



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**OCUPAÇÃO DAS TERRAS E INDICADORES DE  
QUALIDADE DOS SOLOS NA MICROBACIA DO  
RIBEIRÃO EXTREMA, DISTRITO FEDERAL.**

**WENDEL NEIVA MARTINS LAGO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

BRASÍLIA/DF  
MARÇO/2011

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**OCUPAÇÃO DAS TERRAS E INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS NA  
MICROBACIA DO RIBEIRÃO EXTREMA, DISTRITO FEDERAL.**

**WENDEL NEIVA MARTINS LAGO**

**ORIENTADORA: MARILUSA PINTO COELHO LACERDA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 26/2011**

**BRASÍLIA/DF**  
**MARÇO/2011**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**OCUPAÇÃO DAS TERRAS E INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS NA  
MICROBACIA DO RIBEIRÃO EXTREMA, DISTRITO FEDERAL.**

**WENDEL NEIVA MARTINS LAGO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA À FACULDADE DE AGRONOMIA  
E MEDICINA VETERINÁRIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
AGRONOMIA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE DISCIPLINAS DE GESTÃO  
DO SOLO, ÁGUA E QUALIDADE AMBIENTAL.**

**APROVADA POR:**

---

**MARILUSA PINTO COELHO LACERDA, Doutora, Professora Associada I / FAV-  
UnB (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília)  
ORIENTADORA – CPF: 434.760.586-20 / e-mail: marilusa@unb.br**

---

**TAIRONE PAIVA LEÃO, Ph.D, Professor Adjunto I / FAV-UnB  
(Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília)  
EXAMINADOR INTERNO – CPF: 713.262.271-49 / e-mail: tleao@unb.br**

---

**MARCOS AURÉLIO CAROLINO DE SÁ, Doutor, Pesquisador / EMBRAPA-CPAC  
(Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesq. Agropec. do Cerrado)  
EXAMINADOR EXTERNO – CPF: 157.404.258-08 /e-mail: carolino@cpac.embrapa.br**

**BRASÍLIA/DF, 25 de março de 2011.**

L177o Lago, Wendel Neiva Martins.  
Ocupação das terras e indicadores de qualidade dos solos na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal / Wendel Neiva Martins Lago. -- 2011.  
xv, 125 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2011.  
Orientação: Marilusa Pinto Coelho Lacerda.  
Inclui bibliografia.

1. Solo - Uso - Distrito Federal (Brasil). 2. Solos - Qualidade. 3. Sistemas de informação geográfica. 4. Sensoriamento remoto. I. Lacerda, Marilusa Pinto Coelho. II. Título.

CDU 631.43

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LAGO, W. N. M. Ocupação das terras e indicadores de qualidade dos solos na microbacia do ribeirão Extrema, Distrito Federal. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2011, 125 p. Dissertação de Mestrado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wendel Neiva Martins Lago

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Ocupação das terras e indicadores de qualidade dos solos na microbacia do ribeirão Extrema, Distrito Federal.

GRAU: Mestre / ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias dessa dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva-se a outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

## Wendel Neiva Martins Lago

CPF: 702.682.401-59

Tel: (061) 9165 4320

E-mail: wendel\_lg@hotmail.com

***Aos Engenheiros Agrônomos brasileiros,***

*Que, tais quais destemidos guerreiros, lutam na tênue, sensível e não menos polêmica linha entre a produção agropecuária e a preservação dos recursos naturais.*

*A todos estes profissionais que incansavelmente se empenham na busca pelo equilíbrio entre o crescimento populacional e a produção de alimentos, nas mesmas proporções em que erguem-se como guardiões da sustentabilidade ambiental.*

*A estes agentes fundamentais nos processos de manutenção da qualidade e da segurança alimentar dos cidadãos brasileiros. Inclusive a dos pseudo-ecologistas, que condenam a atuação destes nobres profissionais.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus, por sustentar e guiar meus passos. Por mansamente proferir em meio às tempestades: “*Não temas filho, Eu sou contigo*”. Por sua infinita misericórdia e bondade. Por me cercar de anjos. Por me cercar de amigos. Pelos dons e talentos a mim concedidos. Ao Senhor dos Exércitos: Toda Honra, Glória e Poder. YAVEH EL ELION NORAH!

À Professora Dra. Marilusa Lacerda pela orientação, incentivo e confiança em mim depositada para realização do projeto. Pelos valiosos ensinamentos técnico-científicos e pelos belos exemplos de coragem, superação e dedicação que levarei comigo por toda vida.

À Professora Marina Bilich, amiga sábia e serena, pelos conselhos e apoio técnico. Pela disposição e boa vontade em contribuir com todas as fases da pesquisa.

Ao Professor Dr. Tairone Leão, pelo apoio e orientação nos ensaios estatísticos.

Ao Dr. André Sousa, pelas dicas e auxílio em operações em ambiente SIG.

Aos prezados amigos dos Laboratórios de Geoprocessamento, Física do Solo e Biologia do Solo: Ana Paula Boschini, Fabiana Fonseca, Ana Catarina Lima, Renan Luís Rolim, Carolina Boechat, Taís Duarte e Patrícia Araújo, por toda assistência nos trabalhos de campo, ensaios laboratoriais e de geoprocessamento. Pelos momentos de descontração e encorajamento, mesmo sob escaldante sol, durante as coletas em campo experimental.

Ao Sr. Tuca, proprietário das áreas avaliadas, por gentilmente contribuir com informações e permitir que se cumprissem as coletas de campo.

À minha mãe Girlene Neiva, por demonstrar-me, desde muito cedo, a importância de uma formação acadêmica sólida e pautada em princípios de honestidade e persistência. Dizia: “*O estudo ninguém lhe toma. Vão-se os bens materiais, mas seus estudos e seus princípios lhe acompanharão por toda a vida...*”.

À minha amada irmã Lidiane Neiva, pelos claros exemplos de coragem e determinação. Pelo carinho e incontáveis momentos de alegria e descontração.

À querida prima Caroline Neiva, incondicionalmente solidária e presente, amiga fiel de todas as horas, referência de bondade e mansidão.

Aos queridos tios Edna e Jorge Pantaleão – exemplos de solidariedade, caráter e amor ao próximo – minha eterna gratidão.

Às amadas e verdadeiras amigas Verusca e Regina Couto – exemplos de força, ética e caráter –, por todo carinho, paciência e valiosos conselhos, sempre alicerçados na Palavra de Deus.

À querida amiga Luciana Queiróz, franca e ousada, por sua contagiante alegria, pelo carinho e cuidado com que zela por mim e pela nossa amizade.

Meu muito obrigado a vocês, tesouros bem guardados em meu coração, sem os quais meu caminho não teria o mesmo significado e que, de uma forma especial, contribuíram direta ou indiretamente com a execução do presente trabalho.

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO GERAL .....</b>	<b>Página</b>
<b>I – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>II – REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>03</b>
II.1 – Qualidade dos Solos .....	03
II.1.1 – Indicadores de Qualidade dos Solos .....	07
II.1.1.1 – Densidade do Solo .....	10
II.1.1.2 – Estabilidade de Agregados .....	12
II.1.1.2.1 – Grau de Floculação.....	14
II.1.1.3 – Matéria Orgânica .....	14
II.1.1.4 – Capacidade de Troca Catiônica .....	16
II.1.1.5 – Carbono da Biomassa Microbiana.....	17
II.1.1.6 – Respiração Basal Microbiana .....	19
II.1.2 – Variabilidade Espacial de Indicadores da Qualidade do Solo .....	21
II.2 – Sistema de Aptidão Agrícola das Terras.....	22
II.3 – Qualidade dos Solos e Ocupação das Terras.....	26
II.4 – Geoprocessamento.....	28
II.4.1 – Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas .....	28
II.4.2 – Avaliação da Ocupação das Terras .....	30
II.4.3 – Satélite LANDSAT .....	31
II.5 – Geoestatística .....	32
II.5.1 – <i>Software Surfer</i> <sup>®</sup> .....	33
<b>III – OBJETIVOS .....</b>	<b>35</b>
III.1 – Objetivo Geral.....	35
III.2 – Objetivos Específicos .....	35
<b>IV – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO ÚNICO.....</b>	<b>Página</b>
I – INTRODUÇÃO .....	55
II – MATERIAL E MÉTODOS .....	58
II.1 – Caracterização da Área de Estudo.....	58
II.2 – Uso e Ocupação das Terras da Microbacia do Ribeirão Extrema.....	64
II.3 – Indicadores da Qualidade do Solo (QS) .....	67
II.3.1 – Descrição e Histórico das Áreas de Estudo dos Indicadores de QS .....	67
II.3.2 – Classificação dos Solos das Áreas de Estudo dos Indicadores de QS .....	69
II.3.3 – Atributos de Qualidade do Solo.....	70
II.3.3.1 – Atributos Físicos.....	71
II.3.3.2 – Atributos Químicos.....	71
II.3.3.3 – Atributos Biológicos.....	72
II.3.4 – Análises Estatísticas dos Atributos de Qualidade do Solo .....	73
II.3.5 – Distribuição Espacial dos Atributos de Qualidade do Solo.....	73
III – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74
III.1 – Uso e Ocupação das Terras na Microbacia do Ribeirão Extrema.....	74
III.2 – Adequação do Uso e Ocupação das Terras da Microbacia do Ribeirão Extrema.....	77
III.3 – Indicadores de Qualidade do Solo (QS).....	84
III.3.1 – Classificação dos Solos das Áreas de Estudo dos Indicadores de QS .....	84
III.3.2 – Avaliação Estatística dos Atributos de QS Estudados.....	88
III.3.3 – Atributos de Físicos de QS.....	89
III.3.3.1 – Distribuição Espacial dos Atributos GF e Ds nas Áreas I e II .....	94
III.3.4 – Atributos de Químicos de QS.....	100
III.3.4.1 – Distribuição Espacial dos Atributos CTC e MO nas Áreas I e II .....	104
III.3.5 – Atributos de Biológicos de QS .....	110
III.3.6 – Relações entre os Atributos de QS Avaliados.....	114
IV – CONCLUSÕES .....	115
V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	116

## ÍNDICE DE TABELAS

### CAPÍTULO GERAL..... Página

<b>Tabela 1</b> – Proposta de conjunto mínimo de indicadores ou atributos para avaliar a qualidade do solo sob uso agrícola e de seus valores ou níveis de sustentabilidade, determinados na camada superficial de Latossolos tropicais.....	10
--	----

### CAPÍTULO ÚNICO..... Página

<b>Tabela 1</b> – Quantificação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	74
--	----

<b>Tabela 2</b> – Quantificação do uso e ocupação conforme a aptidão agrícola das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	79
--	----

<b>Tabela 3</b> – Quantificação da adequação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	82
---	----

<b>Tabela 4</b> – Atributos morfológicos (cor e estrutura) e químicos (pH, Acidez Potencial (H+Al), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V) e Saturação por Alumínio (m)) do solo da Área I.....	84
---	----

<b>Tabela 5</b> – Atributos morfológicos (cor e estrutura do solo) e químicos (pH, Acidez Potencial (H+Al), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V) e Saturação por Alumínio (m)) do solo da Área II.....	85
--	----

<b>Tabela 6</b> – Frações granulométricas e Classe Textural dos Latossolos Vermelhos da Área I.....	87
---	----

<b>Tabela 7</b> – Frações granulométricas e Classe Textural dos Latossolos Vermelhos da Área II.....	88
--	----

<b>Tabela 8</b> – Valores de Grau de Flocculação das Áreas I e II estudadas.....	89
--	----

<b>Tabela 9</b> – Valores de Densidade do solo das Áreas I e II estudadas.....	89
<b>Tabela 10</b> – Resumo da ANOVA para os atributos de QS avaliados.....	90
<b>Tabela 11</b> – Valores médios dos atributos físicos de QS das Áreas I e II estudadas.....	91
<b>Tabela 12</b> – Valores médios dos atributos físicos de QS das Áreas I e II nas profundidades estudadas.....	91
<b>Tabela 13</b> – Capacidade de Troca Catiônica das Áreas I e II estudadas.....	100
<b>Tabela 14</b> – Valores médios dos atributos químicos de QS das Áreas I e II estudadas.....	100
<b>Tabela 15</b> – Valores médios dos atributos químicos de QS das Áreas I e II nas profundidades estudadas.....	101
<b>Tabela 16</b> – Teor de Matéria Orgânica das Áreas I e II estudadas.....	102
<b>Tabela 17</b> – Respiração Basal Microbiana das Áreas I e II estudadas.....	110
<b>Tabela 18</b> – Carbono da Biomassa Microbiana das Áreas I e II estudadas.....	111
<b>Tabela 19</b> – Valores médios dos atributos biológicos de QS das Áreas I e II estudadas.....	112
<b>Tabela 20</b> – Valores médios dos atributos biológicos de QS das Áreas I e II nas profundidades estudadas.....	112
<b>Tabela 21</b> – Matriz de correlações de Pearson para os atributos de QS avaliados.....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO GERAL.....</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> – Alternativas de utilização das terras de acordo com grupos de aptidão agrícola.....	25
<b>Figura 2</b> – Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.....	26
<b>CAPÍTULO ÚNICO.....</b>	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> – Imagem orbital <i>LANDSAT- TM5</i> (Junho/2010) da microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	60
<b>Figura 2</b> – Mapa de classes de solos da microbacia do ribeirão Extrema/DF (Embrapa, 1978).....	62
<b>Figura 3</b> – Mapa de aptidão agrícola das terras da microbacia do ribeirão Extrema/DF (Ramalho Filho e Beek, 1995).....	63
<b>Figura 4</b> – Área I, localizada na microbacia do ribeirão Extrema/DF, sob plantio direto de milho, pós-colheita (Lago, W. N. M., maio / 2010).....	68
<b>Figura 5</b> – Área II, localizada na microbacia do ribeirão Extrema/DF, sob plantio direto de sorgo, seqüencial ao plantio de feijão, pós-colheita (Lago, W. N. M., maio / 2010).....	68
<b>Figura 6</b> – Esquema de amostragem nas áreas de estudo na microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	70
<b>Figura 7</b> – Mapa de uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF (Junho/2010).....	75

<b>Figura 8</b> – Mapa de adequação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.....	78
<b>Figura 09</b> – Mapas da distribuição espacial do Grau de Floculação do solo na Área I.....	95
<b>Figura 10</b> – Mapas da distribuição espacial do Grau de Floculação do solo na Área II.....	96
<b>Figura 11</b> – Mapas da distribuição espacial da Densidade do solo na Área I.....	98
<b>Figura 12</b> – Mapas da distribuição espacial da Densidade do solo na Área II.....	99
<b>Figura 13</b> – Mapas da distribuição espacial da Capacidade de Troca Catiônica do solo na Área I.....	105
<b>Figura 14</b> – Mapas da distribuição espacial da Capacidade de Troca Catiônica do solo na Área II.....	106
<b>Figura 15</b> – Mapas da distribuição espacial da Matéria Orgânica do solo na Área I.....	108
<b>Figura 16</b> – Mapas da distribuição espacial da Matéria Orgânica do solo na Área II.....	109

# OCUPAÇÃO DAS TERRAS E INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO EXTREMA, DISTRITO FEDERAL

## RESUMO

A demanda crescente por alimentos e água, potencializada pelo considerável crescimento populacional no Distrito Federal, desencadeia mecanismos de ocupação das terras sem o devido planejamento. O uso sustentável dos recursos naturais é então negligenciado na busca desenfreada pela ampliação de fronteiras agrícolas. Solos submetidos a manejo precário, explorados com atividades incompatíveis ao seu perfil edafoclimático, são alvos de degradação e perdas, resultando em distúrbios de caráter dinâmico e qualitativo, com inevitável desestabilização da sustentabilidade dos agroecossistemas. A microbacia do Ribeirão Extrema, selecionada para este estudo, drena porções do Distrito Federal ocupadas com extensas áreas produtoras de grãos, com adoção de manejos de alto nível tecnológico, e integra a bacia do rio Preto, que, por sua vez, pertence à bacia hidrográfica do rio São Francisco. Os objetivos do estudo foram a avaliação do uso e ocupação das terras, com o auxílio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, e o estudo de indicadores de qualidade dos solos (QS). Determinou-se, ainda, a variabilidade espacial dos atributos de QS avaliados em duas áreas, com usos e manejos diversificados, na microbacia em estudo. Densidade do solo (Ds), grau de flocculação (GF), teor de matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), respiração basal microbiana (Rmic) e Carbono da biomassa microbiana (Cmic) constituíram os atributos de QS avaliados. Mapas digitais foram delineados a partir da heterogeneidade na distribuição destes atributos ao longo das profundidades avaliadas dos solos, recorrendo-se ao uso do programa Surfer<sup>®</sup>. O estudo demonstrou expressiva predominância (80,07%) de terras com uso agrícola adequado, conforme o Sistema Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras. Verificou-se que parte dos indicadores de QS avaliados foi influenciada pelos diferentes tipos de manejos estudados (Ds, MO e Cmic), enquanto outros não se mostraram sensíveis aos mesmos (GF, CTC e Rmic). A seleção desta microbacia visou gerar dados preliminares para o monitoramento da sustentabilidade e fomento da gestão ambiental em áreas de expressivo potencial na produção de alimentos da Região do Cerrado.

**Palavras chave:** Ocupação das terras, qualidade dos solos, Sistema de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto.

# LAND OCCUPATION AND SOIL QUALITY INDICATORS AT EXTREMA WATERSHED, DISTRITO FEDERAL.

## ABSTRACT

The increasing demand for food and water, enhanced by considerable population growth in the Distrito Federal (DF), triggers mechanisms of land occupation of land without proper planning. The sustainable use of natural resources is then neglected in the quest for unbridled expansion of agricultural frontiers. Soils under poor management, explored with activities incompatible with the climate and soil profile are targets for degradation and loss, resulting in disturbances of the dynamic character and quality, with the inevitable disruption of the sustainability of ecosystems. The Extrema watershed, selected for this study, drains portions of the Distrito Federal occupied by large grain-producing areas, with adoption of advanced technology, and integrates the Preto river basin, which, in turn, belongs to the São Francisco river basin. The objectives of this study were to assess the use and occupation of land, with the help of Remote Sensing and Geographic Information System, and the study of indicators of soil quality (SQ). It was determined also the spatial variability of soil quality attributes assessed in two areas, with diverse uses and management in the watershed under study. Soil bulk density (SD), flocculation index (FI), organic matter content (OM), cation exchange capacity (CEC), microbial respiration (Rmic) and microbial biomass carbon (Cmic) were the SQ attributes evaluated. Digital maps were drawn from the heterogeneity in the distribution of these attributes along the soil depths evaluated, using the *Surfer*<sup>®</sup> software. The study showed a significant predominance (80.07%) of appropriate agricultural land use according to the Brazilian System for Agricultural Land Suitability. It was found that some of the SQ indicators evaluated were affected by different types of soil managements under evaluation (SD, Cmic and OM), while others were not sensitive to them (FI, CEC and Rmic). The selection of this watershed aimed to generate preliminary data for monitoring the sustainability and promotion of environmental management in areas of significant potential in food production at the Cerrado Region.

**Word keys:** Land occupation, soil quality, Geographical Information System, Remote Sensing.

## I – INTRODUÇÃO

A Região do Cerrado é uma das maiores e últimas reservas de terra do mundo capaz de suportar imediatamente a produção de grãos e a formação de pastagens e, no entanto, desde meados da década de setenta, vem sendo explorada a uma alta taxa de abertura de novas áreas agrícolas. Tradicionalmente voltada para a pecuária extensiva, seu quadro natural está sendo modificado com a introdução da agricultura mecanizada, e com a pecuária deixando de ser extensiva dando lugar à implantação de pastagens com espécies selecionadas, as quais geralmente são antecipadas pela cultura de arroz de sequeiro (Alencar, 1980; Santos e Aguiar, 1985; Azevedo e Adámoli, 1988; Coutinho, 1990).

A demanda por alimentos e água, potencializada pelo considerável crescimento populacional no Distrito Federal, desencadeia mecanismos de ocupação das terras sem o devido planejamento. O uso sustentável dos recursos naturais é, então, negligenciado na busca desenfreada pela ampliação de fronteiras agrícolas. Entraves na implementação de uma cadeia produtiva ambientalmente coerente são reflexos latentes deste comportamento predatório na obtenção de produtos e subprodutos de origem vegetal, além de conflitos de destinação de uso das terras.

