E RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE UM LATOSSOLO SOB CERRADO E SUBMETIDO A DOIS SISTEMAS DE MANEJO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o estudo de fatores relacionados à compactação de um Latossolo sob rotação soja-algodão submetido a escarificações periódicas e sob monocultivo de soja em cultivo mínimo assumindo como referência o solo sob vegetação natural de cerrado. Para tanto foram abertas três trincheiras dispostas em triângulo aproximadamente equilátero com cerca de 50 m de lado por área representativa de cada sistema e coletadas amostras deformadas em camadas de 10 cm até a profundidade de 60 cm, e amostras indeformadas em anéis de 50 cm³ de volume nas profundidades de 10-15; 20-25, 30-35, 40-45 e 50-55 cm. Amostras para o estudo micromorfométrico foram retiradas nas profundidades de 10-17; 30-37 e 50-57 cm de profundidade. Testes de resistência à penetração foram realizados nas três áreas com o auxílio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF, em 15 pontos por área ou por segmento da área (linha e entrelinhas consideradas). A densidade do solo, densidade de partículas e a microporosidade foram determinadas nas amostras indeformadas coletadas nos anéis. A porosidade total foi calculada com base na relação entre densidade do solo e densidade de partículas e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade. Testes de estabilidade de agregados em água foram realizados para todas as profundidades em amostras com diâmetro

compreendido entre 2 e 4 mm. Ensaios de compactação na energia Proctor Normal foram conduzidos em amostras da profundidade de 30 a 40 cm obtendo-se os valores de densidade máxima e umidade ótima de compactação. Índices de compactação relativa foram calculados com base nos valores de densidade do solo pelo método do anel volumétrico e de densidade máxima pelas curvas de compactação. Os resultados obtidos possibilitaram observar uma acentuada modificação no arranjo estrutural do solo. De uma forma geral a densidade do solo aumentou e a porosidade total diminuiu nos sistemas de manejo. As mudanças foram mais acentuadas na área sob cultivo mínimo. A resistência à penetração, apesar da diferença de umidade entre as áreas no momento de realização dos testes, serviu-se muito bem à descrição do perfil de alteração da compactidade dos solos com a profundidade. Os dados refletem a dinâmica de rompimento da camada superficial compactada no sistema escarificação e a persistência de uma camada subsuperficial densa não atingida pelas hastes do escarificador. A macroporosidade calculada por métodos de análise de imagens refletiu o aumento de compactidade em superfície e na camada de 30 a 37 cm, com reflexos na camada de 50 a 57 cm. As curvas de compactação seguiram o modelo esperado com valores de densidade do solo máxima de 1,54, 1,57 e 1,65 g/cm³ para o cerrado, escarificação e cultivo mínimo, respectivamente. Os índices de compactação relativa demonstraram adiantado estado de alteração da densidade do solo nos dois sistemas.

Termos de indexação: Latossolo, compactação, escarificação, cultivo mínimo.

1. INTRODUÇÃO

O tipo de manejo a que o solo é submetido influi diretamente sobre suas propriedades físicas, refletindo sobre as propriedades químicas e a atividade biológica. O crescimento da planta, por sua vez, será afetado por este conjunto de alterações.

A preocupação com as condições do solo sob cultivo e a discussão sobre as medidas de manejo não são recentes, mas tendem a se acentuar na medida em que novas áreas, cada vez mais extensas, são incorporadas ao processo produtivo.

O avanço do conhecimento em ciências naturais e da terra e o desenvolvimento de tecnologias empregadas na agricultura proporcionaram a esta atividade um aumento significativo de resultados. Tem-se observado nas últimas quatro décadas uma clara intensificação da produção em áreas cuja topografia favorece a mecanização intensiva, como é o caso das regiões brasileiras sob vegetação original de cerrado. Porém, o manejo intensivo do solo tem limitado o tempo disponível para as operações de tratamentos culturais e colheita, forçando aos agricultores a operar, com frequência, em condições inadequadas de umidade do solo (DIAS JÚNIOR e PIERCE, 1996), com tratores de maior peso e potência (MANTOVANI, 1987).

Dentre as conseqüências indesejáveis deste modelo de agricultura destaca-se a mudança do estado de agregação do solo com a compactação.

A compactação provoca a diminuição de volume ocupado por uma mesma massa de solo, resultando em aumento de densidade do solo (COSTA e ABRAHÃO, 1996), influenciando a resistência à penetração, a condutividade hidráulica, a capacidade de armazenamento de água, a temperatura, as trocas gasosas e a dinâmica de nutrientes do solo (CAMARGO, 1983).

O aumento na resistência à penetração do solo pode prejudicar o desenvolvimento radicular influenciando na sua arquitetura e na produção de biomassa (MIELNICZUK, 1996; COELHO, 1998). A formação de camadas mais densas em subsuperfície resulta em diminuição da infiltração e do volume de solo a ser explorado pelo sistema radicular, o que pode resultar em dois problemas de dinâmica hídrica: aumento da erosão e manutenção de umidade excessiva na camada superficial do solo em períodos de intensa pluviosidade e maior exposição da planta a estresse hídrico em períodos de seca.

Com a compactação ocorre redução na porosidade total e concentração de poros de menores diâmetros, com uma redução em sua conectividade, o que reduz a difusão de gases no solo.

A limitação da drenagem e a diminuição da velocidade de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, em solos argilosos e sob climas mais úmidos pode expor as culturas a estresse por inadequada aeração. A redução da difusão de gases no solo pode também afetar a atividade biológica resultando em alterações nos ciclos de nutrientes como o nitrogênio e na disponibilidade de micronutrientes como ferro e manganês.

Este trabalho teve por objetivo determinar a relação entre o manejo físico do solo e o desenvolvimento de camadas subsuperficiais compactadas em um LATOSSOLO VERMELHO do município de Dom Aquino-MT, submetido a cultivos de soja e algodão, em relação a uma área de referência sob cerrado nativo, por meio da caracterização física, microestrutural e de ensaios de susceptibilidade à compactação em subsuperfície.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Compactação do Solo

A diminuição do espaço poroso do solo por rearranjo ou agrupamento cerrado das partículas resulta em um aumento de compactação que pode ter origem em processos pedogenéticos, quando é denominada adensamento ou ser decorrente do manejo, quando passa a ser denominada compactação (GROHMANN, 1972).

A compactação é freqüentemente referida na literatura como decorrente da aplicação de pressão sobre o solo por tráfego de veículos e pelo contato de implementos (SILVA et al., 1986; MANTOVANI, 1987; MALTONI, 1994; COELHO, 1998). CAMARGO (1983), considera que esta possa ser a principal causa de compactação do solo. Porém, outras atividades humanas também resultam em aumento da densidade do solo ou de camadas do perfil como a calagem e a potencialização dos ciclos de umedecimento e secagem pelas técnicas de cultivo (COSTA e ABRAHÃO, 1996).

A pressão exercida por trânsito de máquinas ou animais leva à compressão do solo durante a qual existe um aumento de densidade em consequência da redução de seu volume (DIAS JÚNIOR, 2000) por reorganização de partículas simples ou de agregados (COSTA e ABRAHÃO, 1996). A atuação dos implementos é mais complexa uma vez que atuam tanto na compressão da camada subjacente ao seu plano de ação (CAMARGO, 1983), quanto na destruição de agregados maiores.

Proctor, em 1933, enunciou pela primeira vez um importante princípio da mecânica de solo segundo o qual a densidade com que um solo é compactado, sob uma determinada energia de compactação, depende da umidade do solo no momento da compactação. Os ensaios de compactação conduzidos segundo a metodologia

desenvolvida por este autor possibilitam a determinação da correlação entre massa específica seca do solo, sua umidade e a energia de compactação utilizada. Tais ensaios mostram que, para cada energia de compactação, observa-se um aumento gradual da densidade com o aumento da umidade até atingir um valor máximo, a partir do qual o incremento do conteúdo de água leva à diminuição da densidade do solo. Quando a energia de compactação aumenta, é necessária uma quantidade de água menor para alcançar a máxima compactação e vice-versa (VARGAS, 1994; PINTO, 2002).

Segundo ZAMBRANA (1994), o ensaio de compactação conduzido com energia Proctor Normal estaria aplicando ao solo uma pressão de $5,7 \text{ kgf.cm.cm}^{-3}$, o que superaria em muito o esforço normalmente impresso ao solo pelo trânsito de máquinas agrícolas. Entretanto, estes ensaios têm se mostrado de interesse ao estudo de solos sob uso agrícola na medida em que possibilitam uma caracterização quanto ao seu estado de compactação por meio do Índice de Compactação Relativa (BARBER et al., 1989; ZAMBRANA, 1994). Este índice relaciona a densidade do solo e a densidade deste solo na umidade ótima de compactação, máxima para a energia Proctor Normal:

$$\text{ICR} = \frac{D_s}{D_{sP}} \times 100$$

Em que

D_s = Densidade do solo

D_{sP} = Densidade do solo determinada pelo ensaio Proctor

A D_{sP} é considerada como referência porque aproxima-se da compactação máxima que pode ser atingida por um determinado solo, o que possibilita o reconhecimento de estados gradativos de compactação para diferentes classes de solos (ZAMBRANA, 1994) e, mesmo, para solos de uma mesma classe com diferentes texturas ou teores variados de matéria orgânica.