O meio ambiente, além de sua evolução natural, está sujeito a constantes alterações provocadas pelo homem. Observa-se, ao longo da história da humanidade, que a interação do homem com seu meio natural, bem como os processos de apropriação dos recursos naturais, têm sido realizados de maneira predatória. O uso e ocupação racional do espaço físico com atividades exploratórias rurais ou urbanas refletem diretamente a forma pela qual estas atividades são realizadas em determinado local ou região, em determinado tempo. Assim, as atividades humanas sob pretexto de uma demanda crescente para atender suas necessidades básicas, têm imprimido processos intensivos de exploração dos recursos ambientais de maneira a ameaçar tanto a disponibilidade de alguns desses recursos, como também, a capacidade de regeneração de diversos sistemas ambientais determinantes para sustentação do seu habitat no planeta (Cunha e Guerra, 1996).

O planejamento ambiental surge como alternativa segura para o desenvolvimento sustentável, pois para que seja possível a sobrevivência das gerações futuras, é necessário que seja feito o uso planejado e racional dos recursos naturais disponíveis hoje. O desconhecimento e uso de estratégias inadequadas de manejo do

solo, das águas e das vegetações nativas foram e ainda são os maiores responsáveis pela degradação desses recursos. A reversão desse quadro é extremamente dependente de ações planejadas, que estão limitadas pela falta de informações precisas e atualizadas dos recursos físicos, naturais e econômicos (Pires et al., 2000).

Solos submetidos a manejos precários, explorados com atividades incompatíveis ao seu potencial edafoclimático, são alvos de degradação e perdas, resultando em distúrbios e inevitável desestabilização da sustentabilidade ambiental. A busca pelo suprimento hídrico na manutenção dos cultivos condiciona o desenvolvimento da atividade agrícola cada vez mais próxima aos cursos d'água. As características hidrológicas no contexto de microbacias, constituem, sem dúvida, fator de fundamental importância para a proteção, a restauração e o manejo das zonas ripárias, visando a permanência destas atividades ambientais imprescindíveis para a manutenção da saúde das microbacias, dos recursos hídricos e do ecossistema aquático (Bodie, 2001; Bohn e Kershner, 2002).

Diante de consideráveis indicativos de degradação ambiental, emerge a necessidade de uma reavaliação do cenário agrícola, incrementando subsídios para o planejamento de uso e gestão sustentável da cadeia produtiva. Torna-se assim, de fundamental importância, o estabelecimento de metodologias que visem à avaliação e o monitoramento periódico da qualidade dos solos em microbacias representativas dos recursos naturais, particularmente solos e recursos hídricos do Distrito Federal.

Para a integração das informações utilizadas nos estudos de avaliação dos recursos naturais superficiais, tais como: uso e ocupações das terras, classes de solo e distribuição da rede de drenagem, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e a tecnologia de Sensoriamento Remoto constituem ferramentas muito úteis para o diagnóstico da qualidade ambiental e o gerenciamento e monitoramento da área em estudo (Prado e Novo, 2005). Técnicas modernas de Sensoriamento Remoto e integração de dados em um SIG têm grande potencial de utilização para levantamentos e monitoramentos dos recursos naturais, bem como na avaliação dos usos e ocupações das terras (Lobo, 2002).

A microbacia do ribeirão Extrema drena áreas do Distrito Federal (DF) ocupadas com extensas propriedades rurais produtoras de grãos, com adoção de manejo de alto nível tecnológico. O ribeirão Extrema é um dos afluentes do Rio Preto, que pertence à bacia hidrográfica do rio São Francisco. Constitui uma área representativa de regiões produtoras de grãos, com a presença de manejo altamente tecnificado, classes de

solos variados e corpos hídricos importantes na rede de drenagem do DF. Assim, tal microbacia foi selecionada para este trabalho, que objetiva a avaliação do uso e ocupação das terras e o estudo de indicadores de qualidade dos solos.

O presente trabalho visa gerar dados preliminares para o monitoramento da sustentabilidade e gestão ambiental em áreas de potencial expressivo na produção de alimentos, particularmente grãos, com o auxílio de tecnologias de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informação Geográficas, a fim de subsidiar metodologias de planejamento para o uso adequado, conservação e manejo dos recursos naturais do Distrito Federal.

## **II – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **II.1– Qualidade dos Solos**

Os solos agrícolas funcionam como um sistema complexo que retém e transmite água, ar, nutrientes e calor às sementes e plantas, de maneira que é fundamental um ambiente físico favorável ao crescimento radicular, para maximizar a produção das culturas (Letey, 1985; Hamblin, 1985). Neste contexto, os sistemas de preparo do solo devem oferecer condições favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das culturas. No entanto, dependendo da classe do solo, do clima, da cultura e do manejo adotado, eles podem promover a degradação da qualidade física do solo, com restrições ao crescimento radicular (Klute, 1982).

Expressivos incrementos de rendimento e produção, notadamente nas culturas de grãos, são evidenciados pela agricultura brasileira na última década. A contínua evolução deste panorama exige constantes tomadas de decisão para a manutenção e preservação da qualidade dos recursos edáficos.

O processo de degradação do solo causada por atividades antrópicas não é recente. Burney (1990) relata evidências da degradação do solo já no início da história da humanidade. Baseado em investigações arqueológicas, Olson (1981) revela que civilizações ancestrais pereceram em razão das consequências ambientais e ecológicas derivadas da exploração abusiva do solo. A preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que seu uso e mobilização intensiva possam redundar na diminuição de sua capacidade em manter uma produção biológica sustentável (Carvalho et al., 2004). No entanto, apenas recentemente, o processo de degradação tem chamado

a atenção do homem em níveis globais, dada à escala com que vem ocorrendo, sendo considerado umas das quatro maiores preocupações ecológicas, juntamente com a mudança global do clima, com a depleção da camada de ozônio e com declínios na biodiversidade (Doran et al., 1996).

Termo ainda dotado de especulações acerca de sua melhor definição pela comunidade científica, a Qualidade do Solo (QS) está alicerçada na seleção de índices de caráter qualitativo e quantitativo, estando ainda estreitamente relacionada com a investigação dos atributos químicos, físicos e biológicos que interagem entre si e regem a dinâmica edafológica de cada agroecossistema.

Assim como o ar e a água, a qualidade do solo está diretamente relacionada com a "saúde" e produtividade dos ecossistemas agrícolas. No entanto, quanto aos solos, possivelmente devido às influências de fatores relativos à sua gênese, variabilidade, uso, manejo e devido às diversas funções que pode desempenhar, têm sido difícil para os pesquisadores estabelecer critérios universais para definição e quantificação da sua qualidade (Glover et al., 2000).

Por essa razão, vários conceitos foram propostos. Todos têm em comum a capacidade do solo de funcionar efetivamente no presente e no futuro, sendo o mais amplo aquele da Sociedade Americana de Ciência do Solo, que define qualidade do solo como *"a capacidade de um tipo específico de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, promovendo a saúde humana e a habitação"* (Doran e Parkin, 1994; Karlen et al., 1997; Singer e Ewing, 2000).

Outra dificuldade para quantificação da qualidade do solo está relacionada ao método para transformar a natureza complexa e específica de cada solo em atributos mensuráveis, que possam refletir o seu "estado" para funcionar, possibilitando avaliações sistemáticas independentes de seus múltiplos usos (Sojka e Upchurch, 1999; Wander e Drinkwater, 2000). Uma das propostas mais objetivas sugere definir explicitamente as funções que determinam a qualidade do solo, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores para medir cada função definida (Doran e Parkin, 1994; Larson e Pierce, 1994; Nortcliff, 2002). Dependendo da função para a qual uma avaliação está sendo feita, uma lista quase infinita de indicadores pode ser utilizada (Lal, 1999). Por isso, para avaliação de determinadas funções é preciso selecionar atributos, propriedades ou processos que, de

alguma maneira: (a) influenciem a função para a qual está sendo avaliado; (b) sejam mensuráveis e comparados a padrões definidos; e (c) sejam sensíveis o bastante para mostrar diferenças em escala espacial ou temporal (Karlen et al., 1997).

Nessa perspectiva, é fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características com facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, utilização no maior número possível de situações, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos (Doran et al., 1996; USDA, 2001).

O nível de alteração na QS pode ser avaliado pela mensuração do estado atual de determinados atributos e comparação destes com os correspondentes no estado natural do solo, sem interferência antrópica, ou com valores que são considerados ideais (Doran e Parkin, 1994; Sarrantonio et al., 1996). Nesse caso, as dificuldades residem em selecionar quais propriedades serão avaliadas e definir os valores considerados adequados ou ideais, os quais podem ser variáveis de acordo com a classe de solo investigada (Arshad e Martin, 2002). Além disso, alguns anos são necessários para se verificar a resposta das propriedades do solo às alterações do sistema de manejo. Dessa forma, preferencialmente, a QS deve ser avaliada em experimentos ou áreas agrícolas com histórico de manejo de longa duração (Motta et al., 2000).

Segundo Doran e Parkin (1994), os atributos indicadores da qualidade do solo são definidos como propriedades mensuráveis que influenciam a capacidade do solo na produção das culturas ou no desempenho de funções ambientais. A quantificação das alterações nos atributos do solo, decorrentes da intensificação de sistemas de uso e manejo, pode fornecer subsídios importantes para a definição de sistemas racionais de manejo, contribuindo, assim, para tornar o solo menos suscetível à perda da capacidade produtiva.

Os atributos do solo não podem ser medidos diretamente. Assim, devem ser selecionados os indicadores, os quais são substitutos mensuráveis dos atributos do solo. Um indicador pode ser simplesmente uma variável mensurável, a exemplo da temperatura do solo; um processo, como a taxa de mineralização de Nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ); ou uma construção complexa de variáveis múltiplas, como um índice, o qual inclui inúmeras medidas do solo tais como densidade, a uniformidade dos agregados, a matéria orgânica e outros (Burger e Kelting, 1999).

Muitos atributos físicos do solo têm sido utilizados para quantificar as alterações provocadas pelos diferentes sistemas de manejo, ou até mesmo, como indicadores de qualidade do solo. A densidade do solo é usada na estimativa da condição de estruturação dos solos com relação ao potencial de lixiviação, produtividade e aspectos erosivos (Doran e Parkin, 1994), sendo afetada por vários fatores, como sistema de manejo, tipo de cobertura vegetal, quantidade de resíduos à superfície e teor de matéria orgânica do solo (Cavenage et al., 1999; Tormena et al., 2002; Cruz et al., 2003; Spera et al., 2006).

O volume total de poros depende da composição granulométrica e da estruturação dos solos, cujos limites são muito amplos, porém, valores de macroporos inferiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  podem ser restritivos às trocas gasosas, à infiltração e ao crescimento das raízes da maioria das culturas (Taylor e Ashcroft, 1972). Valores superiores de porosidade total e macroporosidade em superfície, decorrentes do preparo do solo, têm sido relatados (Cruz et al., 2003; Tormena et al., 2002; Bertol et al., 2004). Aumentos no teor de matéria orgânica, notadamente na camada superficial do solo, têm sido associados a sistemas com o mínimo revolvimento do solo, favorecendo a estruturação dos mesmos (Reeves, 1997).

A avaliação das características biológicas do solo se adapta à maioria dos critérios para a seleção de um indicador de qualidade do solo (Doran e Zeiss, 2000). Dentre as várias justificativas para o uso de microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade do solo, destaca-se a sua capacidade de responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo, derivadas de mudanças no manejo, além do fato de que a atividade microbiana do solo reflete a influência conjunta de todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (Kennedy e Papendick, 1995; Stenberg, 1999).

Os critérios para a seleção de indicadores de qualidade do solo relacionam-se principalmente com a sua utilidade em definir os processos do ecossistema, integrando propriedades físicas, químicas e biológicas, além da sua sensibilidade ao manejo e às variações climáticas (Doran et al., 1997).

Se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada utilizando-se métodos de manejo adequados, a sustentabilidade da agricultura pode ser uma realidade. Portanto, a qualidade do solo é um componente crítico da agricultura sustentável e, um sistema agrícola somente será sustentável quando a qualidade do solo for mantida ou melhorada (Brasil, 2000).

### **II.1.1– Indicadores da Qualidade de Solos**

O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade é com relação ao desenvolvimento de métodos para avaliação da qualidade do solo e do ambiente sob a interferência do homem. Há, atualmente, um esforço multidisciplinar, tentando quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de indicadores de qualidade do solo (Melloni, 2008). Segundo Tótola e Chaer (2002), um indicador de qualidade do solo pode ser simplesmente uma variável mensurável (temperatura do solo), um processo (taxa de mineralização do N) ou um índice, no qual se incluem inúmeras medidas do solo (densidade, porosidade, matéria orgânica e outros).

Para Islam e Weil (2000), os indicadores podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários, que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono orgânico total e ativo. Para esses autores, os indicadores intermediários são os de maior importância para integrarem um índice de QS.

Para Goedert (2005) a escolha de indicadores ou atributos a serem quantificados deve considerar, entre outros, os seguintes aspectos: facilidade de medição, sensibilidade a mudanças e limites claros entre condições de sustentabilidade e de não sustentabilidade.

Os critérios de escolha de indicador de qualidade ou de saúde do solo, conforme Leonardo (2003), são dependentes dos objetivos do estudo e contexto a ser considerado, entretanto, um critério que deve sempre existir, independente da situação, diz respeito à sensibilidade do indicador às alterações no processo e ou no componente da microbiota ao qual ele se aplica.

Segundo Lal (1999), características físicas do solo, como a distribuição do tamanho dos poros, compactação e outras características mecânicas, influenciam diversos processos modificadores do solo. Tais processos são usados como indicadores de qualidade do solo, podendo monitorar se os sistemas vão atenuar ou acentuar as degradações físicas, como erosão acelerada e desertificação.

Buscando correlacionar biologia e física dos solos, Leonardo (2003), com base em diversos autores, como Tibau (1977) e Walker e Reuter (1996), explica que a estrutura ativa do solo, ao invés de ser um estado puramente físico e apático, como se fosse apenas uma formação arquitetônica pura e simples, representa, ao contrário, o resultado de um complexo processamento biológico contínuo, permanentemente ativado pela energia gerada por meio da matéria orgânica e suprida aos microorganismos e mesofauna. Explica, ainda, que a qualidade física do solo também pode ser entendida como a qualidade estrutural, sendo importante por duas razões principais: Primeiro, pela íntima relação entre as propriedades físicas do solo e os processos hidrológicos que operam na microbacia, isto é, infiltração, escoamento superficial e subsuperficial, drenagem profunda e erosão. A segunda razão está relacionada com a regulação do suprimento e armazenamento de muitos dos requerimentos fundamentais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (água, nutrientes e oxigênio).

Os atributos físicos refletem primariamente limitações para o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, infiltração e movimento da água no perfil. Já os atributos químicos, são fundamentais para a manutenção de toda atividade biológica do solo, de forma que são os responsáveis pelo fornecimento de nutrientes às plantas, por meio da degradação da matéria orgânica, favorecendo, ainda, a agregação do solo (Araujo, 2004).

Dentre as várias propriedades que se mostram promissoras como indicadores da qualidade do solo, Leonardo (2003) cita a biota do solo como sendo muito sensível à mudanças nas condições do solo, sendo que as propriedades biológicas mais promissoras para inclusão em um índice de qualidade do solo são a Biomassa Microbiana (Total e Ativa) e a Taxa de Respiração Específica (Quociente Metabólico). Outras propriedades, citadas pelo autor, estão relacionadas aos atributos físicos, como a Estabilidade de Agregados, Macroporosidade e Densidade do Solo.

Várias são as maneiras pelas quais a qualidade física do solo se pode manifestar; são exemplos de má qualidade física dos solos a baixa capacidade de infiltração de água, o escoamento superficial, a baixa aeração, o sistema radicular reduzido e a dificuldade de mecanização. A qualidade física é considerada boa quando os solos exibem condição oposta ou ausência dos problemas já mencionados; frequentemente, um solo apresenta todos esses problemas físicos simultaneamente; o que é importante frisar é que todos esses sintomas têm uma causa em comum - a estrutura do solo degradada (Dexter, 2004). Assim, a degradação da estrutura do solo

pode comprometer o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produção agrícola (Richart et al., 2005).

Os sistemas de preparo do solo promovem modificações nas propriedades físicas como a agregação do solo (Castro Filho et al., 1998), a densidade e a porosidade do solo (Maria et al., 1999). A macroporosidade é drasticamente reduzida com a compactação do solo (Dias Jr. e Pierce, 1996). De forma geral estas propriedades funcionam como indicadores de possíveis restrições ao crescimento radicular das culturas.

Imhoff et al. (2001) afirmam que a densidade do solo e a macroporosidade são bons atributos indicadores do estado de estruturação do solo. A porosidade do solo e densidade são inter-relacionadas, assim como demonstrado por Klein e Libardi (2002), que, ao avaliarem diferentes manejos, observaram alterações na estrutura do solo, com aumento da densidade, ocasionando redução da porosidade total em função do manejo adotado.

Segundo Doran e Parkin (1996), para que os indicadores do solo sejam práticos aos vários tipos de usos, os usuários deveriam:

1. Ter uma boa correlação com os processos do ecossistema;
2. Integrar propriedades e processos físicos, químicos e biológicos e servir como estimativa de funções ou propriedades que são mais difíceis de medir diretamente.
3. Ser relativamente fáceis de usar em condições de campo e de ser acessada por especialistas e produtores.
4. Ser sensíveis a variações no manejo e no clima. Os indicadores devem refletir as mudanças em longo prazo, mas não ser tão sensível a ponto de serem influenciadas, em curto prazo, devido às mudanças climáticas.

Goedert (2005) propôs um conjunto mínimo de indicadores da qualidade do solo (Tabela 1), no qual níveis de sustentabilidade são quantificados a partir dos atributos mais frequentemente avaliados em pesquisas científicas envolvendo a qualidade dos solos brasileiros. Segundo o autor, os atributos de natureza física listados são adequados para avaliar o estado de agregação e compactação e, como conseqüência, estimar a capacidade de infiltração de água no solo. Os de natureza química se destinam a estimar o potencial de disponibilização de nutrientes, e os de natureza biológica refletem a dimensão da atividade microbiana no solo.

**Tabela 1**– Proposta de conjunto mínimo de indicadores ou atributos para avaliar a qualidade do solo sob uso agrícola e de seus valores ou níveis de sustentabilidade, determinados na camada superficial de Latossolos tropicais.

<b>Indicador ou Atributo</b>	<b>Valores ou nível de sustentabilidade</b>
Densidade do solo (Ds)	< 1,0 g cm <sup>-3</sup>
Porosidade total (Pt)	> 0,6 cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>
Resistência mecânica à penetração (Rp)	< 1,0 MPa
Grau de Flocculação (Gf)	> 50%
Teor de Matéria Orgânica (MO)	Textura argilosa: > 40 g kg <sup>-1</sup> Textura média: > 30 g kg <sup>-1</sup> Textura arenosa: > 20 g kg <sup>-1</sup>
Capacidade de Troca Catiônica (T)	Textura argilosa: > 10 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> Textura média: > 7 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> Textura arenosa: > 4 cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>
Saturação por Base (V)	> 40%
Carbono da biomassa microbiana (Cmic)	> 200 mg C kg <sup>-1</sup>
Respiração basal (Rmic)	> 10 mg C kg <sup>-1</sup>
Coeficiente metabólico (q(CO <sub>2</sub> ))	> 0,05

Fonte: Goedert (2005).

A caracterização dos principais indicadores, conceitos e definições utilizados na avaliação da qualidade dos solos e abordados no presente estudo, são descritos a seguir.

### **II.1.1.1– Densidade do Solo**

A densidade do solo (Ds) reflete o arranjo das partículas sólidas e o arcabouço formado pelos poros existentes no solo, correspondendo à relação entre a massa de solo seco e o volume total do solo. A estrutura de um determinado solo sofre influência direta em relação ao manejo adotado nas atividades agrícolas, o que pode interferir nas condições de umidade ao longo do perfil e na dinâmica do solo, gerando possível estado de compactação.

O aumento do conteúdo volumétrico de sólidos traduz-se em redução drástica na macroporosidade, na quantidade de água prontamente disponível e na aeração (Alvarenga et al., 1996). Assim, a Ds assume grande importância em estudos

agronômicos, pois permite avaliar atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (Kiehl, 1979; Camargo e Alleoni, 1997). Por possuir estreita relação com outros atributos, a grande maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o aumento da  $D_s$ , ocorre diminuição da porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica, absorção iônica, assim como o conseqüente aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração do solo. Esse fato desencadeia, no geral, diminuição da produtividade agrícola (Carvalho et al., 1999; Foloni et al., 2003; Mercante et al., 2003; Secco et al., 2005; Melo Filho et al., 2006; Santos et al., 2006).