2.2 Efeito da Mecanização no Processo de Compactação do Solo

As operações de preparo do solo para plantio têm por objetivo promover modificações nas condições edáficas que potencializem a produção agrícola,

melhorando a emergência, facilitando o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a infiltração, diminuindo a erosão e controlando as plantas daninhas.

No entanto, estas modificações das condições do solo ocorrem por alteração da distribuição do tamanho de agregados, estes são formados ou fragmentados por processos físicos promovidos pelos implementos, e isso irá afetar propriedades mecânicas, físicas e agrônômicas dos solos (BRAUNACK e DEXTER, 1989).

Diversos trabalhos conduzidos em áreas submetidas a práticas agrícolas e silviculturais mecanizadas têm constatado significativas mudanças no estado de agregação do solo ao longo do tempo, com aumento da densidade do solo, diminuição da estabilidade de agregados, diminuição da permeabilidade e aumento da resistência à penetração (CINTRA et al., 1983; SILVA et al., 1986; CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990; PALADINI e MIELNICZUK, 1991; BEUTLER et al., 2001; TAVARES FILHO et al., 2001).

Paralelamente, a movimentação de máquinas agrícolas envolvidas nas operações de preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita constituem-se em importantes fontes de pressão sobre os solos cultivados.

A distribuição de pressão em consequência da compressão exercida pelas rodas de um trator depende do peso ou carga da máquina, da extensão da área de contato do pneu com o solo, que irá determinar a distribuição de pressão por unidade de área, da distribuição da pressão na área de contato e da natureza, umidade e densidade do solo. A pressão tende a se concentrar em torno do centro da linha de passagem das rodas (SOEHNE, 1958)

A profundidade atingida pela compactação depende do estado inicial da estrutura do solo e da umidade do solo. As curvas de distribuição da pressão provocadas pelas rodas do trator, considerando a profundidade, têm a forma de um bulbo (FERNANDES e GALLOWAY, 1987).

A diminuição da drenagem superficial do solo obriga a que o trabalho com máquinas seja feito em faixas de umidade inadequadas, o que diminui a eficiência de tração, devido à patinagem. Desta forma, tratores de maiores pesos e potências passam a serem requeridos, sendo grande parte da potência perdida na roda pela baixa eficiência de tração, enquanto o aumento de peso está contribuindo para a depreciação do solo (MANTOVANI, 1987).

FERNANDES e GALLOWAY (1987), avaliaram o efeito da pressão exercida pela passagem de trator sobre propriedades físicas de dois solos submetidos a cultivo

mínimo por sete anos. A amostragem foi realizada entre as fileiras de plantio em área trafegada e não trafegada. Estes autores puderam observar redução na porosidade total, aumento da densidade do solo, redução no diâmetro de médio de macroporos, redução na condutividade hidráulica, aumento da retenção de água por capilaridade e redução na porosidade livre de água nas camadas de 0 a 10 e de 10 a 20 cm de profundidade, sendo os efeitos mais acentuados nesta última. Não foram observadas modificações nas propriedades físicas na profundidade de 20 a 30 cm.

SIDIRAS E VIEIRA (1984), avaliaram o efeito da compactação causada por rodas de trator no momento da semeadura em três sistemas de preparo do solo: convencional, escarificação e plantio direto. A amostragem foi realizada após a semeadura, em áreas compactadas e em áreas não compactadas pelas rodas do trator. Em todos os sistemas de preparo ocorreu o aumento da densidade do solo nas faixas sob as rodas do trator. O preparo convencional apresentou os menores valores de densidade do solo nas faixas entre-rodas e os valores mais elevados nas faixas sob-rodas. O plantio direto, por outro lado, apresentou uma densidade inicial muito próxima à observada no solo sob condições naturais, sofrendo o menor incremento com a passagem das rodas do trator.

O grau de compactação atingido nas operações com máquinas depende, entre outras variáveis, do sistema de preparo do solo, da umidade da camada preparada, da presença de resíduos culturais, da estrutura do solo e, ainda, do peso do trator e da largura das rodas. Isso torna o isolamento do efeito de uma variável no estudo da compactação uma operação muito complexa (SIDIRAS E VIEIRA, 1984).

2.3 Destruição Mecânica de Camadas Compactadas/Adensadas

Escarificações e subsolagens são operações comumente utilizadas por agricultores como práticas de recuperação das condições necessárias ao crescimento radicular. SILVEIRA (2001) aponta a escarificação como uma promissora operação de preparo primário do solo, por sua menor desagregação do solo, pela não inversão da leiva e pelo menor enterrio de restos culturais, além da ação no rompimento de camadas adensadas ou compactadas nos primeiros 30 cm de profundidade. A subsolagem, paralelamente, seria a operação mais indicada para o rompimento de camadas densas abaixo de 30 cm.

Ao estudar a influência da subsolagem e da gradagem na dinâmica de água no perfil de um Latossolo Roxo do Estado de São Paulo, JORGE (1983) encontrou maior retenção de água nos tratamentos que receberam a subsolagem, associada ou não à gradagem. A velocidade de infiltração após 305 horas da saturação, no entanto, foi maior nos tratamentos em que a subsolagem foi seguida da passagem de grades média e pesada, quando comparadas com a testemunha e a subsolagem isolada.

Um Latossolo Amarelo coeso do Recôncavo Baiano foi submetido a tratamentos de subsolagem a 50 e 100 cm de profundidade por NACIF (1994). Observou-se diminuição de compactação, evidenciada pelo aumento da porosidade total e da macroporosidade nos sulcos e entressulcos, e melhoria da dinâmica hídrica no perfil. Esta se refletiu em aumento nos valores de condutividade hidráulica e da infiltração da água no solo, com aumento do armazenamento em virtude das mudanças na relação massa/volume das áreas mobilizadas.

MACHADO (1996) observou redução de densidade e da relação micro/macroporos e aumento do diâmetro médio geométrico dos agregados, da macroporosidade e da porosidade total de um Planossolo em área de várzea, em amostras coletadas após a escarificação com relação ao mesmo solo antes desta operação.

Entretanto, pouco se conhece sobre os efeitos da subsolagem e da escarificação como práticas corriqueiras de preparo do solo, notadamente, quando associada ao trânsito de máquinas agrícolas.

2.4 Modificações Morfológicas Relacionadas ao Aumento de Densidade do Solo

A densidade do solo é uma propriedade diretamente relacionada ao seu estado de agregação, sendo que aumentos na compactação sempre resultarão em diminuições na porosidade total. Entretanto, a porosidade será afetada de maneiras diferentes a depender do diâmetro dos poros.

BEUTLER et al. (2001), ao compararem propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa sob diferentes sistemas de manejo em uso na região de cerrado confirmaram essa relação inversa entre porosidade total e densidade do solo. A macroporosidade sofreu reduções significativas em todos os

tratamentos quando comparados ao cerrado nativo. A microporosidade, no entanto, sofreu acréscimos com relação à condição-padrão considerada.

CINTRA et al (1983) avaliaram o grau de degradação pelo cultivo de um Latossolo Roxo distrófico do planalto rio-grandense submetido a cultivo convencional por mais de 15 anos em sucessão trigo-soja em relação a uma área sob mata. Estes autores puderam observar uma macroporosidade superficial (0-15 cm) duas vezes maior na área de referência considerada e cinco vezes maior em subsuperfície (15-30 cm) quando a densidade do solo variou de $0,86 \text{ g.cm}^{-3}$ para $1,48 \text{ g.cm}^{-3}$ e de $1,11 \text{ g.cm}^{-3}$ para $1,59 \text{ g.cm}^{-3}$ respectivamente.

A distribuição de agregados estáveis em água tende a ser alterada pelo cultivo dos solos pois, segundo CARPENEDO e MIELNICZUK (1990), os agregados maiores são fracionados em unidades menores, mais estáveis e menos afetados pelas práticas de manejo.

Estes mesmos autores puderam constatar estas mudanças na distribuição do tamanho de agregados por meio de um estudo de comparação de sistemas de manejo do solo. Foi testada a influência do preparo convencional e plantio direto com sucessão trigo e soja, preparo reduzido com rotação de trigo, soja, tremoço, milho e aveia, pastagem com siratro, desmódio e setária, campo e mato nativos sobre a agregação de dois solos, Latossolo Roxo distrófico, e Latossolo Roxo álico, ambos de textura argilosa. Observou-se que campo e mato nativos apresentaram maiores valores de diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados com relação ao sistema convencional. Verificou-se em ambos os solos, que os agregados maiores que 2,0 mm foram fracionados pelo cultivo convencional, para agregados com diâmetro compreendido pelas classes 2,0-1,0 e 1,0-0,5 mm. O DMP dos agregados do Latossolo Roxo álico apresentou boa correlação com o teor de matéria orgânica.

As mudanças estruturais induzidas pelo manejo em Latossolo argiloso e de textura média sob cerrado também foram estudados por NEUFELDT et al (1999). O solo argiloso apresentou maior macro-agregação (diâmetro $> 0,250\text{mm}$) que o solo de textura média. Em comparação ao cerrado nativo, os solos sob rotação soja-milho em sistema convencional apresentaram grande redução na macro-agregação enquanto nas áreas de pastagem e silvicultura essa diminuição foi menor. Esses autores também puderam observar, para ambos os solos, que polissacarídeos foram os mais importantes agentes de agregação.

2.5 Micromorfometria

O estudo do arranjo microscópico de estruturas do solo por técnicas modernas como a observação de seções finas em microscópios óticos com ou sem a utilização de luz polarizada, o uso de microscópio elétrico de transmissão ou de varredura, apresenta-se como importante complementação ao estudo macroscópico do solo (DUCHAUFOR, 1998).

Várias são as aplicações desta técnica na ciência do solo, como estudos de gênese e classificação (SANTOS et al., 1991; DUARTE et al., 1996; NUNES et al., 2000), caracterização de encrostamento superficial (FARIA et al., 1998) e alterações morfológicas provocadas pelo uso e manejo dos solos (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990; CURMI et al., 1994; HARTMANN et al., 1994; SILVA et al., 1998; SCHAEFER et al., 2001),

A aquisição e o processamento de imagens digitais para análises qualitativas e quantitativas de estrutura do solo tem se tornado mais comum nos últimos anos, pela maior acessibilidade aos mecanismos e programas relacionados. Desta forma, diversos autores têm se utilizado de técnicas micromorfométricas em ciência do solo.

A porosidade de um Latossolo Vermelho Amarelo sob diversos sistemas de manejo foi quantificada em amostras indeformadas após impregnação com resina de poliéster e adição de pigmento sensível à luz ultravioleta. As lâminas obtidas a partir dos blocos impregnados foram fotografadas com filme sensível ao UV, as fotos digitalizadas e as imagens convertidas para imagens binárias em preto e branco em que a porção branca correspondia à porosidade. A utilização desta técnica permitiu a separação dos sistemas de acordo com as modificações na macroporosidade do solo. (SCHAEFER et al., 2001)

De forma semelhante CLEMENTE (2001) utilizou-se de técnicas micromorfométricas no estudo da influência do crescimento de raízes de eucalipto sobre a proporção e a orientação de macroporos do solo. Foi observado aumento da compactação do solo em contato com raízes de diâmetro superior a 3,5 cm, com relação ao mesmo solo a uma distância aproximada de 3,0 cm da superfície de contato.

Diferenças na macroporosidade do solo na região da semente de milho em função dos mecanismos de abertura do sulco de semeio e dos elementos compactadores foram observadas por REIS (2003), em um Latossolo Vermelho argiloso. Amostras indeformadas de solo foram retiradas em blocos de 18 x 8 x 8 cm e impregnadas com

resina. Foram feitos cortes sucessivos de 1 cm até que se localizasse a semente: a macroporosidade foi quantificada com o auxílio do aplicativo QUANTIPORO (DPS/UFV).

VIANA et al. (2004) estudaram os efeitos de ciclos de umedecimento e secagem e da redução do tamanho dos agregados por moagem a seco, na estrutura de cinco Latossolos. Técnicas de análise de imagens foram empregadas na quantificação de macroporosidade e no estudo da orientação de poros, permitindo a observação do efeito da moagem e da combinação moagem e ciclos de umedecimento e secagem na mudança do padrão de agregação dos solos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram coletadas amostras de dois sistemas de manejo do solo; uma área de monocultivo de soja em cultivo mínimo (CM) e uma área de rotação soja-algodão, escarificada periodicamente (E), e uma área sob cerrado(C), assumida como referência das condições do solo anteriores ao uso agrícola. O solo foi caracterizado como LATOSSOLO VERMELHO ácrico típico. A textura é Arenó-Argilosa em C e em CM, e Argila em E, de acordo com a classificação textural do Soil Survey Manual com modificações (LEMOS e SANTOS, 1996).

A amostragem das áreas foi realizada em agosto de 2002. A área CM encontrava-se em pousio. A soja, em E, já havia sido colhida e as operações de escarificação e plantio do milho, realizadas em junho. Foram abertas três trincheiras por área com 1 m de profundidade por aproximadamente 1,3 m de largura, transversalmente ao sentido de trabalho do solo pelos implementos. As trincheiras foram dispostas em um triângulo aproximadamente equilátero com cerca de 50 metros de lado. Em todas as áreas a amostragem foi realizada no terço médio das elevações, com declividade de aproximadamente 2 a 3%.

Foram retiradas amostras indeformadas com auxílio de um amostrador tipo Uhland e anéis de PVC de bordas cortantes e volume interno de 50 cm³, em cada uma das profundidades: 10-15; 20-25; 30-35, 40-45 e 50-55 cm.

Nestas amostras foram determinadas a densidade do solo e a microporosidade, esta, utilizando a mesa de tensão. Após secagem, as mesmas amostras foram utilizadas para a determinação da densidade das partículas pelo método do balão volumétrico, calculando-se a porosidade total e a macroporosidade (EMBRAPA, 1997).

Amostras deformadas foram coletadas nas profundidades de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; e 50-60 cm. Parte do volume coletado foi passado pelas peneiras de abertura nominal de 4 mm e 2 mm, sendo reservado o volume que passou pela primeira e foi retido pela segunda para a determinação da estabilidade de agregados por via úmida. A outra parte da amostra foi seca ao ar, destorroada e passada por peneira de abertura nominal de 2 mm, constituindo a TFSA. Nesta foram determinadas a distribuição granulométrica de acordo com RUIZ (2003) e a matéria orgânica pela oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido (EMBRAPA, 1997).

Amostras deformadas da camada de 30 a 40 cm foram submetidas aos ensaios de compactação sob energia Proctor Normal, seguindo a norma NBR 7182 (ABNT, 1986). Os índices de compactação relativa foram calculados com base nos valores de densidade do solo na camada de 30 a 35 cm, assumidos como representativos da densidade da camada de 30 a 40 cm.

Foram coletadas amostras indeformadas em caixas de aproximadamente 7 cm de comprimento por 5 cm de largura e 2 cm de espessura nas profundidades de 10-17; 30-37 e 50-57 cm, em uma trincheira por área em estudo. Na área E foram retiradas duas amostras na profundidade de 10-17 cm, sendo uma dentro do sulco aberto por uma haste do escarificador e outra no espaço formado entre dois sulcos de escarificação e, portanto, não atingida diretamente pela operação na safra 2002/2003. A impregnação com resina de poliéster foi feita de acordo com CASTRO (1985). Após o endurecimento da resina foi efetuado o corte das amostras e procedeu-se à confecção de seções finas. As lâminas foram fotografadas em Lupa Olympus SZH com 15x de ampliação sob luz plana. As fotografias, obtidas com filme Fujifilm Quality 100ASA foram digitalizadas por meio de um scanner HP Scanjet 4C e salvas no formato Windows BITMAP.

As imagens foram processadas com o auxílio do aplicativo QUANTIPORO desenvolvido no Departamento de Solos - UFV (FERNANDES FILHO et al., 2001) e foram obtidos os valores de macroporosidade em proporção por área.

A resistência à penetração vertical foi determinada em agosto de 2003. As operações de destoca e preparo do solo para o plantio subsequente ainda não haviam sido realizadas. Foi utilizado um penetrômetro de impacto, modelo IAA/PLANALSUCAR STOLF, com aferição de 15 pontos por área em Cerrado e Cultivo Mínimo. Na área escarificação o teste foi feito em 15 pontos em cada um dos três seguimentos de área: linha de plantas, entrelinha escolhida para a passagem do pulverizador autopropelido na safra 2002/2003 e entrelinha em que o pulverizador

autopropelido não passou nesta safra. Os dados de resistência obtidos foram transformados para resistência estática por meio da equação $R \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = 5,6 + 6,89N$, deduzida por STOLF (1991) para o modelo de penetrômetro utilizado e convertidos para MPa.