Normalmente a densidade tende a aumentar com a profundidade, sendo influenciada por uma infinidade de fatores, como teor reduzido de matéria orgânica, menor agregação, maior compactação, diminuição da porosidade do solo, dentre outros (Araújo, 2004). Os valores médios de densidade podem variar com o tipo de solo e com a textura, sendo para solos arenosos na faixa de 1,2 a 1,4 g cm<sup>-3</sup> e argilosos 1,0 a 1,2 g cm<sup>-3</sup>, assim é necessário cautela na comparação de dados entre solos, uma vez que a densidade do solo é utilizada para medir a compactação do solo (Camargo e Alleoni, 1997).

Segundo Kiehl (1979), a densidade do solo se situa no intervalo de 1,1 a 1,6 g cm<sup>-3</sup> em solos minerais e assume valores superiores a 1,6 g cm<sup>-3</sup> em solos arenosos. Torres e Saraiva (1999) observaram valores de densidade de 1,0 e 1,45 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos e 1,25 e 1,70 g cm<sup>-3</sup> para solos arenosos, respectivamente para solos em áreas com mata e solos compactados, em estudo realizado em plantio da soja no Paraná. O valor da densidade 1,55 g cm<sup>-3</sup> é considerado crítico para solos franco-argilosos a argilosos, por Camargo e Alleoni (1997). Maria et al. (1999) concluíram que densidades acima de 1,2 g cm<sup>-3</sup> afetaram o desenvolvimento de raízes em Latossolo Roxo, na avaliação do crescimento radicular da soja; Guimarães et al. (2002) também verificaram que densidades dessa magnitude afetaram negativamente o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro em um Latossolo Vermelho argiloso. Já em Latossolo Vermelho de textura média, com densidade do solo superior a 1,52 g cm<sup>-3</sup>, o sistema radicular da soja foi integralmente prejudicado no que se refere ao seu crescimento, relata Fernandez et al. (1995). Beutler et al. (2005) afirmaram que a densidade ótima para o cultivo da soja é de 1,23 g cm<sup>-3</sup> para solos franco-argilo-arenosos.

Em solo arenoso, Pabin et al. (1998) determinaram que a redução de 40% do comprimento de raízes é crítica à produtividade das plantas, sendo a densidade crítica dependente da umidade do solo. Além do aumento da resistência à penetração no solo com o aumento da densidade, a diminuição do volume dos macroporos tem grande influência no crescimento radicular (Hoffmann e Jungk, 1995).

Morris (2007), ao avaliar a qualidade do solo em áreas sob sistema orgânico de cultivo em propriedades comerciais do DF, verificou que os valores médios da Ds variaram entre 0,75 e 1,10 g cm<sup>-3</sup>, considerando tempo de uso e profundidade dos perfis dos solos analisados.

Visando estudar a qualidade física e química de um Latossolo sob diferentes pastagens no DF, Netto (2008) aferiu valores médios de Ds entre 0,62 e 0,99 g cm<sup>-3</sup>, que não interferiram no desenvolvimento radicular nas camadas analisadas.

Diante deste cenário, Goedert et al. (2002) entendem que existe uma falta de consenso entre pesquisadores sobre o nível crítico da densidade do solo, não apresentando um valor acima do qual o solo é considerado compactado. Por este motivo, Goedert (2005) propôs limites de qualidade do solo em sistemas de produção agrícola, nas quais para diversos indicadores de qualidade do solo são apresentados níveis de sustentabilidade para a camada superficial de Latossolos tropicais, cujos valores têm sido utilizados para avaliação da Ds.

### **II.1.1.2 – Estabilidade de Agregados**

A crescente expansão da atividade agropecuária na região Centro-Oeste do Brasil tem levado a questionamentos quanto à sua qualidade dos sistemas de manejo do solo em uso. Um dos principais atributos do solo relacionados à sua qualidade é a formação de macroagregados estáveis, os quais são responsáveis pela estrutura do solo, entre outras propriedades emergentes (Mielniczuk et al., 2003).

De acordo com Kiehl (1979), para haver formação ou manutenção dos agregados nos solos sob uso agropecuário são necessárias duas condições fundamentais: primeira, que uma força mecânica qualquer provoque a aproximação das partículas do solo – esse movimento pode ser causado pelo crescimento das raízes, por animais de hábito terrestre, pelo fenômeno da expansão e contração do solo provocado pelo molhamento e secamento alternado, ou pela floculação; a segunda condição é a de que, após o contato das partículas, haja um agente cimentante para consolidar essa união, gerando o agregado.

Bronick e Lal (2005) afirmam que a agregação resulta do rearranjo de partículas, floculação e cimentação mediado pelo C orgânico do solo, biota, ponte iônica, argila e carbonatos, sendo o C, ao mesmo tempo, agente de ligação e núcleo na formação dos agregados.

Como resultado dos fluxos de energia e matéria que ocorrem entre os componentes do sistema agropecuário de produção, há formação de agregados no solo, o que, em escala crescente, representa o grau de organização deste. Em uma fase preliminar, a formação de microagregados (diâmetro inferior a 0,25 mm) está relacionada à interação da matéria mineral entre si e com compostos orgânicos. Posteriormente, o crescimento de raízes e hifas de fungos, juntamente com resíduos de vegetais, insetos e outros organismos, estimula a formação de estruturas mais complexas e diversificadas, como macroagregados estáveis, com tamanho superior a 0,25 mm. Essas estruturas correspondem a um nível de organização mais elevado. A ocorrência de fluxos de energia reduzidos resulta em nível de organização baixo, em que a estrutura do solo é simples, com predomínio de microagregados, ao passo que com elevado fluxo de energia e matéria o nível de organização atingido é mais elevado, ocorrendo agregados maiores e formando estruturas grandes e complexas. Assim, solos sob uso agropecuário que apresentem maior agregação podem ser considerados em estado de ordem superior ao de solos semelhantes com menor agregação (Vezzani, 2001).

Nos cultivos convencionais, é comum a retirada da vegetação nativa para estabelecimento de atividades que deixam o solo exposto ao impacto direto das chuvas, trazendo como consequência o rompimento dos agregados (Wohlenberg et al., 2004). Aliado a isso, o constante revolvimento do solo contribui para a redução do teor de matéria orgânica, reconhecida como um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados (Roth et al., 1991; Grieve et al., 2005).

Ao avaliar a agregação dos solos, o interesse agrônomo volta-se para a distribuição de tamanhos, quantidade e estabilidade dos agregados, pois esses fatores de agregação são importantes na determinação da quantidade e distribuição dos espaços porosos e, ainda, na suscetibilidade dos agregados à ação erosiva da água e do vento (Baver et al., 1972).

Analisando a agregação do solo e a estabilidade dos agregados em diferentes sistemas de manejo do solo, incluindo lavouras de soja em plantio direto, lavouras de soja em rotação com pastagens em plantio direto e pastagens permanentes

de *Brachiaria* sp., Salton et al. (2008) obtiveram agregados maiores e mais estáveis em solos com pastagens, com forte efeito dos teores de argila e de carbono no solo. A formação de macroagregados pareceu estar relacionada à presença de raízes mais abundantes sob pastagem de gramíneas.

#### **II.1.1.2.1 – Grau de Flocculação**

O fenômeno da dispersão-floculação é influenciado pela matéria orgânica do solo (Oades, 1988), o qual afeta o desenvolvimento da estrutura e relaciona-se com o balanço das cargas elétricas do solo (Gomes et al., 1994).

O grau de flocculação indica a proporção de argila que se encontra flocculada, ou seja, informa acerca do grau de estabilidade dos agregados e constitui parâmetro para se avaliar o estado de agregação do solo.

Carvalho (2007) não encontrou diferença estatística significativa no grau de flocculação entre camadas de 0-5 cm e 5-10 cm do solo, ao avaliar os níveis de cobertura vegetal e a qualidade do solo sob pastagem em áreas de Cerrado no estado de Goiás. O autor relata, ainda, que os valores verificados para este atributo em áreas cultivadas com pastagem foram superiores aos detectados em áreas de Cerrado nativo.

#### **II.1.1.3 – Matéria Orgânica**

A matéria orgânica do solo (MO) apresenta influência reconhecida no comportamento dos solos, nos aspectos físicos, químicos e biológicos. Seus teores e características, resultado das taxas de produção, alteração e decomposição de resíduos orgânicos, são dependentes de uma série de fatores, como temperatura, aeração, pH e disponibilidade de água e nutrientes, muitos deles condicionados pelo uso e manejo dos solos (Nascimento et al., 2010).

O teor de MO, expresso pelo Carbono orgânico total (COT) e suas características, como os teores de seus diferentes componentes, são considerados indicadores úteis na avaliação da qualidade do solo (Chain et al., 2001).

A MO é um importante atributo a ser considerado na avaliação de sistemas de uso e manejo do solo (Doran e Parkin, 1994). Em regiões de clima tropical e subtropical úmido, o rápido declínio na MO ocorre principalmente em sistemas de manejo convencionais, que envolvem intensa perturbação do solo (Tiessen et al., 1992; Parfitt et al., 1997). O estoque de C orgânico (CO) é determinado pela diferença entre as quantidades de C que são adicionadas (aporte de resíduos vegetais) e perdas do solo

em função da decomposição da matéria orgânica, erosão e lixiviação (Dalal e Mayer, 1986).

A MO é composta de constituintes lábeis e estáveis. Essa divisão, baseada na taxa de decomposição, permite melhor entendimento da dinâmica da MO. Os constituintes lábeis, genericamente denominados matéria orgânica lábil ou C orgânico lábil, incluem resíduos de plantas em decomposição, substâncias não-húmicas não ligadas aos constituintes minerais, formas solúveis em água, macrorganismos (fauna) e biomassa microbiana. A mineralização dos constituintes lábeis ocorre em poucas semanas ou meses. Os componentes mais estáveis da MO, representados por substâncias húmicas e outras macromoléculas, são, por sua vez, resistentes ao ataque microbiano, devido à sua estrutura molecular ou por estarem fisicamente protegidos em complexos organominerais ou retidos no interior de agregados, podendo persistir no solo por centenas de anos (Theng et al., 1989).

A dinâmica das frações da matéria orgânica está intimamente relacionada com a textura do solo (Feller e Beare, 1997). Assim, solos arenosos apresentam maior proporção do CO associado às partículas de areia (> 53 µm), o que lhes confere maior fragilidade quanto às mudanças nos sistemas de manejo do solo, uma vez que esta fração, composta principalmente de resíduos vegetais, é facilmente mineralizada (Freixo et al., 2002). Em solos argilosos, as frações orgânicas encontram-se mais associadas à argila e ao silte, de forma que as quantidades de C associadas à areia não perfazem mais do que 10 % do total de CO do solo (Rosell et al., 1996).

Diferentes práticas de manejo do solo influenciam a taxa de ciclagem e os teores de C orgânico e de N (Cambardella e Elliot, 1994). A conversão de áreas de florestas nativas em áreas de cultivo, geralmente, é acompanhada por decréscimo na quantidade de MO, explicado pelo incremento na taxa de mineralização (Brown e Lugo, 1990). Entre os vários componentes da MO, alguns são mais sensíveis às mudanças causadas pelo manejo. Como exemplo, os resíduos de plantas e outros constituintes mais lábeis são rapidamente reduzidos após introdução do cultivo (Cambardella e Elliot, 1992).

A MO é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo. Um dos principais mecanismos responsáveis pela preservação da MO sob sistemas de cultivo conservacionistas parece ser a formação e estabilização de macroagregados. Em contraste, a MO é mineralizada em maior grau sob cultivo convencional (Beare et al., 1994a,b). Essa diferença de comportamento pode ser explicada pela influência do

conteúdo de MO total sobre a estabilidade dos macroagregados e é, portanto, suscetível às mudanças provocadas pelo manejo do solo. Por sua vez, a estabilidade dos microagregados é controlada principalmente pela matéria orgânica estável e, portanto, depende de características intrínsecas do solo, como textura e mineralogia (Elliot, 1986).

Araújo et. al. (2007), ao avaliarem a qualidade de um solo do DF sob diferentes usos e sob Cerrado nativo, recorreram, dentre outros, à quantificação de MO pelo teor de C orgânico, determinado por oxidação via úmida, conforme descrito em Embrapa (1997). Os autores relatam, que para o atributo em questão, apenas foram observadas diferenças significativas na camada de 0-5 cm, sendo os valores mais elevados detectados em áreas de pastagens e Cerrado.

Objetivando avaliar a qualidade do solo sob sistema orgânico de cultivo no DF, Morris (2007) aferiu, dentre outros atributos, o teor de MO e obteve valores médios oscilando entre 17,2 e 42,8 g kg<sup>-1</sup>, relatando que a maioria dos mesmos encontra-se dentro dos valores referenciais de sustentabilidade adotados no trabalho.

#### **II.1.1.4 – Capacidade de Troca Catiônica**

A capacidade de troca catiônica (CTC) é uma medida da distribuição das cargas elétricas disponíveis na superfície das partículas do solo para a retenção de água e cátions dispersos na solução do solo. Os valores de CTC de um solo dependem da classe textural, do tipo de argilomineral presente e do teor de matéria orgânica (Brady, 1989). Partículas menores (fração argila, fração granulométrica < 2mm) apresentam um grande número e uma grande área superficial por unidade de massa (Sposito, 1989). Dessa forma, solos mais argilosos apresentam maior CTC do que solos arenosos (Brady, 1989). De outro modo, solos com predominância de minerais de argilas silicatados tendem a apresentar maior CTC do que solos com predominância de óxidos de ferro e alumínio (Boudot et al., 1986). Estes minerais apresentam cargas dependentes do pH, e no pH do solo (variando de 5 a 7), os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio apresentam grande parte de suas cargas positivas (Sposito, 1989), que repelem eletrostaticamente os cátions dispersos na solução do solo, no entanto, atraem ânions importantes na nutrição mineral das plantas. Isto é, nestes valores de pH, minerais como hematita, maghemita, goetita e gibsitita apresentam predominância de sítios de retenção de ânions (CTA) em relação à retenção de cátions (CTC).

Além dos colóides inorgânicos, a CTC de um solo também é dependente da presença dos colóides orgânicos. Estes são formados a partir da decomposição química e biológica dos materiais orgânicos adicionados ao solo (McBride, 1994; Sposito, 1989). Os produtos finais deste processo apresentam coloração escura e uma alta densidade de cargas negativas devido à presença de grande quantidade de grupos carboxílicos, fenólicos, amídicos, imidazólicos e álcoois na superfície das cadeias orgânicas (Sposito, 1989). O baixo pH no ponto de carga zero (pH PCZ) dos colóides orgânicos (Sposito, 1989) e a presença de grande quantidade de cargas na superfície fazem com que estes colóides apresentem importância fundamental na CTC dos solos de baixa densidade de cargas na fração mineral (Sanchez e Logan, 1992).

A determinação da CTC dos solos tem sido um parâmetro utilizado para a avaliação não só da composição da fração mineral e da matéria orgânica do solo (Greenland et al., 1992), mas também na avaliação do efeito do manejo do solo, condições de oxi-redução, práticas culturais, estabilidade dos agregados em água, alterações na mineralogia dos solos (Bryant e Macedo, 1990) e na separação das classes de solos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Assim, valores de CTC de 27  $\text{cmolc kg}^{-1}$  separam os solos com argila de alta e baixa atividade e valores de CTC abaixo de 16  $\text{cmolc kg}^{-1}$  são utilizados para separação do grau de desenvolvimento dos Latossolos (Camargo et al., 1987).

Chaves (2005) estabeleceu a CTC como um dos atributos para se avaliar a qualidade do solo em uma região de nascentes do DF. O autor relata que em áreas de agricultura e reflorestamento foram observados valores mais elevados para este atributo, atribuindo-se à calagem, em áreas de agricultura, influência significativa.

Ao avaliar a qualidade química de um Latossolo do DF, sob quatro pastagens com diferentes tempos de uso, Netto (2008) verificou que a CTC apresentou uma variação significativa entre as áreas e entre as camadas do solo sondadas. Valores de CTC mais elevados foram observados nas camadas superficiais, entre 0 e 5 cm.

#### **II.1.1.5 – Carbono da Biomassa Microbiana**

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo composta por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas. Ela é um importante componente na avaliação da qualidade do solo porque atua nos processos de decomposição natural, interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados (Franzluebbers et al., 1999).

A biomassa microbiana representa a fração lábil da matéria orgânica do solo, de natureza dinâmica e facilmente alterada por fatores bióticos e abióticos (Powelson et al., 1987; Gama-Rodrigues, 1999).

A biomassa microbiana representa a parte viva da matéria orgânica do solo (MOS) e que regula as transformações bioquímicas, o estoque e o fluxo de Carbono (C) e outros nutrientes, os quais são liberados durante a sua reciclagem, o que ocorre em tempo relativamente rápido em comparação ao Carbono Orgânico do solo: menos de um ano (Siqueira et al., 1994). Por isso, a biomassa ativa é um regulador crítico dos processos biológicos do sistema solo-planta, atuando como um indicador sensível das alterações que ocorrem no solo (Srivastava e Singh, 1991; Wardle, 1992; Rice et al., 1996).

D'Andréa et al. (2002) observaram, em trabalho desenvolvido no sul do estado do Goiás, alterações significativas no Carbono da biomassa microbiana (Cmic) do solo decorrentes da adoção de sistemas de manejo do solo (plantio direto, plantio convencional e pastagem) em relação ao Cerrado nativo. A mobilização do solo, por proporcionar a incorporação de resíduos orgânicos, pode elevar a biomassa microbiana a curto prazo, por disponibilizar substrato orgânico com a quebra dos agregados, mas, a longo prazo, pode ter efeitos negativos, como a diminuição dos teores de MOS (Resck, 1998). Henrot e Robertson (1994) mediram o Cmic em dois solos tropicais da região do Cerrado brasileiro e em solos tropicais úmidos, respectivamente, que mostraram padrão similar no declínio da MOS e da biomassa microbiana. Após três anos de cultivo convencional, o C total foi reduzido em 20 %, e o C microbiano, estabilizado a 35 % do seu valor inicial.

Existem sistemas de manejo que tendem a minimizar o impacto das atividades agrícolas sobre os teores de MOS e a estrutura do solo. Desses sistemas, destacam-se a pastagem e o plantio direto (PD), que acumulam MOS principalmente nos primeiros centímetros do solo (Follet e Schimel, 1989). Nos sistemas onde o solo é revolvido, a MOS é distribuída por toda a camada arável, fazendo com que os teores de carbono orgânico (CO), em profundidades maiores, possam ser semelhantes ou até maiores do que no sistema PD, e isso pode se refletir na atividade e na quantidade da biomassa microbiana (Cattelan e Vidor, 1990). Em geral, o incremento da biomassa microbiana está relacionado ao aumento do conteúdo de MOS do solo (Rezende et al., 2004).

O estoque de C do solo compreende frações intimamente associadas aos minerais, até frações mais lábeis, pouco ou não associadas à fração mineral, como os resíduos vegetais existentes entre e dentro de agregados do solo (Roscoe e Machado, 2002). O C associado à biomassa microbiana é o componente mais ativo da fração lábil, pois transforma e transfere energia e nutrientes para os demais componentes do ecossistema, sendo atualmente usado, conjuntamente com outros atributos, como indicador da qualidade ambiental e da sustentabilidade de agroecossistemas (De-Polli e Guerra, 2008; Haynes et al., 2000).

Tanto o C orgânico do solo quanto o Cmic têm sido utilizados como indicadores de alterações e de qualidade do solo, uma vez que estão associados às funções ecológicas do ambiente e são capazes de refletir as mudanças de uso do solo (Jackson et al., 2003).

Em seu trabalho de avaliação da qualidade de solos do DF submetidos à sistema orgânico de cultivo, Morris (2007) investigou o Cmic em quatro áreas. Este atributo integrou diagramas comparativos e cálculos de um índice de qualidade do solo, elaborados para cada área sondada.

Araújo et. al. (2007) também recorreram ao uso do atributo Cmic para avaliar a qualidade de um solo do DF. Os autores observaram que o Cmic aferido em áreas de Cerrado nativo foi superior ao detectado nas demais áreas analisadas, ocupadas por pastagem, cultivo convencional e florestamento.

#### **II.1.1.6 – Respiração Basal Microbiana**

As propriedades bioquímicas do solo, tais como: a atividade enzimática, a taxa de respiração basal microbiana (Rmic), a diversidade e a biomassa microbiana, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (Turco et al., 1994; Santana e Bahia Filho, 1998; Doran e Parkin, 1996).

O metabolismo microbiano é um dos principais processos reguladores da transformação de nutrientes no solo. Entre as formas de avaliação da atividade metabólica da microbiota do solo, destaca-se a quantificação de C pela liberação de CO<sub>2</sub>, conhecida por respiração do solo (Stotzky, 1965). No entanto, a atividade dos microrganismos está estritamente relacionada com fatores ambientais, como temperatura, umidade, pH, matéria orgânica e nutrientes (Stotzky e Norman, 1961;

Atlas e Bartha, 1993). Em particular, o N e o P são os principais nutrientes exigidos no metabolismo devido às demandas estruturais e funcionais das células (Sylvia et al., 1999).