Os dados apresentados constituem-se em médias das três amostras acompanhadas pelo erro padrão da média entre parênteses, com exceção dos dados de resistência à penetração, que são constituídos pela média de 15 aferições por área ou unidade de estudo na área.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Densidade do Solo, Porosidade Total, Macro e Microporosidade

Os resultados de densidade do solo, porosidade total e macro e microporosidade para as áreas em estudo são apresentados graficamente nas Figuras 1 e 2.

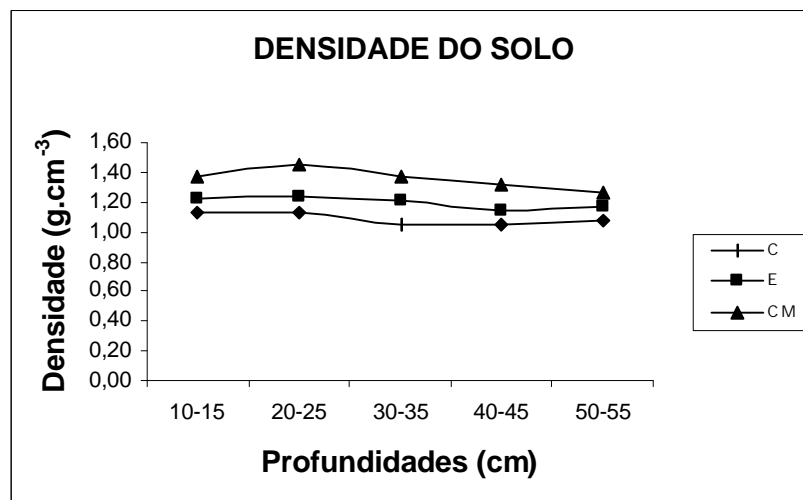


Figura 1 – Densidade do solo nas três áreas em estudo. C: cerrado; E: escarificação; CM: cultivo mínimo.

Observa-se um claro aumento de densidade do solo quando submetido ao uso agrícola, sendo mais acentuado no sistema CM. A profundidade de amostragem realizada neste trabalho permitiu a observação de que o efeito do uso sobre a compactação do solo pode atingir, como no presente caso, profundidades muito maiores do que aquelas usualmente avaliadas em estudos desta natureza. Assim, no sistema E, os valores de densidade só tendem a decrescer a partir da camada de 40 a 45 cm, quando ainda apresenta valores da ordem de 1,1 g.cm⁻³. No cultivo mínimo o perfil de alteração

da compactidade atinge até 55 cm de profundidade, sendo a densidade mais elevada na camada de 20 a 25 cm.

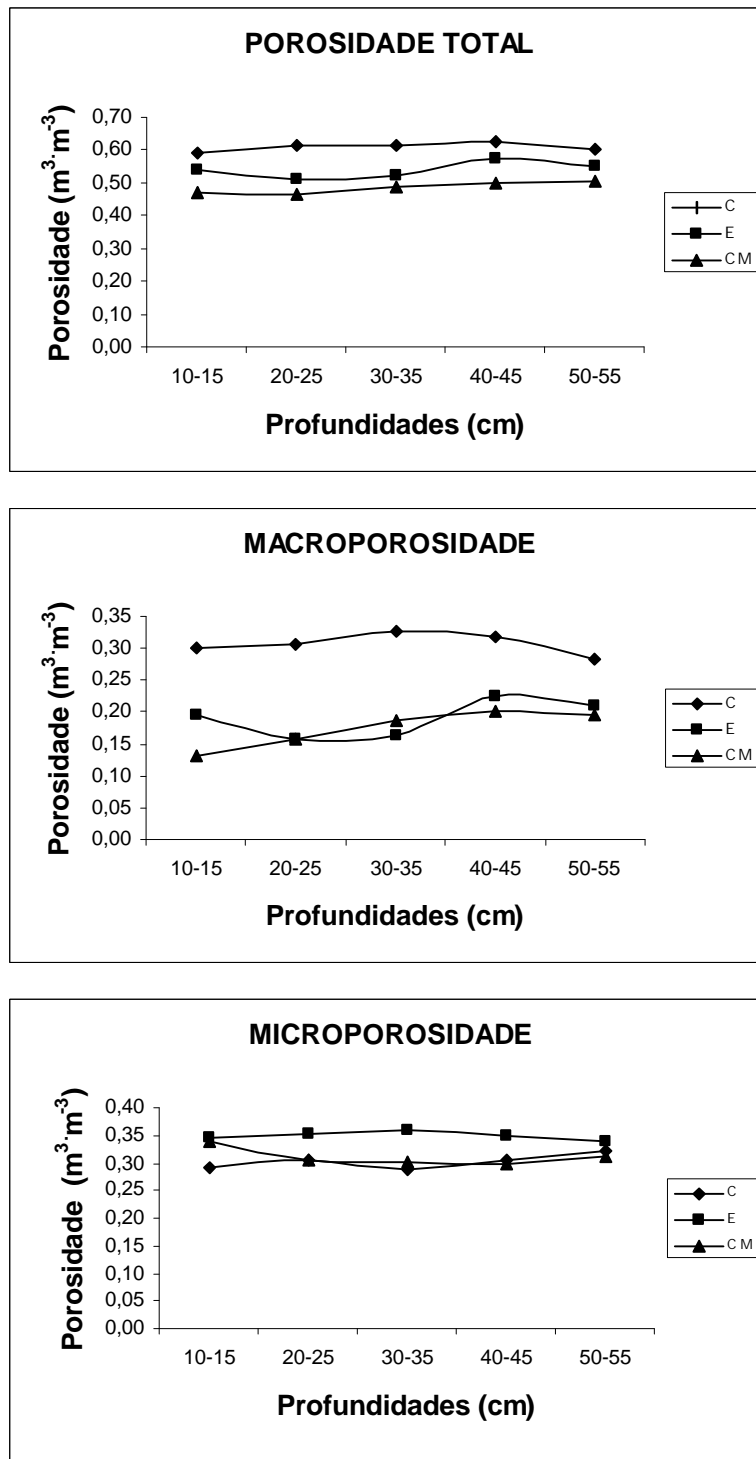


Figura 2 – Porosidade total, macro e microporosidade do solo nas três áreas. C: cerrado; E: escarificação; CM: cultivo mínimo.

O solo sob vegetação original de cerrado apresenta também uma maior porosidade total sendo que esta porosidade tende a se distribuir de forma homogênea

entre em macro e microporosidade. Os sistemas sob cultivo, no entanto, mostram, além de uma perda considerável de porosidade total, uma tendência à concentração do espaço poroso em menores diâmetros, o que resulta em aumento relativo da microporosidade (Figura 2). Este comportamento diferenciado da macro e microporosidade também foi observado por CINTRA et al. (1983), NEUFELDT et al. (1999) e BEUTLER et al. (2001) em solos sob uso agrícola.

A área sob cultivo mínimo tende a apresentar menores porcentagens de porosidade total e macroporosidade e maiores valores de densidade do solo (de até $1,45 \text{ g.cm}^{-3}$) com relação à escarificação. O sistema de manejo parece ter uma influência marcante sobre estes resultados, uma vez que a maior compactação é observada nas camadas superiores, não atingidas pela operação de nivelamento por grade (de 10 a 35 cm).

4.2 Avaliação da Porosidade por Micromorfometria

A porosidade avaliada por análise de imagens em lupa binocular, como observado por CLEMENTE (2001) e SCHAEFER et al. (2001), representa aproximadamente a macroporosidade do solo.

O cerrado apresentou, de forma geral, os maiores valores de macroporosidade com decréscimo em profundidade, mais acentuado na amostra da camada de 30 a 37 cm (Figura 3).

Os dados relativos ao solo sob cultivo mínimo demonstram uma perda acentuada de macroporosidade nas profundidades de 10-17 e 30-37 cm, acompanhando o aumento de densidade observado pelo método do anel volumétrico. O comportamento geral foi semelhante ao cerrado, mas com valores de porosidade menores, exceto na maior profundidade (50-57 cm).

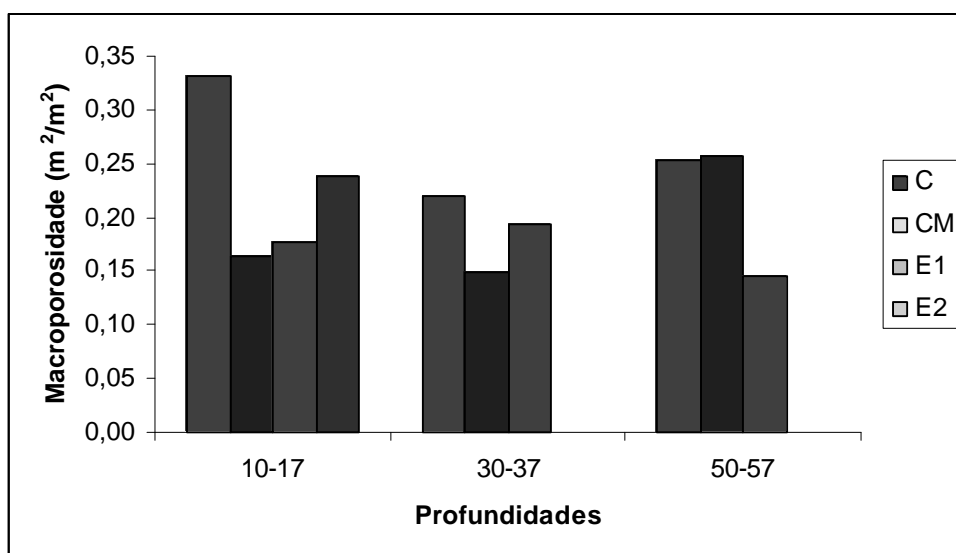


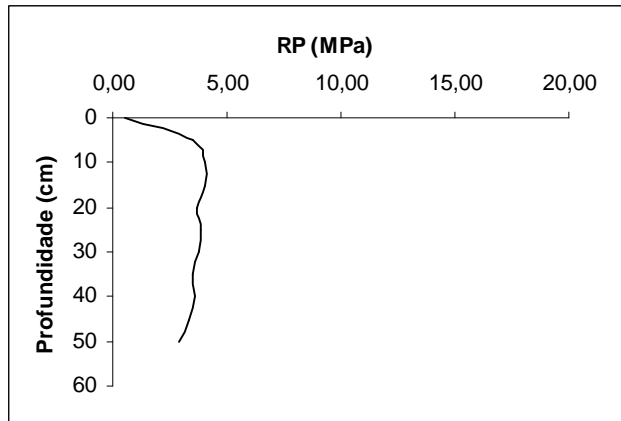
Figura 3 – Macroporosidade do solo obtida por métodos micromorfométricos nas três profundidades. C: cerrado; CM: cultivo mínimo; E1: escarificação; amostra superficial coletada em área não atingida diretamente pelas hastes do escarificador. E2: escarificação; amostra superficial coletada dentro do sulco aberto pelo escarificador.

As amostras retiradas na profundidade de 10 a 17 cm de profundidade no sistema E, dentro e fora do sulco, possibilitaram observar a ação do escarificador no aumento de macroporosidade do solo. O aumento de macroporosidade foi da ordem de 30%, não sendo suficiente, entretanto, para reverter o solo à condição encontrada sob vegetação natural de cerrado. A discreta elevação de macroporosidade na camada de 30 a 37 cm parece refletir, ainda, a ação de desestruturação do escarificador, sendo que em maiores profundidades a macroporosidade tendeu a diminuir ainda mais.

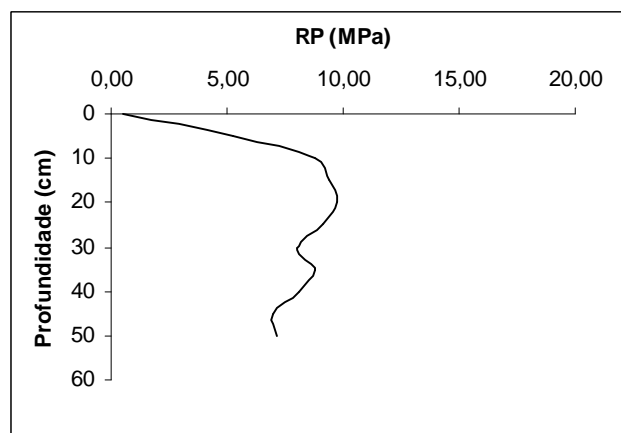
4.3 Resistência à Penetração

Os dados de resistência à penetração do solo nas três áreas são mostrados na Figura 4. A disparidade de umidades nas áreas no momento de realização dos testes limita a utilização dos valores aferidos de forma absoluta. Entretanto estes dados descrevem, de forma mais clara que a densidade do solo e a porosidade, o perfil de modificações na compactação do solo na profundidade de 0 a 50 cm, devido à sua característica de continuidade espacial.

1. Cerrado



2. Cultivo Mínimo



3. Escarificação

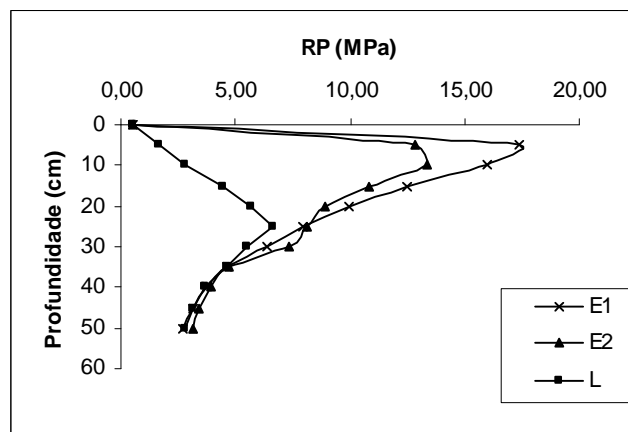


Figura 4 – Resistência à penetração do solo nas áreas Cerrado, Cultivo Mínimo e Escarificação E1: entrelinha de passagem do pulverizador autopropelido; E2: entrelinha em que o pulverizador autopropelido não passou; L: linha de plantas. Umidade Gravimétrica média na camada de 30 a 40 cm: Cerrado ($0,17 \text{ kg.kg}^{-1}$); Escarificação ($0,13 \text{ kg.kg}^{-1}$) e Cultivo Mínimo ($0,06 \text{ kg.kg}^{-1}$).

A atividade de nivelamento mecânico modifica o arranjo estrutural nos cinco a sete primeiros centímetros do solo sob cultivo mínimo. A partir desta camada, o solo apresenta-se consideravelmente mais coeso, como pode ser observado na Figura 4.2. A

modificação na compacidade permanece, então, quase constante até 45 cm de profundidade, quando o solo tende a reassumir seu estado natural de agregação.

O aumento de compacidade na área E mostrou-se mais pronunciado. A Figura 4.3 mostra os dados aferidos em entrelinhas selecionadas e não selecionadas para o trânsito do pulverizador autopropelido no último ciclo da cultura do algodão (safra 2002/2003). Além do evidente aumento de resistência do solo à penetração na camada de 0 a 15 cm de profundidade, observa-se que o solo somente tende a apresentar um comportamento semelhante à área sob cerrado abaixo de 40 cm.

O efeito da escarificação sobre o solo é evidenciado pela Figura 4.3L, demonstrando que o fissuramento atinge uma camada apenas superficial, o que tem levado à formação de uma camada subsuperficial fortemente modificada.

4.4 Estabilidade de Agregados

O efeito dos diferentes usos sobre o solo foi analisado quanto ao estado de agregação, expresso com base no diâmetro médio ponderado (DMP).

Na Figura 5 estão representados os resultados de DMP nas três áreas, por profundidade. De uma forma geral pode-se observar uma diminuição do DMP em profundidade nas três áreas, no mesmo sentido da diminuição nos teores da matéria orgânica (Quadro 1).

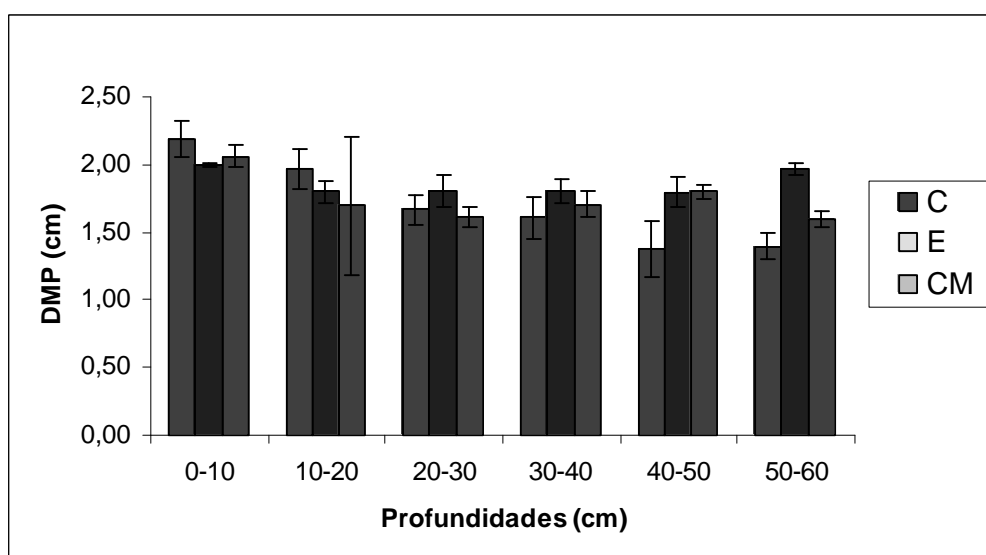


Figura 5 - Diâmetro médio ponderado dos agregados estáveis em água nas três áreas. C: cerrado; E: escarificação; CM: cultivo mínimo.