A ciclagem de nutrientes ocorre como consequência da atividade microbiana e é especialmente importante em ecossistemas de baixa fertilidade. A atividade dos microrganismos do solo pode ser avaliada de diversas formas, como pela medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo e respiração microbiana basal (Tótola e Chaer, 2002), dentre outras. Tais propriedades biológicas e bioquímicas do solo são consideradas indicadores sensíveis (Carvalho, 2005) que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais, constituindo-se, portanto, em ferramentas importantes para orientar o planejamento e a avaliação de práticas de manejo (Matsuoka et al., 2003). É sabido, no entanto, que os atributos bioquímicos que denotam processos edáficos dos ecossistemas, como a respiração microbiana, mostram-se mais sensíveis para captar as alterações ocorridas no ambiente (Peña et al., 2005).

Assim como outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico das células e é influenciada por diversos fatores no solo, tais como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/ N, a presença de resíduos orgânicos, dentre outros (Carvalho, 2005).

Altas taxas de Rmic podem significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de C orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996). Nos solos tropicais, a matéria orgânica tem papel central na manutenção de sua fertilidade. No entanto, algumas práticas agrícolas e florestais, como o uso de corretivos e fertilizantes (Della Bruna et al., 1991), têm sido comumente associadas à redução do teor de matéria orgânica em razão, principalmente, do estímulo à Rmic.

Chaves (2005), buscando avaliar o uso e qualidade do solo em uma região de nascentes do DF, quantificou a taxa de Rmic e constatou que a área sob pastagem nativa apresentou valor significativamente superior aos valores detectados nas áreas sob pastagem plantada e agricultura com solo sem cobertura.

A taxa de Rmic constituiu um dos atributos para a avaliação da qualidade do solo, em áreas sob diferentes usos no DF, no trabalho desenvolvido por Araújo et. al. (2007). Os autores relataram que a maior taxa de Rmic fora detectada nas populações

microbianas do solo sob pastagem plantada, quando comparada com áreas sob Cerrado natural, pastagem nativa, cultivo convencional e florestamento.

### **II.1.2 – Variabilidade Espacial de Indicadores da Qualidade do Solo**

Uma propriedade intrínseca do solo é a heterogeneidade. Assim, uma paisagem natural ou cultivada apresentará, de acordo com o uso e o manejo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, uma variabilidade maior ou menor nessa heterogeneidade (Forsythe, 1970).

Nas paisagens naturais, os solos apresentam heterogeneidade tanto no sentido vertical (profundidade) quanto no plano horizontal, resultante das interações dos seus fatores de formação, dados por: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo (Reichardt et al., 1986). Assim, os solos variam continuamente no espaço, razão pela qual as unidades homogêneas indicadas em mapas apresentam certo grau de variabilidade, mesmo dentro de uma determinada classe pedológica (Wilding e Drees, 1983).

De acordo com Vieira (2004), a variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez que a amostragem de campo for efetuada, uma vez que a mesma pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento de uma determinada área.

O estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo tem grande importância não só na escolha de uma área experimental, locação das unidades experimentais, coleta de amostras e interpretação de resultados, mas também no levantamento e classificação de solos e nos esquemas de uso racional de fertilizantes. A variação das características do solo está relacionada com fatores de sua formação (Jenny, 1941) e com o efeito do manejo do solo (Dobermann e George, 1994).

Com o desenvolvimento da agricultura de precisão, o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização de adubações, tratamentos culturais e colheita. Portanto, o estudo da variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas dos solos é importante em áreas com diferentes manejos, pois pode indicar alternativas de manejo de solo para reduzir os efeitos da variabilidade horizontal e vertical do solo. Essa variabilidade, em muitos casos, pode influenciar a interpretação de efeitos de tratamentos em experimentos (Silva et al., 2003).

Diversos estudos de características químicas e físicas do solo e de planta demonstram que a variabilidade não ocorre ao acaso, mas apresenta correlação ou dependência espacial (Albuquerque et al., 1996; Souza et al., 1998; Oliveira et al., 1999).

É preciso salientar que uma amostragem bem feita é aquela capaz de representar um fenômeno em estudo. Assim, quanto mais heterogênea for a área, maior deverá ser o número de repetições de amostras a serem coletadas, para se atingir uma precisão adequada para a avaliação de determinada variável (Silveira et al., 1999). Por outro lado, a mudança do estado natural (vegetação nativa) para os cultivos agrícolas tem acrescentado grande fonte de variabilidade aos atributos dos solos, promovendo maior heterogeneidade (Beckett e Webster, 1971), muitas vezes contrariando o conceito de que quanto mais intensamente cultivado mais homogêneos ficariam esses atributos devido ao seu manejo químico e físico (Pocay, 2000)

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas onde ele está submetido a diferentes manejos, pois a análise geoestatística pode indicar alternativas, não só para reduzir os efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas (Trangmar et al., 1985), como também, para aumentar a possibilidade de se estimar respostas em função de determinadas práticas de manejo (Ovalles e Rey, 1994).

Montezano et al. (2006), buscando determinar a variabilidade espacial da fertilidade de um solo cultivado em um área de Planaltina (GO), verificou que o conhecimento deste fator pode fornecer importantes subsídios para a racionalização do uso de insumos. O autor investigou a variabilidade de atributos físicos e químicos do solo estudado e os correlacionou com a produtividade da cultura do milho implantada.

Em pesquisa conduzida em Santo Antônio de Goiás (GO), Silveira e Cunha (2002) avaliaram a variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica (MO) e argila em um Latossolo. Parte do trabalho destinou-se à espacialização dos dados de campo, Zinco e MO, obtida por meio de um Sistema de Informações Geográficas.

## **II.2– Sistema de Aptidão Agrícola das Terras**

A falta de um planejamento racional de uso da terra, seja pelo desconhecimento, seja pela necessidade dos agricultores, tem promovido diversos impactos negativos, muitas vezes chegando a limites críticos em determinadas regiões,

resultando em degradação ambiental e redução da qualidade de vida, não só para a comunidade rural, mas também para toda população (Dent e Young, 1993).

A recuperação, conservação e exploração sustentável dos recursos naturais exigem conhecimento das suas propriedades e da situação em relação aos efeitos das atividades antrópicas. Nesse sentido, o diagnóstico do recurso solo, juntamente com outros elementos ambientais, é uma excelente ferramenta na determinação de problemas, como os conflitos de uso das terras, os quais podem auxiliar no planejamento racional de todo o ambiente em questão (Formaggio et al., 1992; Dent e Young, 1993; Rodrigues et al., 2001). Terra não significa somente o solo como base de sustentação do ambiente, mas também todos os demais elementos e fatores ambientais que influenciam na manutenção do ecossistema (Lepsch, 1991; Ramalho Filho e Beek, 1995).

Segundo Ramalho Filho e Beek (1995), a aptidão das terras é definida por meio da comparação de suas condições agrícolas, em relação aos atributos essenciais de um solo considerado ideal, ou seja, deficiência de fertilidade, deficiência de água, suscetibilidade e impedimentos à mecanização.

A avaliação das terras é o processo que permite estimar o uso potencial das terras com base em seus atributos. Grande variedade de modelos analíticos pode ser usada neste processo, variando de qualitativos a quantitativos; funcionais a mecânicos; e específicos a gerais (Rossiter, 1996).

Dentre os diferentes sistemas de avaliação das terras utilizados no mundo, o conceito de avaliação da Food and Agriculture Organization (FAO) é o mais comumente aplicado (FAO, 1976; 1983). Este se baseia na comparação dos atributos das terras com os principais requerimentos biológicos e físicos em relação aos tipos de usos que estão sendo considerados. O sistema da FAO é um método de avaliação qualitativo, mas que pode ser complementado por métodos quantitativos (Yizengaw e Verheye, 1995).

No Brasil, dois sistemas de avaliação das terras são bastante utilizados, sendo ambos estruturados a partir da interpretação de levantamentos de solos: o Sistema FAO/Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Bennema et al., 1964; Ramalho Filho e Beek, 1995) e o Sistema USDA (United States Department of Agriculture) - SCS (Soil Conservation Service) Brasileiro de Classificação da Capacidade de Uso da Terra (Lepsch et al. 1983). Na busca do conhecimento da aptidão agrícola das terras do Brasil, o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

(Ramalho Filho e Beek, 1995) tem sido o mais empregado por constituir um importante instrumento para conhecer o potencial e a disponibilidade de terras de acordo com diferentes níveis de tecnologia ou de manejo. Embora se diferenciem em vários aspectos, ambos os sistemas exigem o cruzamento de inúmeras variáveis, obtidas diretamente dos levantamentos pedológicos ou de inferências realizadas a partir de características ambientais. O cruzamento de dados constitui tarefa complexa, que é aumentada à medida que se aumenta o tamanho da base de dados (Assad, 1993).

De acordo com Ramalho Filho e Beek (1995), o Sistema Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras considera três níveis de manejo, que visam diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Os níveis de manejo são:

- **Nível de manejo A:** baseado em práticas agrícolas que refletem um baixo nível técnico-cultural. As práticas agrícolas dependem do esforço braçal ou alguma tração animal;

- **Nível de manejo B:** utilizam nível tecnológico médio. Caracteriza-se pela modesta aplicação de capital e tecnologias que incluem calagem e adubação com fertilizante NPK;

- **Nível de manejo C:** baseado em práticas agrícolas com altos níveis tecnológicos, caracterizados por aplicação intensiva de capital e de motomecanização.

Estabelecidos os níveis de manejo, este Sistema ainda considera grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola; os grupos de aptidão indicam o tipo de utilização mais intensivo das terras. Sua representação é feita por meio de algarismos arábicos de 1 a 6, sendo que a escala de possibilidades de utilização das terras varia de maneira decrescente, ou seja, as limitações aumentam do grupo 1 para o 6 (Figura 1).

Conforme mostra a figura 2, os grupos 1, 2 e 3 são aptos para lavoura, porém, apresentam restrições quanto ao nível de manejo e à classe de aptidão, subdivida em classes boa, regular e restrita. Os grupos 4 e 5 apresentam aptidão agrícola, respectivamente, para pastagem plantada e silvicultura/pastagem natural. O grupo 6 é inapto para atividades agrícolas, sendo suas terras indicadas somente para a preservação da fauna e da flora.

Os subgrupos de aptidão são os resultados da classe de aptidão relacionada com nível de manejo, indicando o tipo de utilização das terras.

Por fim, as classes de aptidão agrícola são definidas em quatro classes, que refletem a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, com um

nível de manejo definido, dentro do subgrupo de aptidão. As classes foram definidas em:

- **Boa:** as terras não apresentam limitações significativas para a produção, observando as condições de manejo considerado. Há pouca restrição, o que não reduz a produtividade e não aumentam expressivamente os insumos requeridos.

- **Regular:** terras que possuem limitações moderadas para a produção sustentada, levando em consideração o nível de manejo. Essas limitações reduzem a produtividade e aumentam a necessidade de insumos.

- **Restrita:** terras que apresentam fortes limitações para a produção sustentável, observando as condições de manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios e podem também aumentar a necessidade de insumos, de uma forma que os custos só seriam justificados marginalmente.

- **Inapta:** terras que possuem características que impedem a produção sustentada, considerando a utilização em questão. As terras são destinadas para conservação da flora e da fauna.

O grau de limitação atribuído a cada uma das unidades das terras, resulta na classificação de sua aptidão agrícola. Na figura 2 pode-se observar a nomenclatura e a simbologia de cada classe (Ramalho Filho e Beek, 1995).

As letras indicativas das classes de aptidão, de acordo com os níveis de manejo, podem aparecer nos subgrupos como letras maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses, com indicação de diferentes tipos de utilização. A ausência das letras representativas das classes de aptidão, na simbolização dos subgrupos, indica não haver aptidão para uso mais intensivo.

**Figura 1** – Alternativas de utilização das terras de acordo com grupos de aptidão agrícola.

Grupo de Aptidão Agrícola		Aumento da intensidade de uso					
		Preservação da flora e da fauna	Silvicultura e/ ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras		
					Aptidão restrita	Aptidão regular	Aptidão boa
Aumento da intensidade da limitação. Diminuição das Alternativas de uso.	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	6						

Fonte: Ramalho e Beek (1995).

**Figura 2** – Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras.

Classe de Aptidão Agrícola	Tipo de utilização					
	Lavoura			Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural
	Nível de manejo			Nível de manejo B	Nível de manejo B	Nível de manejo A
	A	B	C			
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	P	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inapta	-	-	-	-	-	-

Fonte: Ramalho e Beek (1995).

Chaves (2005) recorreu à técnicas de geoprocessamento para avaliar a adequabilidade do uso atual das terras em áreas de uma bacia hidrográfica do DF. Para tanto, confeccionou mapas de uso atual e os correlacionou, por meio de operações de tabulação cruzada em *software* específico, com o mapa de aptidão agrícola das terras em questão (Embrapa, 1978). O autor verificou que a maior parte da área estava com suas terras sendo exploradas abaixo de seu potencial agrícola.

Mediante técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, Ferreira (2006) avaliou a adequação do uso e ocupação atual do solo em relação à aptidão agrícola das terras em uma bacia hidrográfica do DF. O estudo permitiu constatar que maior parte da área estava sendo explorada de forma adequada em relação à aptidão agrícola das terras, conforme o mapa de adequabilidade de uso gerado.

### II.3 – Qualidade dos Solos e Ocupação das Terras

No Cerrado brasileiro, os Latossolos representam o grupamento de solos de maior ocorrência, ocupando cerca de 50% da área. O elevado grau de intemperismo confere elevado grau de evolução da estrutura, o que, aliado à topografia suavizada onde se desenvolveram, favorece sobremaneira o seu manejo. Corrigidos quimicamente, esses solos passaram a contribuir significativamente para a produção agropecuária do país. Entretanto, o tipo de manejo implementado, além do aumento do tráfego de máquinas em condições inadequadas de umidade, pode resultar na degradação da estrutura. Torna-se, então, necessário o conhecimento do potencial de uso destes solos, por meio de avaliação de seus atributos físicos, muitos dos quais são considerados indicadores de qualidade dos solos, que possibilitam a predição das alterações proporcionadas pelo uso agropecuário e manejo a que estão sendo submetidos, que refletem no crescimento das plantas (Macedo, 1996).

Segundo Corrêa (1995), lamentavelmente, o homem ao realizar a adaptação das terras para as explorações agrícolas, modifica as características dos solos e não observa os fatores limitantes, favorecendo a agressão das mais variadas formas, podendo torná-los degradados.

O primeiro passo na direção de uma agricultura racional é o uso adequado da terra (Lepsch et al., 1983). Portanto, informações integradas, atuais e precisas sobre os recursos naturais, numa escala detalhada, são indispensáveis para a tomada de decisões na área de planejamento rural, possibilitando uma produção agrossilvopastoril sustentada no tempo e compatível com uma boa qualidade ambiental (Silva et al., 1999).

Segundo Macedo (1996), o perfeito conhecimento dos recursos naturais (solos, água, vegetação, recursos minerais de interesse agrícola) e das características sócio-econômicas (população, produção, evolução da fronteira agrícola e uso atual das terras) constituem o embasamento indispensável para a avaliação das áreas passíveis de utilização com atividades agrícolas sustentáveis e das áreas que devem ser preservadas.

De acordo com Brasil (1987), os trabalhos de manejo de solo e de água praticados no país restringem-se a algumas ações isoladas feitas em nível de propriedade agrícola, sem levar em consideração o aproveitamento integrado dos recursos naturais. A microbacia hidrográfica é a unidade geográfica ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais no ecossistema por ela envolvido. Segundo Costa (1987), o grande trunfo do manejo integrado de microbacias hidrográficas é, de um lado, o manejo a partir de um limite natural, ou seja, envolve não apenas a demarcação artificial da propriedade rural, mas todo o sistema natural, e de outro, a tentativa de conscientizar a população que habita a microbacia da necessidade de conservar o solo.

Segundo Bertol et al. (2000) as propriedades físicas do solo precisam ser monitoradas visto que o uso intensivo ou acima da capacidade de suporte pode provocar mudanças indesejáveis, como aumento da densidade do solo (Ds), redução do teor de matéria orgânica (MO), diminuição da porosidade, tamanho de agregados, taxa de infiltração de água e resistência a penetração das raízes. Souza et al. (2001), Eguchi et al. (2002) e Pocay (2000) relatam que, nos trabalhos sobre a variação de atributos físicos dos solos submetidos a usos diversificados, as frações texturais são estáveis, ou seja, se modificam pouco ao longo do tempo, apresentando baixo coeficiente de variação.

Dessa forma, ao realizar o mapeamento e o monitoramento das áreas agropecuárias, objetivando gerar dados para fins de planejamento territorial rural e controle ambiental, torna-se imprescindível obter avaliações qualitativas e quantitativas em escalas municipais e regionais, especialmente quando se almeja analisar a distribuição espacial de componentes de uso e ocupação das terras (Bolfe et al., 2009).

Araújo et al. (2007) investigaram a qualidade do solo em áreas sob diferentes usos no DF. Atributos físicos, químicos e biológicos foram avaliados e integraram diagramas comparativos e cálculos para o estabelecimento de um índice da qualidade do solo em cada tipo de uso. Os autores constataram que os atributos estudados foram afetados em função dos tipos de uso das áreas, sendo os atributos físicos aqueles que melhor refletiram as diferenças de qualidade do solo entre as áreas avaliadas.

Ao avaliar a qualidade do solo sob quatro pastagens em um Latossolo do DF, Netto (2008) quantificou atributos físicos e químicos e os comparou com os atributos do solo sob Cerrado nativo. Observou-se que alterações nas propriedades físicas do solo foram desencadeadas, principalmente, pelo manejo empregado e o maior tempo de uso das áreas estudadas.

## **II.4– Geoprocessamento**

Geoprocessamento refere-se ao conjunto de técnicas e modelos matemáticos alicerçados em programas computacionais com a finalidade de gerar e manipular informações geográficas. Também é definido por Moreira (2001) e Xavier-da-Silva (2001) como um complexo de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltadas para um objeto específico, que integra outros métodos interdisciplinares provenientes das mais diversas áreas técnicas do conhecimento científico.

Particularmente, em relação aos estudos dos recursos naturais em bacias hidrográficas, o Geoprocessamento é uma das ferramentas que possibilitou a evolução do conhecimento dos processos hidrológicos nas bacias em diversas escalas (Goodrich e Woolhiser, 1991).

### **II.4.1 – Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas**

O sensoriamento remoto, para estudos dos recursos naturais, tem sido definido de várias maneiras, porém, todas elas expressam um objetivo comum, ou seja:

o conjunto de atividades utilizadas para obter informações a respeito dos recursos naturais, renováveis ou não do planeta Terra, por meio de dispositivos sensores dispostos em aviões, satélites ou, até mesmo, na superfície. Contudo, em todas as definições, percebe-se claramente que o enfoque maior é transmitir a idéia de uma nova tecnologia, que consiste em um conjunto de programas e equipamentos colocados à disposição do homem, para auxiliá-lo nas indagações sobre o manejo do meio ambiente (Moreira, 2001).

Os dados de sensoriamento remoto têm ampla aplicação na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Assim, uma série de estudos morfométricos, antes realizados a partir de dados extraídos de cartas topográficas, passaram a ser feitos com base em dados de sensoriamento remoto, ou seja, nas imagens coletadas por sensores remotos (Novo, 1992). A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento remoto por meio de satélites orbitais (Rosa, 1995).

Para o manuseio, tratamento, processamento e análise dos dados provenientes de sensores remotos, os aplicativos mais usados atualmente são os de processamento digital de imagens, tal como o programa ENVI, entre outros.

O sistema de informações geográficas (SIG), principal instrumento computacional do geoprocessamento, permite a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, inclusive os produtos de sensoriamento remoto, ao criar um banco de dados digitais e temporais e na geração de informações correlatas (Câmara e Medeiros, 1998). Um SIG pode ser definido, também, como uma coleção organizada de equipamentos computacionais, dados geográficos e especialistas envolvidos no trabalho, projetado para capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e apresentar todas as informações referenciadas geograficamente (Calijuri e Röhm, 1994).

Os SIGs são, conforme descrito por Calijuri e Röhm (1994), uma excelente ferramenta para investigação de fenômenos diversos, relacionados à engenharia urbana, meio ambiente, pedologia, vegetação e bacias hidrográficas. Além disso, na área ambiental, a tomada de decisões requer um conhecimento multidisciplinar. Desta forma, o computador veio resolver grande parte dos problemas de tempo, mão-de-obra e da pouca precisão quando o volume de informações é grande (Pereira et al., 1995).