A diminuição do DMP tende à linearidade na área de referência sobre cerrado (C). Na área sob cultivo mínimo observa-se uma diminuição do DMP em

subsuperfície (10 a 30 cm) com acréscimo na camada de 30 a 60 cm em que os teores de matéria orgânica são ligeiramente superiores (Quadro 1).

Quadro 1 – Frações granulométricas e matéria orgânica solo na três áreas

Prof	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	MO ⁽¹⁾
cm	g.kg ⁻¹				
CERRADO					
0-10	323 (± 8)	154 (± 1)	27 (± 7)	424 (±14)	51,0 (±11,29)
10-20	306 (± 4)	155 (± 4)	33 (± 3)	426 (± 7)	31,9 (± 3,63)
20-30	281 (± 5)	153 (± 9)	25 (± 3)	448 (± 9)	32,4 (± 1,23)
30-40	276 (± 2)	139 (± 8)	22 (± 1)	472 (±14)	22,0 (± 3,70)
40-50	243 (± 8)	146 (± 2)	28 (± 3)	493 (±10)	21,6 (± 1,67)
50-60	242 (± 3)	134 (± 4)	25 (± 5)	506 (± 4)	18,2 (± 2,29)
ESCARIFICAÇÃO					
0-10	289 (± 8)	118 (± 7)	24 (± 3)	504 (± 9)	31,1 (± 2,14)
10-20	272 (±11)	124 (± 4)	26 (±10)	518 (± 7)	27,8 (± 3,33)
20-30	270 (± 5)	119 (± 3)	25 (± 2)	516 (± 4)	31,5 (± 4,68)
30-40	247 (±18)	112 (± 6)	32 (±10)	518 (± 7)	24,5 (± 5,47)
40-50	229 (±11)	116 (± 2)	25 (± 4)	549 (±11)	20,3 (± 2,07)
50-60	216 (±13)	132 (± 6)	25 (± 1)	564 (±13)	19,1 (± 3,54)
CULTIVO MÍNIMO					
0-10	390 (±21)	115 (± 3)	24 (± 6)	405 (± 8)	26,6 (± 6,68)
10-20	372 (±28)	117(±17)	17 (± 3)	430 (±18)	24,9 (± 3,82)
20-30	379 (±39)	121 (± 9)	26 (± 6)	402 (±22)	21,2 (± 1,90)
30-40	370 (±26)	119 (±10)	23 (± 5)	417 (±17)	17,8 (± 3,70)
40-50	371 (±20)	117 (± 2)	30 (± 3)	416 (±16)	21,6 (± 6,66)
50-60	336 (± 9)	106 (± 5)	26 (± 6)	458 (± 7)	34,0 (±13,03)

⁽¹⁾: matéria orgânica do solo

Esta relação entre matéria orgânica e diâmetro médio dos agregados também foi observada por PALADINI e MIELNICZUK (1991), ROTH et al. (1991), SILVA e MIELNICZUK (1997a) e NEUFELDT et al. (1999).

Por outro lado, os resultados de DMP na área submetida à rotação soja-algodão (E), apresentam a mesma tendência de diminuição até a profundidade de 40 a 50 cm para aumentar em 50 a 60 cm. Neste sistema os valores de DMP tendem a serem maiores, mesmo quando comparado com a área sob cerrado nativo. A área E apresenta

teores de matéria orgânica intermediários entre os sistemas não podendo, isoladamente, explicar este aumento de DMP.

SILVA e MIELNICZUK (1991b), em um estudo da agregação em Latossolo Vermelho- Escuro sob diferentes usos, observaram que em áreas sob gramíneas perenes o teor de carbono isolado não era suficiente para explicar acréscimos em agregação observados. PALADINI e MIELNICZUK (1991) observaram que, em áreas sob campo nativo e capim pangola, algum outro fator, além da matéria orgânica, seria responsável pela melhoria na agregação do solo. Segundo estes autores, a ação conjunta da adição de carbono e do sistema radicular da gramínea seriam os responsáveis pela melhoria observada.

Ao estudarem a ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados, SILVA e MIELNICZUK (1991a) também constataram a ação diferenciada de gramíneas perenes (pangola e setária) no processo de agregação. A elevada densidade de raízes dessas plantas e a melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo as ligações entre partículas minerais e agregados, teriam contribuído de forma diferenciada na formação e estabilização dos agregados.

É provável que o milheto, de forma similar ao observado por aqueles autores para as gramíneas perenes, seja responsável pela diferenciação na agregação da área E, embora só seja mantido no campo durante o período de entressafra. O manejo dado à gramínea, de dessecação e tombamento com permanência dos restos culturais no campo, provavelmente tem contribuído para a manutenção dos níveis consideráveis de matéria orgânica observados. A isso se associa a ação direta do sistema radicular abundante e profundo da planta sobre a agregação do solo.

4.5 Curvas de Compactação

Os resultados do ensaio de compactação à energia Proctor Normal estão representados pelas curvas de compactação, que relacionam a densidade do solo à umidade de compactação (Figura 6). Maiores valores de densidade foram alcançados com o aumento da umidade até que se atingiu um valor máximo, ou crítico, a partir do qual o incremento de umidade passou a ter um efeito inverso ao observado até então.

Resultados semelhantes foram alcançados por ZAMBRANA (1994), FIGUEIREDO (1998) e DIAS JÚNIOR e MIRANDA, (2000).

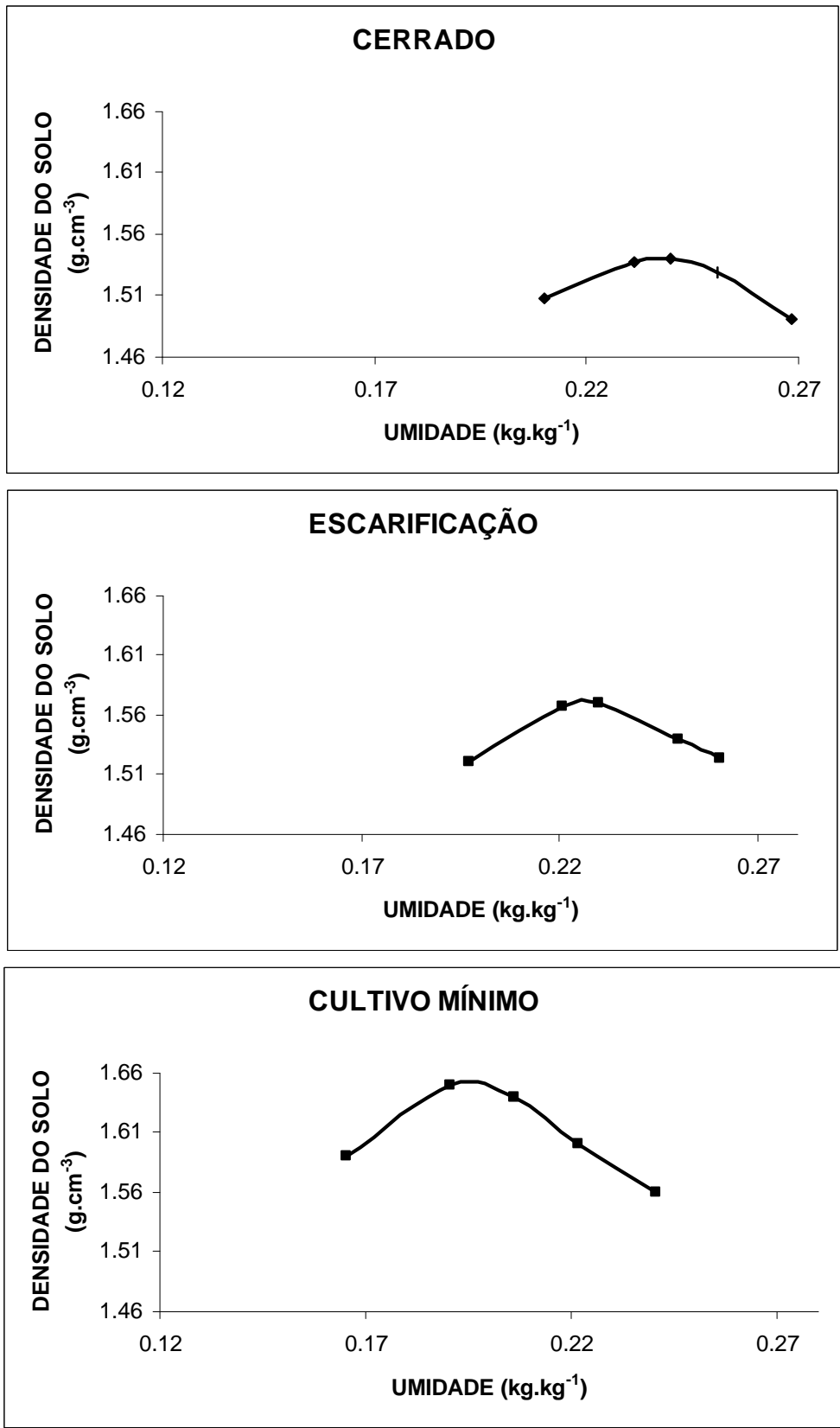


Figura 6 – Curvas de Compactação na Energia Proctor Normal do solo nas três áreas.