Dentre os sistemas desenvolvidos para uso integrado de informação espacial, os SIGs têm evoluído e ampliado a sua aplicação para variados estudos agro-ambientais (Assad e Sano, 1993).

Segundo Câmara et al. (2001), podem ser apontados pelo menos cinco grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia dos SIGs: mapeamento temático, diagnóstico ambiental, avaliação de impacto ambiental, ordenamento territorial e os prognósticos ambientais. Todos estes estudos, conforme os autores, têm como característica básica a interdisciplinaridade, decorrente da convicção de que não é possível compreender perfeitamente os fenômenos ambientais sem analisar todos os seus componentes e as relações entre eles; estes projetos buscam sempre uma visão integrada da questão ambiental em conjunto com a questão social.

#### **II.4.2 - Avaliação da Ocupação das Terras**

O uso das terras e a falta de planejamento da produção agrícola têm comprometido a capacidade de sustentação dos sistemas naturais, submetendo-os à degradação e à perda de produtividade, com repercussão ambiental, econômica e social negativa, em âmbito local e regional. Nesse contexto, insere-se a aptidão agrícola das terras, cuja avaliação tem como finalidade a indicação do potencial agrícola das terras para diferentes tipos de uso, procurando atender a uma relação custo/benefício favorável sob os pontos de vista econômico e ambiental. Esse método de classificação deve ser entendido não apenas como uma recomendação para uso direto pelos produtores rurais, mas como uma base para o planejamento agrícola, pois fornece opções de uso cuja escolha deve considerar, ainda, outros fatores, como o fator sócioeconômico, a legislação ambiental e o interesse do produtor (Ramalho Filho e Beek, 1995).

Os mapas de aptidão agrícola das terras, quando cruzados e sobrepostos em ambiente SIG, com mapas de uso atual e áreas de preservação permanente, permitem determinar áreas com inadequação de uso e o nível de utilização das terras. Vários autores têm aplicado essa metodologia nos estudos de avaliação da sustentabilidade do uso das terras, tal como Chaves (2005), Pedron et al. (2006) e Gomes et al. (2007). Nesse sentido, o ambiente SIG torna-se uma ferramenta fundamental para tomadas de decisão na gestão ambiental, em razão da possibilidade de detecção da taxa de adequação entre aptidão agrícola e uso das terras, sendo um sistema realístico, semiautomático e não subjetivo (Formaggio et al., 1992). Dessa maneira, é possível

planejar o uso das terras o que é importante no cenário agrícola atual, que busca maior competitividade bem como a conservação dos recursos naturais (Silva et al., 2008).

Segundo Roy e Tomar (1999), as intervenções antrópicas no sistema natural resultam em alterações na composição e distribuição da vegetação no tempo e no espaço. O uso dos SIGs é ideal para acompanhar a dinâmica do uso das terras e analisar espacialmente os objetos de estudo ao longo do tempo. Valério Filho et al. (1997) utilizaram dados digitais do TM/Landsat para o monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas, por intermédio de geoprocessamento. Esses autores concluíram que, mesmo não sendo possível um maior detalhamento das classes de uso e cobertura vegetal das terras, decorrente das limitações dos produtos utilizados de sensoriamento remoto orbital, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas úteis para o monitoramento da dinâmica de uso e cobertura vegetal e avaliação da adequação de uso das terras ao nível de microbacias hidrográficas, por propiciarem maior frequência na atualização de dados, agilidade no processamento e serem economicamente viáveis.

Chaves (2005) utilizou técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG na avaliação do uso das terras e qualidade do solo e da água numa região de nascentes do rio Descoberto-DF, e com essa ferramenta foi possível elaborar mapa de uso das terras e mapa de adequação do uso das terras, além de integrar as informações de qualidade de solo e da água coletadas.

Ferreira (2006) avaliou o uso e ocupação temporal das terras da porção norte da bacia do rio São Bartolomeu, no Distrito Federal por meio da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto. Da mesma forma, Tonial et al. (2000), também utilizaram técnicas de Sensoriamento Remoto para caracterizar a ocupação das terras em microbacias, no estado do Rio Grande do Sul.

#### **II.4.3 – Satélite LANDSAT**

As imagens do satélite LANDSAT são largamente utilizadas em estudos que utilizam o sensoriamento remoto como ferramenta, pois suas características técnicas possibilitam a utilização de suas informações em vários setores da sociedade como: ambiental, militar, engenharia, planejamento territorial, entre outros (Aronoff, 2005).

A operação do satélite em órbita é administrada pela NASA – *National Aeronautics and Space Administration* – e a produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS – *United States Geological Survey*. No Brasil, o INPE –

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – e algumas empresas privadas comercializam as imagens do LANDSAT (Rosa, 1995).

A resolução temporal do LANDSAT é de 16 dias, e cada cena cobre área de 185 km x 185 km no terreno. Nos satélites LANDSAT 5 e 7, os sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) constituem imageadores multiespectrais do tipo varredura mecânica. Quanto à resolução espectral, o sensor TM abrange sete bandas, seis delas nos comprimentos de onda correspondentes ao visível e aos infravermelhos próximo e médio, com resolução espacial de 30 m; a outra banda situa-se no infravermelho termal e possui resolução espacial de 120 m. O sensor ETM possui, basicamente, as mesmas características espectrais, à exceção da inclusão de banda pancromática com resolução espacial de 15 m e melhoria na resolução da banda do infravermelho termal para 60 m (NASA, 2005).

Visando o desenvolvimento de um algoritmo que permitisse a classificação de vegetações, Carvalho Júnior (2001) recorreu ao uso de imagens LANDSAT 7, que subsidiaram o delineamento do comportamento espectral das fitofisionomias típicas de uma estação ecológica no Distrito Federal.

Ao sondar a integridade da cobertura vegetal em áreas da região do Cerrado brasileiro, Mantovani e Pereira (1998) utilizaram 164 imagens TM/Landsat na interpretação das classes vegetacionais e intensidade de antropização da vegetação.

Bilich (2007), em seus estudos acerca da ocupação das terras na microbacia do ribeirão Mestre D'Armas (DF), utilizou a composição colorida em RGB das bandas 3, 4 e 5 de uma imagem Landsat ETM+. A autora promoveu uma série de tratamentos na imagem do satélite – correção geométrica, recorte, classificação automatizada, edição e vetorização –, o que permitiu a geração do mapa de uso e ocupação das terras da área em estudo.

Na confecção do mapa de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão João Leite/GO, Silva et al. (2009) efetuaram o processamento digital de imagens do satélite Landsat-7/ETM+ e verificaram que o uso de geotecnologias são eficientes e devem ser adotadas com o intuito de fornecer dados para elaboração de planejamentos de uso sustentável das terras.

## **II.5– Geoestatística**

Numa paisagem natural, o solo apresenta ampla variabilidade dos seus atributos, tanto no sentido espacial quanto no volumétrico, resultante da interação dos

processos que comandam os fatores de sua formação. Ademais, o solo cultivado revela fontes adicionais de heterogeneidade, originadas exclusivamente do efeito antrópico da agricultura. Por outro lado, os princípios básicos da experimentação, estabelecidos por meio do método estatístico clássico, consideram que a variabilidade do solo ocorre de forma inteiramente aleatória, admitindo-se que seus atributos apresentem uma distribuição de frequência do tipo normal (Santos e Vasconcelos, 1987). Entretanto, vários estudos têm relatado que os atributos do solo apresentam intensa dependência espacial (Journel e Huijbregts, 1991), necessitando, portanto, de uma avaliação geoestatística.

Tradicionalmente, os experimentos agrícolas utilizam a estatística clássica para planejamento e avaliação dos resultados, baseando-se na independência entre as amostras e em técnicas como a casualização e repetição. A análise dos dados é feita sob a hipótese de independência estatística ou distribuição espacial aleatória, o qual permite o uso de métodos estatísticos como a análise de variância e de parâmetros como o coeficiente de variação. No entanto, em vista da necessidade de repetição, em muitos casos, o número de amostras necessário para um estudo adequado torna-se muito grande, o que é particularmente limitante em estudos de física do solo, que utilizam métodos mais laboriosos e de custo mais elevado, sobretudo na fase de campo. A geoestatística tem sido usada com bastante sucesso em estudos de física do solo, pois se baseia em uma função aleatória contínua estacionária, a qual pode ser submetida a uma grande gama de hipóteses. Na prática, existência de estacionariedade dá a oportunidade de repetir um experimento mesmo que as amostras devam ser coletadas em pontos diferentes, porque todas são consideradas pertencentes à mesma população e com os mesmos momentos estatísticos (Vieira, 2000).

A geoestatística, ferramenta estatística utilizada para estudar a variabilidade espacial de atributos de vários recursos naturais, possibilita a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos avaliados, considerando a dependência espacial dentro do intervalo de amostragem (Silva et al., 2003).

### **II.5.1– Software SURFER®**

O SURFER® é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela *Golden Software Inc.* que pode ser utilizado para a confecção de mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. É uma importante ferramenta para o técnico

ou pesquisador, já que facilita o seu trabalho, evitando traçar mapas com régua, transferidores e outros instrumentos, reduzindo o tempo desse processo e sendo menos subjetivo, pois usa algoritmos matemáticos para gerar suas curvas, otimizando o trabalho do usuário (Landim et al., 2002).

O SURFER<sup>®</sup> possui uma planilha de entrada de dados, que permite importar planilhas de diversos aplicativos, como Excel<sup>®</sup>, Lotus<sup>®</sup>, além de outros formatos que podem ser “importados” simplesmente copiando e colando de outros programas. Assim, com os dados devidamente digitalizados, grava-se o arquivo para posteriormente fazer sua leitura. O SURFER<sup>®</sup> 7 apresenta diversos formatos para a gravação de dados. É preferível, talvez, gravar no formato de planilha do programa Excel<sup>®</sup> (.xls), bastante comum e instalado nos computadores, porém nada impede que se utilize o formato de dados do próprio SURFER<sup>®</sup>, com extensão .DAT e no formato de ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), que pode ser editado em um programa mais simples como o Notepad<sup>®</sup> do Windows<sup>®</sup> (Landim et al., 2002).

A parte mais importante na geração desses mapas é a escolha do método de interpolação, pois métodos diferentes geram resultados diferentes, podendo conduzir a conclusões diversas. Verificados os dados, deve-se definir a malha de interpolação, limites máximos e mínimos dessa malha e o espaçamento de pontos ou número de linhas. Logicamente uma malha mais densa terá um tempo de processamento maior no computador, bem como é dependente também do método de interpolação escolhido (Landim et al., 2002).

O método a ser utilizado é imprescindível para o resultado a ser alcançado no mapa final. O SURFER<sup>®</sup> dispõe de diversos métodos, sendo o *default* a Krigagem e, além desse, o Inverso da Distância à Potência (*Inverse Distance to a Power*), normalmente utilizando a 2ª potência (Inverso do Quadrado da Distância/IQD) e o da Mínima Curvatura, que é um método suavizador (*spline*) e fornece um resultado razoável para uma rápida avaliação do comportamento espacial da variável (Landim et al., 2002).

Papa (2009), visando individualizar áreas do DF cultivadas com feijão, por meio de espectroradiometria, recorreu ao uso do *software* Surfer 7.0 para compreender a dinâmica da variabilidade espacial da MO e da textura dos solos nas áreas estudadas. De posse dos resultados das análises laboratoriais, a autora confeccionou mapas digitais da distribuição espacial dos atributos em questão, aplicando-se o método de interpolação de curvatura mínima.

### III – OBJETIVOS

#### III.1 – Objetivo Geral

Avaliar o uso e ocupação das terras e o estudo dos indicadores de qualidade do solo na microbacia do ribeirão Extrema, Distrito Federal.

#### III.2 – Objetivos Específicos

- Mapeamento do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento;
- Verificação da adequação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema, em relação à aptidão agrícola das terras;
- Avaliação de atributos da qualidade dos solos, em duas áreas com usos e manejos diversificados na microbacia do ribeirão Extrema;
- Estudo da distribuição espacial dos atributos avaliados de qualidade dos solos, na microbacia do ribeirão Extrema.

### IV – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variabilidade de solo e planta em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 20:151-157, 1996.

ALENCAR, G. **O programa de desenvolvimento da região dos cerrados**. In: Simpósio sobre o Cerrado, 5, Brasília, DF, 1979. **Anais...** Brasília, DF, Editerra, 1980. p. 37-58.

ATLAS, R. M.; BARTHA, R. **Microbial ecology: Fundamentals and applications**. 3.ed. New York, The Benjamin-Cummings Publishing Company, 1993. 563p.

ALVARENGA, C. R.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas e camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1099-1108, 2007.

ARAÚJO, R. **Avaliação da qualidade do solo em áreas sob diferentes usos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Universidade de Brasília, 2004, 77p. Dissertação de Mestrado.

- ARONOFF, S. **Remote sensing for GIS managers**. Califórnia: Esri Press, 2005. 487p.
- ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88:153-160, 2002.
- ASSAD, M. L. L. Sistema de informações geográficas na avaliação da aptidão agrícola de terras. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E., eds. **Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1993. p.174-199.
- AZEVEDO, L. G.; ADÁMOLI, J. **Avaliação agroecológica dos recursos naturais da região dos cerrados**. In: Simpósio sobre o Cerrado, 6., Brasília, DF, 1982. **Anais...** Planaltina, DF, EMBRAPA-CPAC, 1988. p. 729-761.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. 4.ed. New York, John Wiley, 1972. 498p.
- BEARE, M.; CABRERA, M.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Aggregate protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58:787-795, 1994a.
- BEARE, M.; HENDRIX, P.; COLEMAN, D. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58:777-786, 1994b.
- BECKETT, P.H.T.; WEBSTER, R. Soil variability: a review. **Soil Fertility**, v.31, p.1-15, 1971.
- BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos**. Rio de Janeiro, DPFS/DPEA/MA/FAO, 1964. Não publicado.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.1047- 1054, 2000.
- BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.485-494, 2004.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.843-849, 2005.
- BILICH, M. R. **Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do ribeirão Mestre D'Armas, Distrito Federal**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, 134 p. Dissertação de Mestrado.

- BODIE, J. R. Stream and riparian management for freshwater turtles. **Journal of Environmental Management**, 62: 443-455, 2001.
- BOHN, B. A.; KERSHNER, L. L., 2002. Establishing aquatic restoration priorities using a watershed approach. **Journal of Environmental Management**, 64: 355-363.
- BOLFE, E. L.; SIQUEIRA, O. J. W.; PEREIRA, R. S.; ALBA, J. M. F.; MIURA, A. K. Uso, ocupação das terras e banco de dados geográficos da metade sul do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.39, n.6, set., 2009.
- BOUDOT, J. P.; BEL HADJ, B. A.; CHONE, T.; HADJ, B. A. B. Carbon mineralization in and oxisoils and aluminum-rich highland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 18:457-461, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Programa nacional de microbacias hidrográficas: manual operativo**. Brasília, 1987. 60p.
- BRASIL. **Agricultura Sustentável**. Brasília, IBAMA, 2000. 190p.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, 124:3-22, 2005.
- BROWN, S.; LUGO, A. E. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. **Plant Soil**, 124:53-64, 1990.
- BRYANT, R. B.; MACEDO, J. Differential chemoreductive dissolution of iron oxides in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, 54:819-821, 1990.
- BURGER, J. A.; KELTING, D. L. Using soil quality indicators to assess forest stand management. **Forest Ecology and Management**, 122:155-166, 1999.
- BURNEY, S. Prehistoric farming caused devastating soil erosion. **New Scientist**, 125:1705-1720, 1990.
- CALIJURI, M. L.; RÖHM, S. A. **Sistemas de informações geográficas**. Viçosa: CCET/DEC - Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1994. 34p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object oriented data modeling. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun. 1996.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas (Aplicações na Agricultura)**. 2.ed. Brasília: SPI/ EMBRAPA-CPAC, 1998. 434 p.

CAMARGO, N. M.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos em levantamentos pedológicos no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:11-33, 1987.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58:123-130, 1994.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, 56:777-783, 1992.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 34:257-265, 1999.

CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em floresta de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze no Estado de São Paulo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 79p. (Tese de Mestrado)

CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO, A. P. F.; ROCHA, V. M. **Desenvolvimento de algoritmo para classificação considerando o comportamento espectral das imagens LANDSAT 7/ETM**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20, 2001, Porto Alegre, RS. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 2001. CD-ROM.

CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória, Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.695-703, 2003.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, R. **Níveis de cobertura vegetal e qualidade do solo sob pastagem em áreas de cerrado**. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, n° p 90. Dissertação de Mestrado.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade da população microbiana do solo, em funções de variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:133-142, 1990.

CAVENAGE, A.; MORAES, M. L. T.; ALVES, M. C.; CARVALHO, M. A. C.; FREITAS, M. L. M. BUZETTI, S. Alterações nas propriedades físicas de um latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:997-1003, 1999.

CHAIN, K. Y.; DALAL, R. C. Soil organic matter in rainfed cropping system of the Australian cereal belt. **Australian Journal of Soil Research**, 39:435-465, 2001.

CHAVES, A. A. A. **Avaliação do uso e qualidade do solo e da água da região de nascentes do rio Descoberto, DF**. Brasília: Universidade de Brasília, 2005. 92p. Dissertação de Mestrado.

CORRÊA, A. A. M. **Produção de alimentos para sobrevivência dos brasileiros**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., 1994, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa-CPATSA/SBCS, 1995. p.272-273.

COSTA, L. M. Solos: Temos de evoluir para uma visão mais abrangente. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.79-80, 1987.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: J.G. Goldammer. **Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**. Berlin, Springer-Verlag, 1990. Cap. 6, p. 82-103.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um argissolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1105-1112, 2003.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação ambiental. In: **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-379.

DALAL, R. C.; MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. I. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, 24:281-292, 1986.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DELLA BRUNA, E.; BORGES, A. C.; FERNANDES, B.; BARROS, N. F.; MUCHOVEJ, R. M. C. Atividade da microbiota de solos adicionados de serapilheira de eucalipto e de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:15-20, 1991.

DENT, D.; YOUNG, A. **Soil survey and land evaluation**. London: E & FN Spon, 1993. 292p.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. Carbono, nitrogênio e fósforo da biomassa microbiana do solo. p. 263-276. In.: Santos, G. de A.; Silva, L.S. da; Canellas, L.P.;

Camargo, F.A.O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2ª. edição revisada e atualizada. Metrópole, Porto Alegre, RS, Brasil, 2008.

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

DIAS JR., M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.175-182, 1996.

DIAS JÚNIOR, M. de S. Compactação do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez V. V. H.; Schaefer, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. cap.2, p.55-94.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T. **Field-scale soil fertility variability in acid tropical soils**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., Acapulco, 1994. Transactions. Acapulco, 1994. v.5. p.610-627.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indications of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., ed. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, 1996. p.145-231. (SSSA Special Publication, 49) .

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-22. (Publication Number 35) .

DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, Newark. v. 56, p. 30-31, 1997.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic componen of soil quality. **Applied Soil Ecology**, 153-11, 2000.

EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. de. Variabilidade espacial da textura e da densidade de partículas em um solo aluvial no Município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.242-246, 2002.

ELLIOT, E. T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, 50:627-633, 1986.

EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**. Boletim Técnico, n. 53, SNLCS, Rio de Janeiro, 1978. 455 p.

FAO. **A framework for land evaluation**. Rome, 1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32)

FAO. **Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture**. Rome, 1983. 237p. (FAO. Soils Bulletin, 52)

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, 79:69-116, 1997.

FERNANDEZ, E. M.; CRUSCIOL, C. C. C.; THIMÓTEO, C. M. S. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. **Científica**, v.23, p.117-132, 1995.

FERREIRA, C. S. **Avaliação Temporal do Uso e Ocupação das Terras na Baía do Rio São Bartolomeu, DF**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006, 115 p. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, P. M.; CUNHA, A. A. Variabilidade de micronutrientes, matéria orgânica e argila de um Latossolo submetido a sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n. 9, p. 1325-1332, set. 2002.

FOLLET, R. F.; SCHIMEL, D. S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, 53:1091- 1096, 1989.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:947-953, 2003.

FORSYTHE, W. M. Importancia de la variabilidad de las propiedades del suelo para evaluarles en su manejo. **Turrialba**, San Jose, v.20, n.4, p.445-451, 1970.

FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 16, p. 249-256, 1992.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.395-405, 1999.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, 64:221-230, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A. CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.227-243.

GLOVER, J. D.; REGANOLD, J. P.; ANDREWS, P. K. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 80:29-45, 2000.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37(2):223-227, 2002.

GOEDERT, W. J. **Qualidade do Solo em Sistemas de Produção Agrícola** – XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2005.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associada ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.427-435, 2007.