A aplicação de um esforço ao solo aproxima as partículas, que passam a ocupar gradativamente o espaço poroso. Com baixas porcentagens de água o atrito entre grãos dificulta o entrosamento íntimo, porém à medida que o conteúdo de água é elevado a ocupação dos espaços vazios será otimizada até que se atinja uma densidade considerada máxima para aquela energia. Quando a umidade do solo se aproxima da umidade de saturação o espesso filme de água em torno dos grãos, pouco compressível, amortece o esforço sobre a massa de solo (VARGAS, 1977; DIAS JÚNIOR E MIRANDA, 2000).

Pela comparação do solo nas três áreas observa-se que a compactação máxima ocorre a diferentes umidades, sendo maior para o cerrado (0,24 kg.kg⁻¹), seguido pelo sistema escarificação (0,22 kg.kg⁻¹) e cultivo mínimo (0,19 kg.kg⁻¹). As densidades máximas atingidas obedeceram a uma disposição contrária à umidade sendo de 1,54; 1,57 e 1,65 g.cm⁻³ para as áreas C, E e CM, respectivamente.

As diferenças em umidade crítica e densidade máxima dentre as três áreas de uma mesma classe de solos podem ser atribuídas, em parte, às variações em conteúdo de matéria orgânica e argila apresentadas, como observado em trabalhos similares por ZAMBRANA (1994) e DIAS JÚNIOR e MIRANDA (2000).

A área sob cultivo mínimo apresenta, além da menor proporção de argila na camada estudada (0,52 kg.kg⁻¹), um conteúdo de matéria orgânica de 17,8 g.kg⁻¹, cerca de 50% menor que o conteúdo apresentado pela área sob cerrado. Isso pode justificar o maior valor de densidade alcançada em um menor percentual de umidade com relação às demais áreas.

A área sob cerrado apresenta maior conteúdo de matéria orgânica (32 g.kg⁻¹) e proporção intermediária de argila nas frações texturais (0,47 kg.kg⁻¹), enquanto a área sob o sistema de escarificação conta com cerca de 24 g.kg⁻¹ de matéria orgânica para uma proporção de argila em torno de 0,52 kg.kg⁻¹. Os dados gerados pelas curvas de compactação demonstram que, neste caso, a influência do material orgânico como amortecedor e desorganizador das partículas durante o ensaio foi mais expressivo que a diferença textural. Além disso, o histórico de uso das áreas pode ter resultado em modificações na microestruturação, com fragilização dos grânulos tornando-os mais sensíveis ao esforço.

Os índices de compactação relativa (ICRs) calculados para as três áreas foram de 67%, 78% e 83 % para C, E e CM, respectivamente. Considerando-se que a área sob cerrado, tida como referência neste estudo, não esteja compactada na camada de 30 a

40 cm, o valor de 67% significaria a condição ideal, ou mínima para a relação entre as densidades. O índice, desta forma, auxilia na compreensão do significado dos valores de densidade avaliados com relação ao potencial, ou suscetibilidade do solo à compactação. A área sob cultivo mínimo apresenta uma maior suscetibilidade ao aumento de compactação, podendo atingir valores muito altos mesmo a conteúdos de umidade relativamente baixos. Além disso, com base no ICR, observa-se que a densidade atual do solo aproxima-se muito da densidade máxima que este solo pode atingir em condições controladas.

5. CONCLUSÕES

A utilização agrícola do solo alterou o arranjo estrutural, com aumento da densidade e diminuição da porosidade total e da macroporosidade.

A resistência à penetração, apesar da diferença de umidade entre as áreas no momento de realização dos testes, serviu-se muito bem à descrição do perfil de alteração da compactação dos solos com a profundidade. Os dados refletem a dinâmica de rompimento da camada superficial compactada no sistema escarificação e a formação de uma camada subsuperficial não alterada pela ação das hastes do escarificador.

A macroporosidade calculada por métodos de análise de imagens refletiu o aumento de compactação em superfície e na camada de 30 a 37 cm, com reflexos na camada de 50 a 57 cm.

As curvas de compactação seguiram o modelo esperado com valores de densidade do solo máxima de 1,54, 1,57 e 1,65 g.cm⁻³ para o cerrado, escarificação e cultivo mínimo, respectivamente. Os índices de compactação relativa demonstraram adiantado estado de alteração da densidade do solo nos dois sistemas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo**: ensaio de compactação. NBR 7182, 1986. 10 p.
- BARBER, R.G.; HERRERA, C.; DIAZ, O. Compaction status and compaction susceptibility of alluvial soils in Santa Cruz, Bolívia. **Soil & Tillage Research**, 15: 153-167, 1989.
- BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:167-177, 2001.
- BRAUNACK, M.V. e DEXTER, A.R. Soil aggregation in the seedbed: a Review. I Properties of aggregates and beds of aggregates. **Soil & Tillage Research**, 14: 259-279, 1989.
- CAMARGO, O. A. de **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.
- CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **R. Bras. Ci. Solo** 14:99-105, 1990.
- CASTRO, S.S. Impregnação de amostras de solo para confecção de lâmina delgada. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, 10: 44, 1985.

- CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico de um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo** 7:323-327, 1983.
- CLEMENTE, E.P. **Compactação do solo provocada por raízes de Eucalipto**. Viçosa-MG: UFV, 2001. 32 p (Tese de Mestrado)
- COELHO, M.B. **Desarrollo de un modelo del continuo suelo-agua-plantas para el cultivo** Del algodón Córdoba: Universidad de Córdoba, 1998. 163 p. (Tese de Doutorado)
- COSTA, L. M.; ABRAHÃO, W. A. P. Compactação e adensamento de solos relacionados às propriedades químicas, físicas e sedimentológicas. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F.(Eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996.p: 429-443.
- CURMI, P. KERTMAN; QUEIROZ NETO, J.P. Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Eds) **Soil Micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier. 1994. p: 569-580.
- DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C. E. **Tópicos em ciência do solo** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p:55-93.
- DIAS JÚNIOR, M.S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciênc. Agrotec.**, 24: 337-346, 2000.
- DIAS JÚNIOR, M.S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:175-182, 1996.
- DUARTE, M.N.; RAMOS, D.P.; LIMA, P.C. Caracterização e gênese de solo desenvolvido de cobertura quaternária sobre embasamento cristalino, na Baixada Litorânea do Estado do Rio de Janeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, 20: 291-304. 1996.

- DUCHAUFOR, P. **Handbook of Pedology: Soils, Vegetation, Environment.** Rotterdam, Netherlands: Balkema. 1998. 264 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 1997. 212 p.
- FARIA, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.; RUIZ, H.A.; COSTA, L.M. Effects of weed control on physical and micromorphological properties of a Brazilian Ultisol. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:731-741, 1998.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M. Efeito das rodas do trator em propriedades físicas de dois solos. **Revista Ceres**, 34: 562-568, 1987.
- FERNANDES FILHO, E.I.; VIANA, J.H.M. QUANTIPORO: um novo programa para tratamento e quantificação de imagens digitais para aplicações em ciência do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28, Londrina, 2001. **Resumos.** Londrina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2001. p. 224.
- FIGUEIREDO, L.H.A. **Propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo.** Lavras: UFLA, 1998. 68 p. (Tese de Mestrado).
- GROHMANN, F. Compacidade. In: MONIZ, A. C. (Coord) **Elementos de Pedologia.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. p 93-99.
- HARTMAN, C.; TESSIER, D.; PÉDRO, G. Changes in sandy Oxisols microfabric after mechanical up-rooting of an oil palm plantation. In: RINGROSE-VOASE, A.J.; HUMPHREYS, G.S. (Eds) **Soil Micromorphology: Studies in Management and Genesis.** Amsterdam: Elsevier. 1994. p: 687-696.
- JORGE, J.A. **Influência da subsolagem e gradagem do solo na dinâmica da água no perfil.** Piracicaba: ESALQ-USP, 1983. 64 p. (Tese de Doutorado)
- LEMO, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 2 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa-CNPq, 1996. 84 p.