GOODRICH, D. C., WOOLHISER, D. A., 1991. **Catchment Hydrology**. Review of Geophysics and Space Physics, Washington, pp. 202-209, Apr. Supplement.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics—from myth to complex reality. In: Lal, R.; Sanchez, P.A. (eds.) **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: SSSA Spec., 1992. p.17-34. (Pub. 29).

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

GRIEVE, I. C.; DAVIDSON, D. A.; BRUNEAU, P. M. C. Effects of liming on void space and aggregation in an upland grassland soil. **Geoderma**, 125:39-48, 2005.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.213-218, 2002.

HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, v.38, p.95-158, 1985.

HAYNES, R. J. 2000. Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zeland. **Soil Biology and Biochemistry**, 32: 211-219.

HENROT, J.; ROBERTSON, G. P. Vegetation removal in two soils of the humid tropics: Effect on microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, 26:111-116, 1994.

HOFFMAN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, 176:16-25, 1995.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JÚNIOR, M. S.; TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:11-18, 2001.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, 55:69-78, 2000.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, 114: 305-317, 2003.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York, McGraw-Hill, 1941. 281p.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. 5 ed. London, Academic Press, 1991. 561p.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, 61:4-10, 1997.

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, 50:243-248, 1995.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, 32(6): 120-128, 2002.

KLUTE, A. Tillage effects on the hydraulic properties of soil: a review. In: VAN DOREN, D. M.; ALLMARAS, R. R.; LINDEN, D. R.; WHISLER, F. D. (Ed.) **Predicting tillage effects on soil physical properties and processes**. Madison: ASA, 1982. cap.3, p.29-43.

LAL, R. **Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna, Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente - Documentos, 03).

LANDIM, P. M. B., MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer**. Geomatemática, Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BZEDICEK, D. F.; STEWART, B. A. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.37-52. (Special Publication, 35).

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de água e solo para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do estado do Paraná**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, São Paulo, 2003. 121p. Dissertação de Mestrado.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1983. 175p.

LEPSCH, I. F., coord. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso.** Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, v.1, p.277-294. 1985.

LOBO, G. A. S. **Aplicação de Geotecnologias no planejamento de uso de áreas rurais.** Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2002, 144p. Dissertação de Mestrado.

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, 1996. p.135-155.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. **Estimativa da Integridade da Cobertura Vegetal de Cerrado através de dados TM/Landsat.** IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 1455-1466.

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

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:425-433, 2003.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils.** New York: Oxford University Press, 1994.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:2461-2470, 2008.

MELO FILHO, J. F.; OLIVEIRA, A. S.; LOPES, L. C.; VELLAME, L. M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciência Agrotécnica**, 30:199-205, 2006.

MENEZES, M. D.; CURI, N.; MARQUES, J. J.; MELLO, C. R.; ARAÚJO, A. R. Levantamento pedológico e Sistema de Informações Geográficas na avaliação do uso das terras em sub-bacia hidrográfica de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1544-1553, nov./dez., 2009

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1149-1159, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ, V. H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:839-847, 2006.

MOREIRA, I. C. **Análise Geo-Ambiental por Geoprocessamento Dirigida à Instalação de Usinas Termelétricas e Estudos de Impactos Ambientais**. UFRJ, IGEO, PPG, SGEA, 2002. Dissertação de Mestrado.

MOREIRA, M. A. 2001. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 1<sup>a</sup> ed., 250p.

MORRIS, M. L. M. **Avaliação da Qualidade do Solo sob Sistema Orgânico de Cultivo**. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2007, 82p. Dissertação de Mestrado.

MOTTA, A. C. V.; REEVES, D. W.; TOUCHTON, J. T. **Long-term tillage system effects on chemical soil quality indicators in the southeastern coastal plain**. In: ANNUAL SOUTHERN CONSERVATION TILLAGE CONFERENCE FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 23.; Lousiana, 2000. p.114-120.

NASA. *Landsat 7*. Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/l7.html>>. Acesso em: 16 fev. 2005.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFOLLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:339-348, 2010.

NETTO, I. T. P. **Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2008. 67p. Dissertação de Mestrado.

NORTCLIFF, S. Standardisation of soil quality attributes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 88:161-168, 2002.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto, princípios e aplicações**. São Paulo : Blucher, 1992. 308p.

OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 5, p. 35-70, 1988.

OLIVEIRA, J. J.; CHAVES, L. H. G.; QUEIROZ, J. E.; LUNA, J. G. Variabilidade espacial de propriedades químicas em um solo salino-sódico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:783-789, 1999.

OLSON, G. W. Archaeology: Lessons on future soil use. **Journal of Soil and Water Conservation**, 36:261-264, 1981.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, Maracay, v.44, p.41-65, 1994.

PABIN, J.; LIPIEC, J.; WLODEK, S.; BISKUPSKI, A.; KAUS, A. Critical soil bulk density and strength for pea seedling root growth as related to other soil factors. **Soil Tillage Research**, 46:203-208, 1998.

PAPA, R. A. **Comportamento espectro-temporal da cultura do feijão, por meio de dados obtidos por espectralradiometria, câmera digital e imagem ASTER**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2009, Dissertação de Mestrado.

PARFITT, R. L.; THENG, J. S.; WHITTON, J. S.; SHEPHERD, T. G. Effects of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**, 75:1-12, 1997.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

PEDRON, F. A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KLAMT, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polineze-RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.105-112, 2006.

PEÑA, M. L. P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS, A. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**, 35:117-127, 2005.

PEREIRA, R. S.; MADRUGA, P. R. de A.; HASENACK, H. **Geoprocessamento aplicado ao planejamento de uso de recursos naturais** - Curso. Santa Maria : UFSM-CCRFATEC, 1995. 40p.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; TONIAL, T. M.; MISSIO, E.; HENKE-OLIVEIRA, C.; RITTERBUCH, M. A.; ZANG, N. Caracterização preliminar em áreas de vegetação em microbacias da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Erechim, Rio Grande do Sul: **Revista de pesquisa e pós-graduação**. V. 01, p. 107-130, 2000.

POCAY, V. G. **Relações entre pedofoma e variabilidade espacial de atributos de Latossolo sob cultivo intensivo de cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 2000. 177p. Dissertação Mestrado

POWLSON, D. S.; BROOKES, P. C.; CHRISTENSEN, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in the total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**., 19:159-164, 1987.

PRADO, R. B.; NOVO, E. M. L. M. **Aplicação de geotecnologias na modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição para o reservatório de Barra**

**Bonita – SP relacionado à qualidade da água.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia: INPE, 2005. p. 3253-3260.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

REEVES, D. W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.43, p.131-167, 1997.

REICHARDT, K.; VIEIRA, S. R., LIBARDI, P. L. Variabilidade espacial de solos e experimentação de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 10:1-6, 1986.

RESCK, D. V. S. Agricultural intensification systems and their impact on soil and water quality in the Cerrados of Brazil. In: LAL, R. **Soil quality and agricultural sustainability.** Michigan, Ann Arbor Press, 1998. p. 288-300.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C., NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorous mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, 94:159-167, 2004

RICE, C. W.; MOORMAN, T. B.; BEARE, M. Role of microbial biomass carbon and nitrogen in soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J., eds. **Methods for assessing soil quality.** Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.203-216.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. **Semina**, v.26, p.321-344, 2005.

RODRÍGUEZ, J. B. T; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra de Botucatu (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 675-681, 2001.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia : Edufu, 1995. 117p.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. 2002. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica.** Embrapa Agropecuária Oeste/ Embrapa Solos, Dourados, MS/ Rio de Janeiro, RJ, 86pp.

ROSELL, R. A.; GALANTINI, J. A.; IGLESIAS, J. O. Organic carbon changes in soil fractions of two texturally-different Haplustolls under cultivation. In: CLAPP, C. E.; HAYES, M. H. B.; SENESI, N.; GRIFFITH, S. M., eds. **Humic substances in soil and water environments.** St. Paul, IHSS, 1996. p.161-162.

ROSSITER, D. G. A theoretical framework for land evaluation (with discussion). **Geoderma**, 72:165-190, 1996.

ROTH, C. H.; CASTRO FILHO, C.; MEDEIROS, G. B. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com agregação de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 15:241- 248, 1991.

ROY, P. S.; TOMAR, S. Landscape cover dynamics pattern in Meghalaya. **Remote Sensing**, Basingstoke, v.22, n.18, p.3813-3825, 1995.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRICIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:11-21, 2008.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R.; SANCHEZ, P.A. (eds.) **Myths and science of soils of the tropics**. Madison: SSSA Spec. 1992. p.35-46. (Pub. 29).

SANTANA, D. F.; BAHIA-FILHO, A. F. C. **Soil quality and agricultural sustainability in the Brazilian Cerrado**. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., Montpellier, França. Proceedings. Montpellier, ISS, 1998. CD-ROM

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F.A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Scientiarum**, 28:313-321, 2006.

SANTOS, N. A.; AGUIAR, J. L. P. **Evolução agropecuária da região nuclear dos cerrados: 1970-1980**. Planaltina, DF, Embrapa/CPAC, 1985. 62p. (Embrapa/CPAC, Documentos no 16).

SANTOS, H. L.; VASCONCELLOS, C. A. Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 11:97- 100, 1987.

SARRANTONIO, M.; DORAN, J. W.; LIEBIG, M. A.; HALVORSON, J. J. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.83-105 (Special Publication, 49).

SECCO, D.; DA ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:407-414, 2005.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO DISTRITO FEDERAL. **Estudo de Impacto Ambiental do Barramento 5.2.: Extrema**. Projeto de Aproveitamento Hidroagrícola da Bacia do Rio Preto –RA VII Brasília, DF: NCA Engenharia, Arquitetura e Meio Ambiente S/C Ltda. 2001.

SILVA, A. B.; BRITES, R. S.; SOUSA, A. R. Caracterização do meio físico da Microbacia Quatro Bocas, em Angelim, PE, e sua quantificação por Sistema de Informação Geográfica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.1, p.109-117, jan. 1999.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; STORCK, L.; FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-

amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1013-1020, 2003.

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; VIEIRA, L. H. de S.; OLIVEIRA, E. de. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.1, p.231-241, jan./fev., 2008.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C. **Amostragem e variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro em uma área experimental submetida a diferentes sistemas de preparo do solo**. In: RENAF - Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, 6, 1999, Salvador. **Anais...** Salvador, 1999. p. 613-616.

SINGER, M. J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMMER, M.E., ed. **Handbook of soil science**. New York, CRC Press, 2000. Section G. p.271-298.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: Perspectiva ambiental**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1994. 142p.

SOJKA, R. E.; UPCHURCH, D. R. Reservations regarding the soil quality concept. **Soil Science Society of America Journal**, 63:1039- 1054, 1999.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHOS, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho Distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.25, p.669-707, 2001.

SOUZA, L. S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:77-86, 1998.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, 36:1193-1200, 2006.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 345p.

SRIVASTAVA, S. C.; SINGH, J. S. Microbial C, N and P in dry tropical forest soils: Effects of alternate land-user and nutrient flux. **Soil Biology and Biochemistry**, 23:117-124, 1991.

STENBERG, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. **Soil and Plant Science**, v. 49, p. 1-24, 1999.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2. p.1550-1570.

STOTZKY, G.; NORMAN, A. G. Factors limiting microbial activities in soil: I. The level of substrate, nitrogen, and phosphorus. **Archaeological Microbiology**, 40:341-369, 1961.

SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey, Prentice Hall, 1999. 550p.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. 1972. **Physical edaphology**. W. H. Freeman, San Francisco.

THENG, B. K. G.; TATE, K. R.; SOLLINS, P. Constituents of organic matter in temperate and tropical soils. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G., eds. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Hawaii, NifTAL Project, 1989. p.5-32.

TIESSEN, H.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semiarid northeastern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 38:139-151, 1992.

TIBAU, A. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. 2ed. São Paulo: Nobel. 1977.

TONIAL T. M.; MISSIO, E.; SANTOS, J. E.; PIRES J. S. R.; OLIVEIRA, C. H.; RITTERBUCH, M. A.; ZANG, N. Caracterização Preliminar de Áreas de Vegetação em Microbacias da Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista de Pesquisa e Pós**. Erechin: n. 01, 2000. p.107-130

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S. da; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, v.59, p.795-801, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. Circular Técnica, 23.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ, V. H., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.195-276.

TRANGMAR, B. B., YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.

TURCO, R. F.; KENNEDY, A. C.; JAWSON, M. D. Microbial indicators of soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.73-90.(Special Publication, 35)

UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Guidelines for soil quality assessment in conservation planning**. NRCS/Soil Quality Institute. 2001. Acesso em: 03.11.2001.

VALÉRIO FILHO, M.; DONZELI, P. L.; PINTO, S. A. F. **Monitoramento da dinâmica do uso agrícola e vegetação natural em microbacias hidrográficas através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.** In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. CD-ROM.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola.** Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 184p. Tese de Doutorado.

VIEIRA, S. R. **Análise da variabilidade espacial e temporal de umidade do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico em Campinas, São Paulo.** Campinas, 2004. 57f. (FAPESP 02/02863-3)

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental,** Ed. do Autor, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

WALKER, J.; REUTER, D. J. Key indicators to assess farm and catchment health. pp. 21-33. In: Walker, J. and Reuter, D. J. (eds.) **Indicators of Catchment Health: a Technical Perspective,** CSIRO, Collingwood, Victoria, 1996.

WANDER, M. M.; DRINKWATER, L. E. Fostering soil stewardship through soil quality assessment. **Applied Soil Ecology,** 15:61-73, 2000.

WARDLE, D. A. A comparative assessment of factors with influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Reviews,** 67:321-358, 1992.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science,** New York, p. 1-70, 1985.

WILDING, L. P.; DREES, L. R. Spatial variability and pedology. In: WILDING, L.P.; SMECK, N.E.; HALL, G.F., eds. **Pedogenesis and soil taxonomy I.** Concepts and Interactions. Amsterdam, Elsevier, 1983. p.83-116.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência Solo,** 28:891-900, 2004.

YIZENGAW, T.; VERHEYE, W. Application of computer captured knowledge in land evaluation, using ALES in central Ethiopia. **Geoderma,** 66:297-311, 1995.

## **CAPÍTULO ÚNICO**

**Trabalho a ser encaminhado para a  
Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**

# OCUPAÇÃO DAS TERRAS E INDICADORES DE QUALIDADE DOS SOLOS NA MICROBACIA DO RIBEIRÃO EXTREMA, DISTRITO FEDERAL.<sup>1</sup>

Wendel Neiva Martins Lago<sup>2</sup> & Marilusa Pinto Coelho Lacerda<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Projeto financiado pela FAPDF.

<sup>2</sup> Aluno do Mestrado em Gestão de Solo, Água e Qualidade Ambiental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV-UnB, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto Central de Ciências Ala Sul, Caixa Postal 4.508, CEP: 70.910-960, Brasília, DF, wendel\_lg@hotmail.com .

<sup>3</sup> Professora Associada I da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV/UnB.

## RESUMO

A microbacia do Ribeirão Extrema drena regiões do Distrito Federal (DF) ocupadas com extensas áreas produtoras de grãos, dotadas de alto nível tecnológico. A demanda crescente por alimentos e água, potencializada pelo considerável crescimento populacional no DF, desencadeia mecanismos de ocupação das terras sem o devido planejamento. Os objetivos deste estudo foram a avaliação do uso e ocupação das terras desta microbacia, com o auxílio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas e o estudo de indicadores de qualidade dos solos (QS) em áreas ocupadas por usos diversificados das terras (Área I: plantio direto com rotação anual de soja e milho; Área II: plantio direto com sucessão de feijão e sorgo). Densidade do solo (Ds), grau de floculação (GF), teor de matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC), respiração basal (Rmic) e Carbono da biomassa microbiana (Cmic) constituíram os atributos de QS avaliados. Com os dados obtidos nas análises dos indicadores avaliados de QS determinou-se a variabilidade espacial dos mesmos, nas áreas de estudo da microbacia em pauta, por meio de mapas digitais elaborados pelo software Surfer<sup>®</sup>. As análises estatísticas foram executadas utilizando-se o software estatístico Statistics Analysis System (SAS) e foi realizada análise de variância (ANOVA) seguida de teste de comparação de médias pelo método de Tukey. Os resultados demonstraram intensa exploração agrícola da microbacia do ribeirão Extrema, no entanto, detectou-se expressiva predominância (80,07%) de terras com uso agrícola adequado, conforme o Sistema Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras. Verificou-se que parte dos indicadores de QS avaliados foram influenciados pelos

diferentes tipos de manejos estudados (Ds, MO e Cmic), enquanto outros não se mostraram sensíveis aos mesmos (GF, CTC e Rmic). Os mapas digitais da distribuição espacial dos atributos de QS estudados mostraram-se eficientes na expressão da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de QS avaliados.

**Palavras chave:** ocupação das terras, qualidade dos solos, Sistema de Informações Geográficas, Sensoriamento Remoto.

## **LAND OCCUPATION AND SOIL QUALITY INDICATORS AT EXTREMA WATERSHED, FEDERAL DISTRICT.**

### **ABSTRACT**

The Extrema watershed drains areas of Distrito Federal (DF) occupied by large grain-producing areas, using advanced technologies. The increasing demand for food and water, enhanced by considerable population growth in the DF, triggers mechanisms and occupation of land without proper planning. The objectives of this study were to assess the use and occupation of this watershed with the help of Remote Sensing and Geographic Information System and the study of soil quality (SQ) indicators. It was determined also the spatial variability of soil quality attributes assessed in two areas, with diverse uses and management in the watershed under study (Area I: tillage with annual rotation of corn and soybean; Area II: tillage with succession of beans and sorghum). Soil bulk density (SD), flocculation index (FI), organic matter (OM), cation exchange capacity (CEC), microbial respiration (Rmic) and microbial biomass carbon (Cmic) were the attributes of SQ evaluated. Digital maps were drawn from the heterogeneity in the distribution of these attributes along the soil depths evaluated, using the Surfer<sup>®</sup> software. Statistical analysis was performed using the statistical software Statistics Analysis System (SAS) and consisted of analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey means comparison test. The results showed intensive agricultural use at Extrema watershed, however, we detected a significant predominance (80.07%) of appropriate agricultural use of lands, according to the Brazilian System of Agricultural Aptitude. It was found that some of the SQ indicators evaluated were affected by different types of soil management under evaluation (SD,

Cmic and OM), while others were not sensitive to them (FI, CEC and Rmic). The digital maps of the spatial distribution of SQ attributes studied were effective in the expressing the spatial variability of physical and chemical attributes.

**Word keys:** land occupation, soil quality, Geographical Information System, Remote Sensing.

## I – INTRODUÇÃO

A bacia do rio Preto é importante no planejamento e monitoramento dos processos de ocupação das terras e utilização dos recursos hídricos, estendendo-se além dos limites do Distrito Federal, uma vez que pertence à bacia hidrográfica do rio São Francisco (Carneiro et al., 2007). Constitui uma das cabeceiras do médio curso do rio São Francisco, sendo responsável pela disponibilidade hídrica em projetos agrícolas em desenvolvimento na região (Embrapa, 2005).

Esta bacia apresenta limitações edáficas e climáticas para o desenvolvimento da agricultura. Os solos são ácidos e o clima apresenta uma estação seca bem definida entre os meses de abril e setembro (Reatto et al., 2000). A intensificação da atividade agrícola ocorreu a partir da utilização de fertilizantes e corretivos de acidez do solo, além da irrigação, principalmente por pivôs centrais. A irrigação se concentra principalmente nas áreas planas e com disponibilidade hídrica superficial (Rodrigues et al., 2007).

A análise de características do meio físico e biótico, como cobertura vegetal, topografia, drenagem e tipo de solo, estabelecem diretrizes para o uso racional e adequado de um determinado espaço geográfico. Dessa maneira, determinam-se áreas de preservação de mananciais, reservas florestais, áreas agrícolas, distritos industriais e áreas de expansão urbana, para que o uso e ocupação das terras obedeça às características naturais da bacia e o planejamento de uso considere o desenvolvimento sustentado (Tucci, 1993).

As estimativas atuais são de que metade das terras utilizáveis do globo terrestre é regularmente manejada, ou seja, recebe algum grau de intervenção humana (Dumanski e Pieri, 2000). Diante desse cenário, erguem-se premissas de conservação da

qualidade dos solos, assim como a busca pela utilização racional e sustentável dos mesmos.

A qualidade do solo, segundo Doran e Parkin (1994), pode ser conceituada como a capacidade desse recurso exercer várias funções, dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das plantas, dos animais e humana. Segundo esses autores, a QS pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos dos solos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado de qualidade desses solos.

O estudo de uso e ocupação das terras constitui um importante passo para o entendimento das relações entre homem e o meio natural, o que possibilita o estabelecimento de ações de integração entre planejamento territorial e gestão ambiental (Oka-Fiori et al., 2003).

Para os estudos atuais de uso e ocupação das terras o desenvolvimento tecnológico possibilitou grandes abordagens de análises. A utilização e a evolução do sensoriamento remoto estabeleceram uma nova realidade de obtenção de informações espaciais e o geoprocessamento permitiu as análises dessas informações (Oka-Fiori et al., 2003).

O mapeamento de uso e ocupação das terras com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento constitui um instrumento de grande importância, visto que auxilia no diagnóstico acerca dos tipos de uso, podendo subsidiar ações de planejamento, conforme constatado por Lobo (2002), Santos (2006), Ferreira (2006), Chaves et al. (2010) e tantos outros.

Borges et al. (2007) recorreram ao sensoriamento remoto, para interpretação e processamento de imagens dos sensores LANDSAT/ETM+, ao conduzirem estudos acerca do uso agrícola do solo na bacia do rio Preto, DF. Com o objetivo de estabelecer uma análise multitemporal do uso das terras na bacia no rio Jardim, DF, Gomes-Loebmann et al. (2005) também utilizaram uma série temporal de imagens do satélite LANDSAT.

Proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, orienta o planejamento agrícola para uma diversidade de usos com diferentes níveis de manejo e consideram as condições agrícolas das terras por meio das características dos solos, fatores ecológicos e sócio-econômicos. Assim, tal

sistema estabelece critérios e parâmetros que auxiliam na avaliação da sustentabilidade ambiental e colaboram com a formulação de estratégias para o uso racional dos agroecossistemas.

Com o intuito de avaliar a adequação do uso e ocupação das terras em relação à aptidão agrícola das terras em diferentes microbacias do Distrito Federal, Rodrigues (1998), Lobo (2002) e Chaves et al. (2010), constataram que na maior parte das áreas, o uso e ocupação das terras não obedecem as potencialidades agrícolas das mesmas. Já Ferreira (2006) verificou que 51,18% da área estudada encontra-se com as terras utilizadas de forma adequada em relação ao Sistema Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras.

A análise geoestatística, que permite detectar a existência e a estrutura da variabilidade na distribuição espacial de atributos dos solos, constitui importante ferramenta de análise e descrição detalhada do comportamento destes. (Vieira, 2000; Carvalho et al., 2002; Vieira et al., 2002). Segundo Vendrusculo (2001), a determinação das coordenadas geográficas dos pontos amostrados possibilita a análise espacial dos dados, proporcionando a representação da distribuição geográfica destes dados nas áreas em estudo. O nível de detalhamento é obtido por meio da distância entre pontos de amostragem e depende tanto da propriedade a ser analisada quanto da escala de trabalho (tamanho da área amostrada).

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo é particularmente importante em áreas sob diferentes manejos. A análise geoestatística pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas (Trangmar et al., 1985), como também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das culturas a determinadas práticas de manejo (Ovalles e Rey, 1994).

Nesse contexto, o presente trabalho objetiva avaliar o uso e ocupação das terras e o estudo de indicadores de qualidade dos solos em áreas ocupadas por usos e manejos agrícolas diversificados na microbacia do ribeirão Extrema, Distrito Federal.

## **II – MATERIAL E MÉTODOS**

### **II.1 – Caracterização da Área de Estudo**

Os estudos foram conduzidos na microbacia do ribeirão Extrema (Figura 1). O ribeirão Extrema, com aproximadamente 31 km de comprimento, é considerado um dos principais cursos d'água afluentes do rio Preto no Distrito Federal (Carneiro, 2003). As terras de sua microbacia são caracterizadas pelo predomínio de atividades agropecuárias, com o uso intensivo dos recursos hídricos em sistemas de irrigação de grande porte e alvo de conflitos pelo uso da água. A bacia do Rio Preto, historicamente, tem sido reservada, pelos diversos planos de ocupação territorial, como área eminentemente destinada para a utilização agropecuária. Suas terras são intensamente utilizadas pela exploração agropecuária, com cerca de 70.000 hectares destinados à produção agrícola (Carneiro, 2003). Desta área cultivada, cerca de 10% são irrigados, apesar de que o potencial de terras irrigáveis seja superior. Trata-se de uma região altamente produtiva, responsável por 80% da produção agrícola do DF, particularmente grãos, com destaque para a soja (Maldaner, 2003).

### **Localização**

O Distrito Federal está localizado no Planalto Central do Brasil, onde se localizam as nascentes de afluentes dos três maiores rios brasileiros - o rio Maranhão (afluente do rio Tocantins), o rio Preto (afluente do rio São Francisco) e os rios São Bartolomeu e Descoberto (tributários do rio Paraná). O rio Preto constitui uma sub-bacia do rio Paracatu e um importante tributário do rio São Francisco, localizado a leste do Distrito Federal, na fronteira com os Estados do Goiás e de Minas Gerais, cuja cabeceira ocorre no município de Formosa (GO).

A bacia do rio Preto está localizada na porção oriental do Distrito Federal (DF), aproximadamente entre as latitudes 15°30'00"S e 16°05'00"S e as longitudes 47°38'00"O e 47°21'30"O. No Distrito Federal, compreende uma área de 185.000 hectares, representando 22,5% do seu território e limitando-se a oeste e sudeste com as bacias do rio São Bartolomeu e do rio São Marcos, que drenam para o rio Paranaíba – rio Paraná. Os principais cursos d'água afluentes do rio Preto no Distrito Federal são os ribeirões Santa Rita e Jacaré, localizados na porção norte da bacia; o ribeirão Extrema (Figura 1) e o rio Jardim, localizados na porção central; e o córrego São Bernardo ao

Sul. Estes tributários seguem em sentido subparalelo, drenando a região noroeste-sudeste do DF .

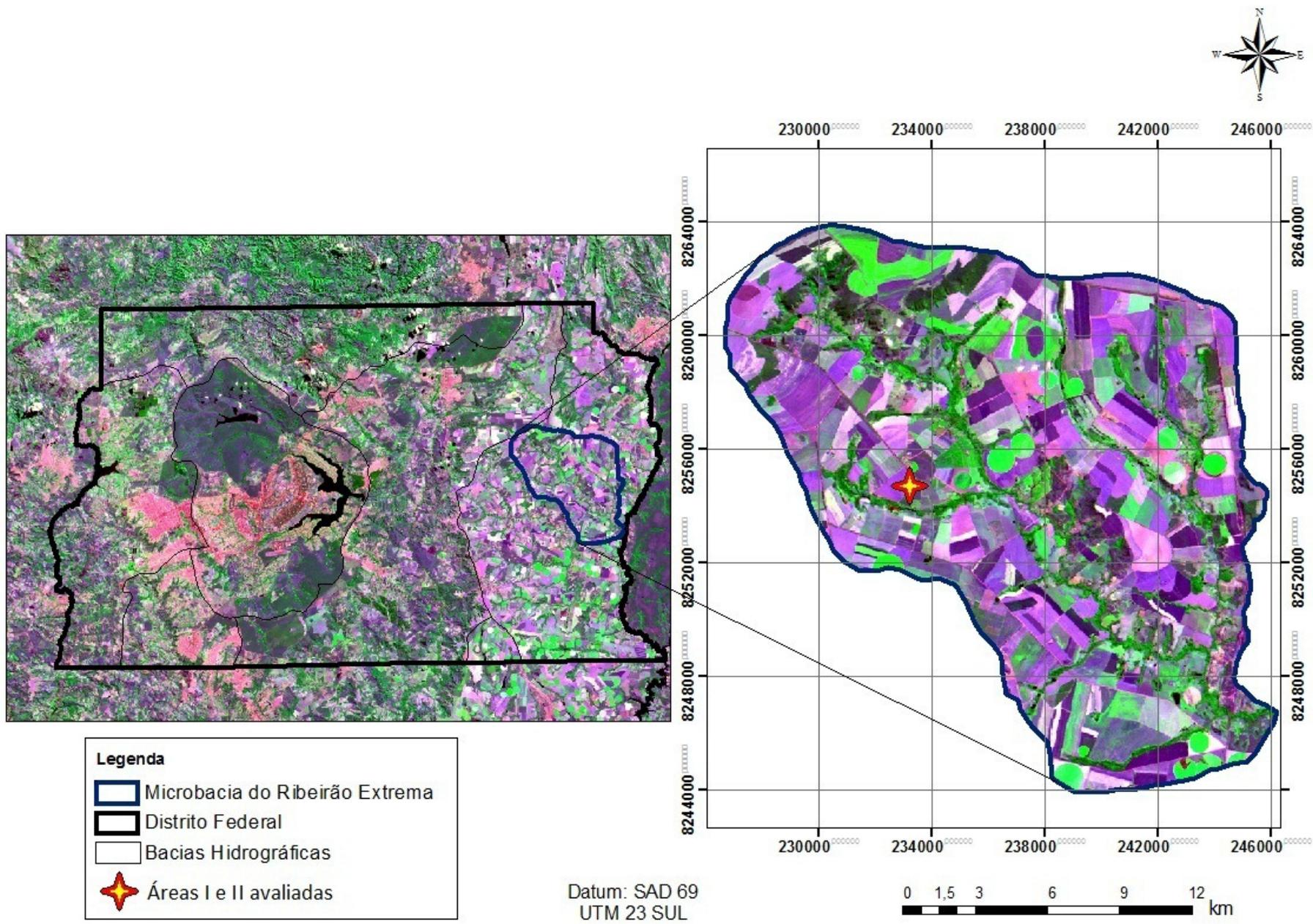
### **Clima**

Segundo a classificação climática de Köppen (CODEPLAN, 1984), no Distrito Federal podem ocorrer, em função de variações de temperaturas médias (dos meses mais frios e mais quentes) e de altitude, climas do tipo: Tropical *Aw*, Tropical de Altitude *Cwa* e Tropical de Altitude *Cwb*. A precipitação média anual é da ordem de 1.300 mm, sendo que existe uma distribuição irregular, onde as menores alturas pluviométricas anuais ocorrem na porção leste e as taxas mais elevadas estão concentradas em dois pontos a NE e SE do Distrito Federal (Baptista, 1998).

Um efeito anômalo da distribuição das precipitações é observado durante os veranicos de janeiro. Esse fator climático é conhecido pelos agricultores da região do Cerrado e em muitos anos é responsável pela quebra da produção agrícola da Bacia do Rio Preto, onde o efeito é mais acentuado (Campos, 2004).

### **Geologia**

Quatro conjuntos litológicos distintos compõem o contexto geológico regional do DF: os Grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares. Os grupos Paranoá e Canastra apresentam idade meso/neoproterozóica e os grupos Araxá e Bambuí, idade neoproterozóica. O Grupo Bambuí insere-se completamente nos domínios da bacia do rio Preto. As litologias deste grupo se distribuem por cerca de 15% da área total do DF, sendo observadas na porção leste ao longo do vale do rio Preto. É composto por intercalações de rochas metassedimentares clásticas e carbonáticas, com predomínio de metassiltitos laminados, metassiltitos argilosos e bancos de arcóseos, com cor de alteração rosada/avermelhada e com cor de rocha fresca em vários tons de verde (Campos, 2004).



**Figura 1** – Imagem orbital *LANDSAT-TM5* (Junho/ 2010) da microbacia do ribeirão Extrema/DF.

## **Classes de Solos**

Os Latossolos representam 54,5% da área do Distrito Federal. Os Latossolos Vermelhos ocorrem principalmente nos topos das chapadas principais, ao longo dos divisores de drenagens, com topos planos, na depressão do lago Paranoá e na bacia do rio Preto. Os Latossolos Vermelho-Amarelos ocorrem principalmente nas bordas de chapadas e divisores, em superfícies aplanadas, abaixo dos topos das chapadas (Martins, 1998).

Segundo Embrapa (2006), a classe Latossolo Vermelho de ocorrência no DF é definida como não hidromórfica, com horizonte A moderado e horizonte B latossólico, rico em sesquióxidos, de textura argilosa ou média. São solos espessos, álicos e fortemente ácidos, pouco férteis, com fraca distinção entre os horizontes. A vegetação associada é geralmente Cerrado e Cerradão.

A cor do horizonte Bw é a principal distinção entre os Latossolos Vermelhos e os Latossolos Vermelho-Amarelos.

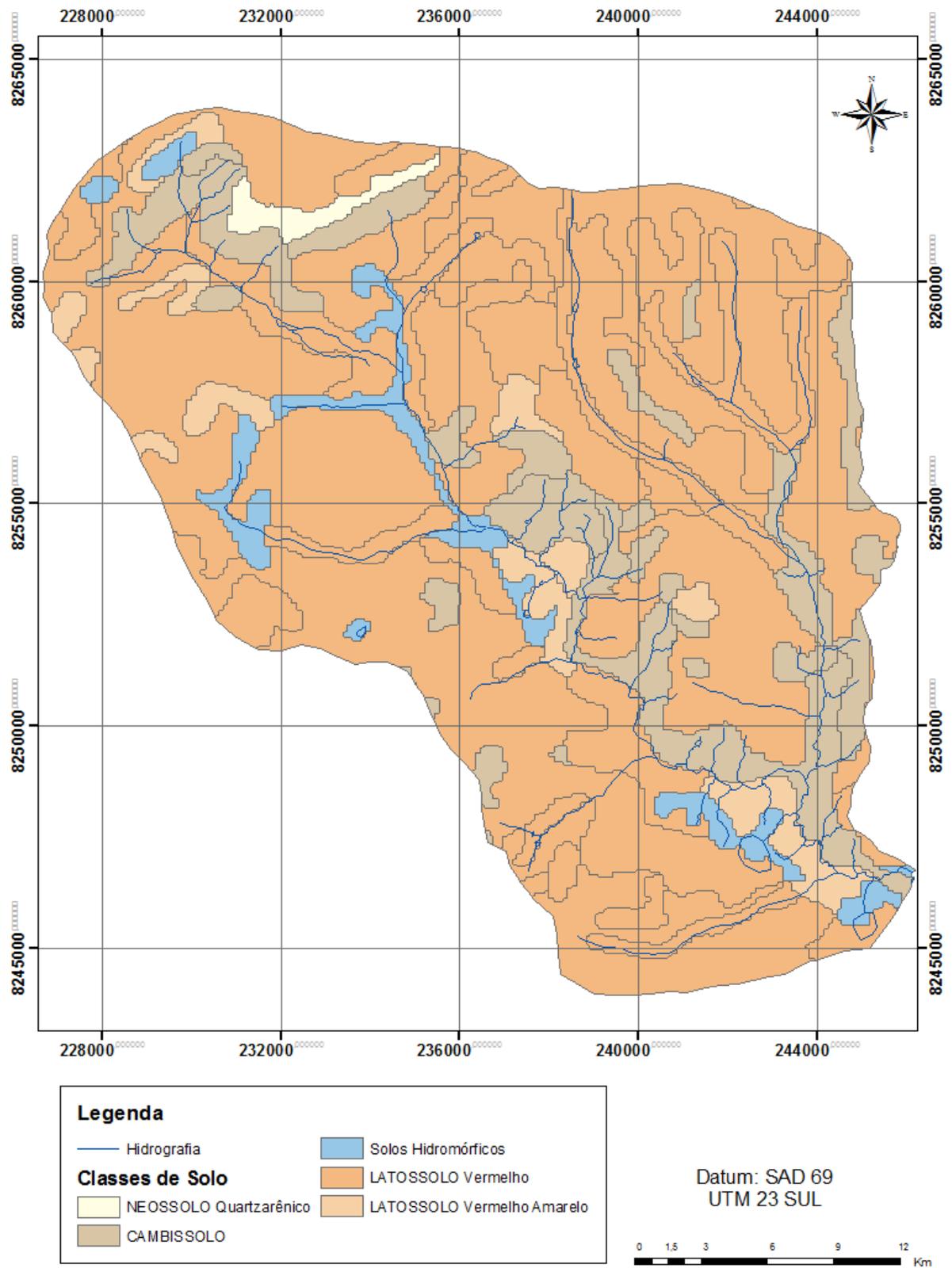
A classe dos Cambissolos, que representam 31,0% da área do DF, ocorre preferencialmente nas vertentes das bacias dos rios Maranhão, Descoberto e São Bartolomeu e nas encostas com declividades mais elevadas, na depressão do lago Paranoá e na bacia do rio Preto (Martins, 1998). É uma classe constituída por solos pouco desenvolvidos, ou seja, possuem horizonte B incipiente, no qual alguns minerais primários e fragmentos líticos estão ainda presentes (Embrapa, 1978).

Na microbacia do ribeirão Extrema há o predomínio de Latossolos Vermelhos. Ocorrem, sudordinadamente, Cambissolos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Solos Hidromórficos e Neossolos Quartzarênicos, conforme mostra a figura 2.

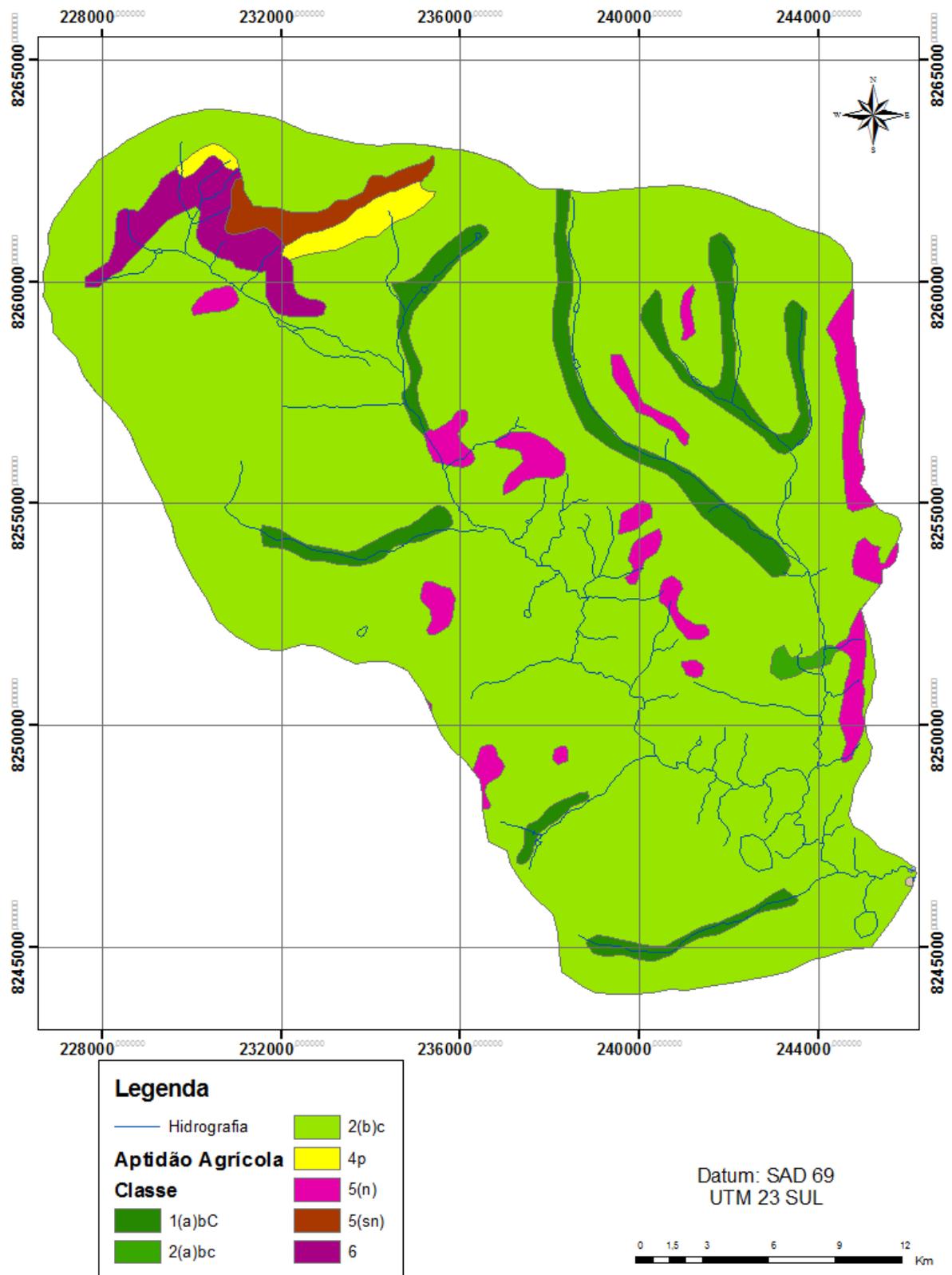
## **Aptidão Agrícola das Terras**

A microbacia do ribeirão Extrema apresenta suas terras classificadas em sete classes de aptidão agrícola das terras, de acordo com Ramalho Filho e Beek (1995).