- MACHADO, R.L.T.; TURATTI, A.L.; MACHADO, A.L.T.; ALONÇO, A.S.; REIS, A.V. Estudo dos parâmetros físicos em solo e várzea, antes e após escarificação. **Rev. Bras. de Agrociência**, 3:175-178, 1996.
- MANTOVANI, E Compactação do solo. **Informe Agropecuário** 13 (147): 52-55, 1987.
- MALTONI, K. L. **Estudo de compactação e/ou adensamento em subsuperfície de Latossolos sob diferentes usos**. Viçosa: UFV, 1994.139 p (Tese de Doutorado)
- MIELNICZUK, J. Desenvolvimento de raízes como método de avaliação das práticas de manejo do solo. In: CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. (Eds) **Manejo Integrado de solos em Microbacias Hidrográficas**. Londrina: IAPAR, SBCS, 1996. p: 219-225.
- NACIF, P.G.S. **Efeitos da subsolagem em propriedades físico-hídricas de um Latossolo Amarelo álico coeso, representativo do Recôncavo Baiano**. Viçosa: UFV, 1994. 75 p. (Tese de Mestrado)
- NEUFELDT, H.; AYARZA, M.A.; RESCK, D.V.S.; ZECH, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Oxisols of the Brazilian Cerrados In: **Sustainable Land Management for the Oxisols of the Latin America Savannas: dynamics of soil organic matter and indicators of soil quality**. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1999. 231p.
- NUNES, W.A.G.A.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; FERNANDES FILHO, E.I. Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. **R. Bras. Ci. Solo**, 24: 103-115, 2000.
- PALADINI, F. C. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um Podzólico Vermelho escuro afetado por sistemas de culturas. **R. bras. Ci. Solo**, 15:135-140. 1991.
- PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 2 ed São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 355 p.

- REIS, E.F. Ambiente solo-semente em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO com diferentes mecanismos rompedores e compactadores de uma semeadora de plantio direto na cultura do milho. Viçosa-MG: UFV, 2003. 66 p. (Tese de Doutorado)
- ROTH, C.H.; CASTRO FILHO, C. de; MEDEIROS, G. B. de Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a aeração de um Latossolo Roxo distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, 15:241-248, 1991.
- RUIZ, H.A. **Métodos de Análises Físicas de Solo**. UFV/DPS, 2003. 22 p. Não publicado.
- RUIZ, H.A.; FERREIRA, G.B.; PEREIRA, J.B.M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **R. bras. Ci. Solo**, 27:389-393, 2003.
- SANTOS, M.C.D.; MERMUT, A.R.; RIBEIRO, M.R. Micromorfologia de solos com argila de atividade baixa no sertão de Pernambuco. **R. Bras. Ci. Solo** 15: 83-91, 1991.
- SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25: 765-769. 2001.
- SIDIRAS, N. & VIEIRA, M.J. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico, compactado pelas rodas do trator na semeadura. **Pesq. Agropec. Bras**, 19: 1285-1293. 1984.
- SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 10: 91-95, 1986.
- SILVA, A.J.N.; RIBEIRO, M.R.; MERMUT, A.R.; BENKE, M.B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em Latossolos Amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedades micromorfológicas. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:515-525, 1998.

- SILVA, F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 21:113-117. 1997a.
- SILVA, F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **R. Bras. Ci. Solo**. 21: 313-319-117. 1997b.
- SILVEIRA, G.M. **Preparo do Solo: Técnicas e Implementos**. Viçosa-MG: Aprenda Fácil, 2001. 292 p.
- SOEHNE, W. Fundamental of pressure distribution and soil compaction under tractor tires. **Agricultural Engineering**, 39: 276-281. 1958.
- STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 15: 229-235, 1991.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **R. Bras. Ci. Solo**, 25:725-730, 2001.
- VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977. 509 p.
- VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO, E.I.; SCHAEFER, C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **R. Bras. Ci. Solo**, 28: 11-19, 2004.
- ZAMBRANA, M.O.D. **Efeito da compactação sobre propriedades físicas de três materiais de solo e sobre o crescimento das raízes de soja e caupi**. Viçosa: UFV, 1994. 58 p. (Tese de Mestrado)

APÊNDICE

Quadro 1 – Densidade do Solo (D_s), Densidade das Partículas (D_p), Porosidade Total, Macro e Microporosidade do Solo nas três áreas estudadas.

<i>Prof</i>	<i>D_s</i> g.cm ⁻³	<i>D_p</i>	<i>PT</i>	<i>Macro</i> m ³ .m ⁻³	<i>Micro</i>
CERRADO					
10-15	1,12 (±0,02)	2,78 (±0,05)	0,60 (±0,01)	0,31 (±0,03)	0,29 (±0,02)
20-25	1,13 (±0,03)	2,78 (±0,03)	0,59 (±0,01)	0,29 (±0,01)	0,31 (±0,00)
30-35	1,04 (±0,03)	2,77 (±0,10)	0,62 (±0,03)	0,33 (±0,05)	0,29 (±0,02)
40-45	1,05 (±0,02)	2,82 (±0,09)	0,63 (±0,02)	0,32 (±0,02)	0,31 (±0,01)
50-55	1,08 (±0,02)	2,76 (±0,06)	0,61 (±0,01)	0,29 (±0,01)	0,32 (±0,01)
ESCARIFICAÇÃO					
10-15	1,22 (±0,09)	2,65 (±0,00)	0,54 (±0,03)	0,19 (±0,06)	0,35 (±0,03)
20-25	1,23 (±0,03)	2,52 (±0,06)	0,51 (±0,02)	0,16 (±0,02)	0,35 (±0,01)
30-35	1,22 (±0,00)	2,56 (±0,07)	0,52 (±0,01)	0,16 (±0,03)	0,36 (±0,01)
40-45	1,15 (±0,02)	2,68 (±0,02)	0,57 (±0,00)	0,22 (±0,02)	0,35 (±0,02)
50-55	1,16 (±0,07)	2,58 (±0,03)	0,55 (±0,03)	0,21 (±0,05)	0,34 (±0,01)
CULTIVO MÍNIMO					
10-15	1,37 (±0,04)	2,60 (±0,03)	0,47 (±0,02)	0,13 (±0,01)	0,34 (±0,01)
20-25	1,45 (±0,03)	2,70 (±0,07)	0,46 (±0,00)	0,16 (±0,01)	0,31 (±0,01)
30-35	1,37 (±0,03)	2,68 (±0,03)	0,49 (±0,01)	0,19 (±0,02)	0,30 (±0,01)
40-45	1,32 (±0,01)	2,64 (±0,03)	0,50 (±0,01)	0,20 (±0,02)	0,30 (±0,01)
50-55	1,26 (±0,03)	2,56 (±0,03)	0,51 (±0,02)	0,20 (±0,02)	0,31 (±0,01)

Quadro 2 – Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e Diâmetro Médio Geométrico (DMG) dos agregados do solo nas três áreas.

<i>Prof</i>	<i>DMP</i>	<i>DMG</i>
	mm	
CERRADO		
0-10	2,19 (±0,13)	1,25 (±0,11)
10-20	1,96 (±0,14)	1,12 (±0,09)
20-30	1,67 (±0,11)	0,98 (±0,05)
30-40	1,61 (±0,16)	0,95 (±0,07)
40-50	1,38 (±0,21)	0,87 (±0,07)
50-60	1,40 (±0,10)	0,88 (±0,04)
EESCARIFICAÇÃO		
0-10	2,00 (±0,02)	1,01 (±0,01)
10-20	1,80 (±0,08)	0,89 (±0,05)
20-30	1,81 (±0,12)	0,94 (±0,07)
30-40	1,81 (±0,09)	0,87 (±0,10)
40-50	1,80 (±0,11)	0,90 (±0,06)
50-60	1,97 (±0,05)	1,07 (±0,03)
CULTIVO MÍNIMO		
0-10	2,06 (±0,08)	1,06 (±0,05)
10-20	1,41 (±0,13)	0,78 (±0,05)
20-30	1,61 (±0,15)	0,78 (±0,08)
30-40	1,70 (±0,09)	0,84 (±0,04)
40-50	1,80 (±0,05)	0,91 (±0,02)
50-60	1,59 (±0,06)	0,81 (±0,02)

Foto 1 – Raízes de algodão deformadas desenvolvidas na área sob o Sistema Escarificação.