A figura 3 apresenta o mapa de aptidão agrícola das terras da microbacia estudada. Nela, verifica-se a predominância da classe **2(b)c**, onde a aptidão agrícola para lavouras é restrita para o nível de manejo B, regular no nível de manejo C e inapta para o nível de manejo A.



**Figura 2** – Mapa de classes de solos da microbacia do ribeirão Extrema/DF (Embrapa, 1978).



**Figura 3** – Mapa de aptidão agrícola das terras da microbacia do ribeirão Extrema/DF (Ramalho Filho e Beek,1995).

Observam-se reduzidas, e não menos significativas áreas, dispersas em toda a microbacia, com terras pertencentes à classe *I(a)bc*, cuja aptidão agrícola é restrita para lavouras com nível de manejo A, regular para lavouras com nível de manejo B e boa para lavouras com nível de manejo C.

As outras classes de aptidão agrícola identificadas tratam-se de áreas bem delimitadas, proporcionalmente de menor dimensão e dispersas na microbacia em questão. São elas:

- **2(a)bc**: Aptidão restrita para o nível de manejo A e regular para lavouras com nível de manejo B e C;
- **4p**: Aptidão regular para pastagem plantada;
- **5(n)**: Aptidão restrita para pastagem natural;
- **5(sn)**: Aptidão restrita para silvicultura e para pastagem natural;
- **6**: Sem aptidão agrícola, deve ser estabelecida ou mantida a cobertura vegetal.

## **II.2– Uso e Ocupação das Terras da Microbacia do Ribeirão Extrema**

No estudo do uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema, foi utilizada uma imagem de satélite LANDSAT ETM+, composição colorida em RGB das bandas 3, 4 e 5, ano 2010. Os softwares usados foram o ENVI 4.1 e o ArcGis 9.1.

### **Correção Geométrica da Imagem de Satélite**

O primeiro processamento realizado foi a correção geométrica da imagem LANDSAT, por meio do software ENVI 4.1, na função registro, utilizando o modelo polinomial de primeiro grau e método de reamostragem do vizinho mais próximo, usando como referência a base cartográfica de hidrografia e rodovias da base da CODEPLAN/SICAD (1991), escala 1:10.000.

### **Recorte da Imagem de Satélite**

A área da microbacia do ribeirão Extrema foi delimitada por meio do software ArcGis 9.1, utilizando como base, curvas de nível e hidrografia extraídos das cartas planialtimétricas do Distrito Federal da CODEPLAN/SICAD (1991), em escala 1:10.000.

Com o arquivo vetorial do limite da área do ribeirão Extrema, a imagem de satélite LANDSAT foi recortada no software ENVI 4.1, por intermédio de geração e aplicação de máscara.

### **Classificação Automatizada da Imagem de Satélite**

Inicialmente, para auxiliar na escolha das classes de ocupação das terras, foi realizada uma interpretação visual da imagem, de maneira a identificar os diferentes alvos presentes na microbacia de estudo, bem como, para determinar a escala e a legenda preliminar do mapeamento de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema.

A legenda preliminar do mapeamento, ou seja, as classes de uso e ocupação das terras foi feita com base em Corine (1992).

A escala utilizada no mapeamento foi de 1:100.000. As classes definidas de uso e ocupação das terras foram as seguintes:

Agricultura Plena: culturas de ciclo anual ou perenes, em pleno desenvolvimento vegetativo ou reprodutivo.

Solo em Pousio sem Palhada: áreas agricultáveis em período de pousio, recém delimitadas e preparadas para uso agrícola ou recém submetidas a procedimentos de colheita, desprovidas da proteção de cobertura vegetal morta ou com palhada em quantidade insuficiente para configurar assinatura espectral típica.

Solo em Pousio com Palhada: áreas agricultáveis em período de pousio ou recém submetidas a procedimentos de colheita ou semeadura, providas de cobertura vegetal morta típica do sistema de plantio direto.

Mata de Galeria: formação vegetal localizada nas margens dos corpos d'água como córregos, lagos, represas e nascentes. Constituem florestas perenifólias, com formação arbórea alta e sempre verde. É considerada pelo Código Florestal Federal (Lei Federal nº 4.771/1965) como área de preservação permanente - APP.

Cerrado: fitofisionomias do Cerrado de porte alto, o cerrado *sensu stricto*, e as matas mesofíticas e de encosta e vegetação natural de porte médio a baixo constituída por árvores e arbustos tortuosos;

Reflorestamento: áreas convertidas, por indução direta do homem, de terras não florestadas para terras florestadas por meio do plantio de mudas ou semeadura. Correspondem à áreas com predomínio de espécies de pinus ou eucaliptos.

Estabelecidas as classes de ocupação das terras na área de estudo, foi iniciado o processo de classificação automática das imagens de satélite utilizando-se a classificação supervisionada, ou seja, aquela que usa algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais se faz com base em amostras, fornecidas pelo analista ao sistema (Moreira, 2003).

Foi utilizado no estudo o algoritmo Máxima Verossimilhança (MAXVER), que assume que um vetor de observação pertence à classe correspondente, se a probabilidade que associa este *pixel* à classe for maior que a probabilidade que associa o *pixel* a qualquer outra classe.

As amostras das classes previamente estabelecidas foram obtidas por meio do *software* ENVI 4.1, na função região de interesse (*roi*), com amostras de 800 a 1000 *pixels* para cada uma das classes.

Estabelecidas as regiões de interesse, iniciou-se o processo de classificação da imagem LANDSAT, por meio da função classificação/supervisionada/MAXVER.

### **Geração do Mapa de Uso e Ocupação das Terras**

Após a classificação da imagem LANDSAT em relação ao uso e ocupação das terras, foram realizadas campanhas de campo para a verificação e validação da legenda preliminar adotada.

Concluído o processo de classificação, a imagem foi vetorizada no ENVI 4.1 e implementada no *software* ArcGis 9.1. Por meio da extensão XTools/cálculo de área foi realizado o cálculo das áreas de cada classe de ocupação na microbacia do ribeirão Extrema e em seguida foi elaborado o mapa de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema, do ano de 2010, que corresponde ao ano da imagem de satélite utilizada.

### **Avaliação do Uso e Ocupação das Terras da Microbacia do Ribeirão Extrema**

A partir do cruzamento no *software* ArcGis 9.1 do mapa de uso e ocupação das terras gerado e o mapa de aptidão agrícola das terras, por intermédio de operações “Raster Calculation” e tabulação cruzada, disponíveis no módulo Spatial Analyst, foi obtido o mapa de adequação de uso das terras da microbacia estudada, assim como os valores de adequabilidade de exploração das terras, em relação à aptidão agrícola, da microbacia do ribeirão Extrema. As áreas foram delimitadas conforme as seguintes classes de adequação do uso e ocupação das terras:

I. Uso Agrícola Adequado: áreas cujas terras estão sendo exploradas dentro dos limites de sua aptidão agrícola;

II. Uso Acima do Potencial Agrícola: áreas cujas terras estão sendo exploradas acima dos limites da sua aptidão agrícola. Trata-se de uso agrônômico inadequado pela incapacidade da área em suportar determinados tipos de exploração sem que haja queda de produtividade ou impactos ambientais;

III. Uso Abaixo do Potencial Agrícola: áreas cujas terras estão sendo exploradas abaixo dos limites da sua aptidão agrícola. Trata-se de uso agrônômico caracterizado pela subutilização do potencial agrônômico oferecido pela área, configurando uso conservador;

IV. Uso Ambiental Adequado: áreas cujas terras apresentam vegetações nativas ou implantadas ou típicas para a preservação de ambientes protegidos pela legislação ambiental, visando a conservação dos ecossistemas, particularmente solos e água.

## **II.3 – Indicadores da Qualidade do Solo (QS)**

### **II.3.1 – Descrição e Histórico das Áreas de Estudo de Indicadores de QS**

Mediante o mapa elaborado de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema e campanhas de campo, foram selecionadas duas áreas, ambas submetidas ao sistema de plantio direto (PD), denominadas de Área I, com uso mais conservador do solo e Área II com uso mais intensivo do solo.

A Área I apresenta o sistema PD com rotação entre as culturas de milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*) na estação chuvosa, ficando a mesma em pousio na estação seca, com eventuais plantios seqüenciais de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*), ao longo dos últimos 15 anos (Figura 4). A rotação de culturas consiste em alternar o cultivo de espécies em anos sucessivos, onde as culturas são implantadas em uma mesma época, em anos diferentes.

Na Área II, sob sistema de PD com sucessão de culturas, adota-se repetitivamente, também por 15 anos, o cultivo anual de feijão (*Phaseolus vulgaris*) na estação chuvosa, com plantio seqüencial de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) (Figura 5). A sucessão de culturas diz respeito à alternância entre culturas dentro do mesmo ano agrícola, repetindo-as no ano seguinte.



**Figura 4** – Área I, localizada na microbacia do ribeirão Extrema/DF, sob plantio direto de milho, pós-colheita (Lago, W. N. M., maio / 2010).



**Figura 5** – Área II, localizada na microbacia do ribeirão Extrema/DF, sob plantio direto de sorgo, sequencial ao plantio de feijão, pós-colheita (Lago, W. N. M., maio / 2010).

As áreas vêm sendo utilizadas pela agricultura desde 1986, sendo o plantio convencional originalmente implantado e posteriormente suplantado pelo sistema de plantio direto.

Em ambas as áreas efetuam-se, anualmente, a correção da acidez (calcário dolomítico) e manutenção da fertilidade do solo por meio de fertilizantes químicos NPK + micronutrientes. Há dois anos, anteriores à data de coleta, maio de 2010, procedimentos de escarificação foram efetuados em ambas as áreas em virtude de compactação superficial acentuada.

Percebe-se tratar de áreas com histórico de intensa atividade antrópica, onde os solos foram exaustivamente utilizados.

Tais áreas foram devidamente georreferenciadas, assim como os locais de coleta de amostras para o estudo dos indicadores de QS, onde as coordenadas geográficas de interesse integraram o banco de dados digital do projeto, no *ArcGIS* 9.1.

Estabelecidas, delimitadas e georreferenciadas, as áreas em questão tiveram alguns atributos de qualidade do solo investigados, de modo a possibilitar estudos acerca da dinâmica da sua distribuição espacial, por meio de mapas digitais.

### **II.3.2– Classificação dos Solos das Áreas de Estudo dos Indicadores de QS**

Para a realização do estudo proposto, foi previamente definido que o solo das áreas de estudo dos indicadores de QS deveriam ser os mesmos, a fim de não acrescentar outros parâmetros que pudessem interferir na avaliação dos indicadores selecionados para o estudo da qualidade do solo. Foi, então, realizada a classificação dos solos no quarto nível categórico do SiBCS das áreas de estudo por meio de análises morfológicas de acordo com Santos et al. (2005), e análises físicas e químicas (V, CTC, m) segundo metodologias descritas em Embrapa (1997). Foram coletadas amostras compostas, constituídas de cinco sub-amostras que foram devidamente homogeneizadas, com cerca de 1 kg. Efetuou-se a amostragem em duas profundidades: 0-10 cm e 10-20 cm, para cada repetição nas duas áreas de estudo.

Os ensaios laboratoriais foram executados pelo laboratório *CAMPO Análises Agrícolas e Ambientais* – Paracatu / MG, segundo metodologias descritas em Embrapa (1997), sendo que para textura do solo foi utilizado o Método do Densímetro e a classe textural foi determinada por meio do diagrama triangular simplificado de granulometria do solo.

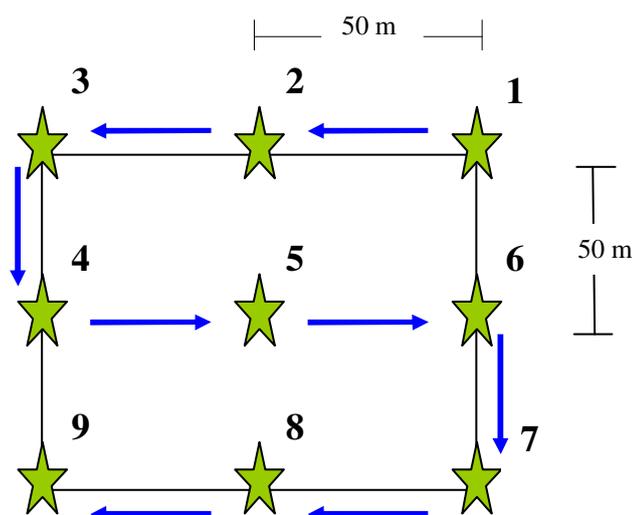
### II.3.3– Atributos de Qualidade do Solo

Para a avaliação dos atributos de qualidade do solo foram coletadas amostras deformadas, para fins de análises químicas e biológicas, e indeformadas, destinadas às análises físicas, nas duas áreas selecionadas para o estudo.

Estabeleceu-se uma malha amostral para cada área investigada de um hectare, com nove pontos equidistantes entre si (50 m), para a coleta de amostras em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm) dentro de um raio de dois metros a partir de cada ponto (Figura 6). Foram coletadas amostras compostas, constituídas de cinco sub-amostras, que foram devidamente homogeneizadas, com cerca de 1 kg, com três a cinco repetições por ponto amostral. As amostras destinadas às análises biológicas foram mantidas sob refrigeração, em caixas isotérmicas com gelo, imediatamente após a coleta.

Nas nove repetições, de cada área de estudo, as amostras indeformadas foram coletadas por meio do Método do Anel Volumétrico, de bordas cortantes e com 100 cm<sup>3</sup> de volume interno, constituídas por três repetições, em duas profundidades: 0-10 cm e 10-20 cm.

As amostras destinadas as análises físicas e químicas foram secas ao ar, sob sombreamento, com posterior tamisamento em peneira de 2 mm, para obtenção da fração TFSA.



**Figura 6** – Malha amostral das áreas de estudo na microbacia do ribeirão Extrema/DF.

### II.3.3.1– Atributos Físicos

Os indicadores físicos analisados foram:

1. Grau de Flocculação
2. Densidade do Solo

Para a análise do Grau de Flocculação (GF) foram utilizadas amostras de TFSA e para a determinação da Densidade do Solo (Ds) foram utilizadas as amostras indeformadas.

O Grau de Flocculação foi determinado no laboratório *CAMPO Análises Agrícolas e Ambientais* – Paracatu / MG, e as análises de Densidade do Solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – FAV/UnB.

O Grau de Flocculação foi calculado a partir da seguinte expressão, de acordo com Embrapa (1997):

$$GF = \{(Argila\ em\ NaOH - Argila\ em\ H_2O) / Argila\ em\ NaOH\} \times 100$$

As análises laboratoriais para determinação da Densidade do Solo consistiram em pesagem inicial do conjunto metálico e solo úmido, posterior secagem em estufa a 105°C por 24 horas e nova pesagem. De posse de tais valores, tornou-se viável o cálculo da Ds, em  $kg\ dm^{-3}$ , por meio da expressão (Embrapa, 1997):

$$Ds = Ms / Vt$$

Onde:

Ms = massa da amostra de solo seca a 105°C (g)

Vt = volume do anel ( $cm^3$ )

### II.3.3.2 – Atributos Químicos

Os indicadores químicos analisados foram:

1. Teor de Matéria Orgânica
2. Capacidade de Troca Catiônica

Para determinação analítica do teor de Matéria Orgânica (MO) e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) foram utilizadas amostras de TFSA, sendo as análises realizadas no laboratório *CAMPO Análises Agrícolas e Ambientais* – Paracatu-MG.

A metodologia adotada para determinação do teor de Matéria Orgânica baseou-se no teor de carbono orgânico, obtido pela oxidação via úmida com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,4 N e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) 0,1 N, utilizando-se difenilamina como indicador (Embrapa, 1997).

Para obtenção da Capacidade de Troca Catiônica utilizou-se a soma de cátions trocáveis (S) somada a acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ) (Embrapa, 1997). Para extração do  $Ca^{2+} + Mg^{2+}$  foi utilizado o KCl 1 N e para sua determinação foi utilizado EDTA 0,0125N, com o indicador *eriochrome black*. Utilizou-se HCl 0,05 N e a técnica da espectrofotometria de chama, respectivamente, na extração e determinação do  $K^+$ . Na extração da fração ( $H^+ + Al^{3+}$ ) utilizou-se acetato de cálcio 1N (pH 7,0) como extrator e na sua quantificação recorreu-se a solução de NaOH, com posterior aplicação de fenolftaleína como indicador.

### II.3.3.3 – Atributos Biológicos

As amostras coletadas no campo foram mantidas sob refrigeração e enviadas ao Laboratório de Biologia do Solo da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, onde foram realizados os ensaios analíticos.

A Respiração Basal Microbiana ( $R_{mic}$ ) foi calculada a partir da metodologia adotada por Alef e Nannipieri (1995), na qual efetua-se a quantificação do teor de  $C-CO_2$  liberado das amostras de solo ao longo de sete dias. Para tanto, após tamisadas em peneira de 8 mm, com posterior correção da umidade, procedeu-se a incubação de subamostras de 20 g, em triplicata, por sete dias. O teor de  $CO_2$  liberado ao longo do processo foi determinado por titulação com HCl 0,1 N e indicador fenolftaleína e calculado pela diferença entre o número de moles de KOH inicial e KOH reagido com o ácido.

Para a determinação do Carbono da Biomassa Microbiana ( $C_{mic}$ ) recorreu-se ao método CFE (clorofórmio - fumigação - extração) (Vance et al., 1987). Para cada parcela amostrada foram feitas seis repetições, sendo três amostras fumigadas e três amostras não fumigadas, cada uma contendo 20 gramas de solo. Após fumigação com clorofórmio ( $CHCl_3$ ), acondicionou-se as amostras em dessecador por 24 horas. Posteriormente, adicionou-se  $K_2SO_4$  0,5 M às amostras que foram submetidas à agitação horizontal (150 rpm / 30 min) e filtragem para extração do  $C_{mic}$ . Do filtrado, retirou-se alíquotas e adicionou-se  $K_2Cr_2O_7$  66,7 mM + solução de  $H_2SO_4$  (98%) +

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (88%). A mistura foi então aquecida em bloco digestor para oxidação do carbono presente nas amostras de solo. Após resfriamento, o K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> residual foi quantificado por meio da titulação com sulfato ferroso amoniacal 33,3 mM, na presença de difenilamina 1%.

### **II.3.4 – Análises Estatísticas dos Atributos de Qualidade do Solo**

Duas áreas representativas foram selecionadas, estando estas submetidas a tratamentos distintos — Área I: plantio direto com rotação anual de milho e soja e Área II: plantio direto seqüencial de feijão e sorgo granífero — e amostradas em duas profundidades (0-10 cm e 10-20 cm). Cada área investigada foi dimensionada em 1 (um) hectare, onde 9 pontos foram selecionados (Figura 6) para a coleta de amostras destinadas às análises dos atributos físicos, químicos e biológicos de qualidade do solo, com 3 (Ds) a 5 (GF, CTC, MO, Rmic e Cmic) repetições para cada atributo estudado.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software estatístico Statistics Analysis System (SAS) e constituiu de análise de variância (ANOVA) em relação ao tratamento (Áreas I e II), repetições (nove), profundidades (0-10 e 10-20 cm) e interação tratamento\*profundidade, seguida de teste de média Tukey, com posterior análise dos resultados à 1% ou à 5% de probabilidade, conforme a sensibilidade do método para cada atributo de qualidade do solo estudado (GF, Ds, MO, CTC, Rmic, Cmic). Quando a ANOVA não foi considerada significativa em relação à interação tratamento\*profundidade, o teste Tukey foi realizado a partir das médias dos atributos avaliados em cada uma das áreas amostrais.

Valores discrepantes observados entre as nove repetições em cada área amostral, nos ensaios laboratoriais dos atributos biológicos de qualidade do solo, foram eliminados por meio de filtros estatísticos. Ensaios estatísticos, por meio de Correlações de Pearson, foram executados para constatação de possíveis interações entre os atributos de QS avaliados.

### **II.3.5 – Distribuição Espacial dos Atributos de Qualidade do Solo**

De posse dos resultados das análises dos atributos físicos, químicos e biológicos de QS, com o intuito de verificar a distribuição e variação espacial dos atributos de QS, foram confeccionados mapas digitais da distribuição espacial destes atributos nas duas áreas experimentais. Para tanto, foram utilizados aplicativos do *software Surfer 7.0* para interpolação e mapeamento das variáveis.

A partir das coordenadas do ponto amostral e dos valores assumidos pela variável nesses pontos, pode-se obter um mapa da distribuição espacial para cada variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação. O método de interpolação utilizado foi o de Mínima Curvatura (Spline), uma vez que este método tem sido usado com eficiência nos estudos das Ciências da Terra (Medina e Medina, 2007).

### III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

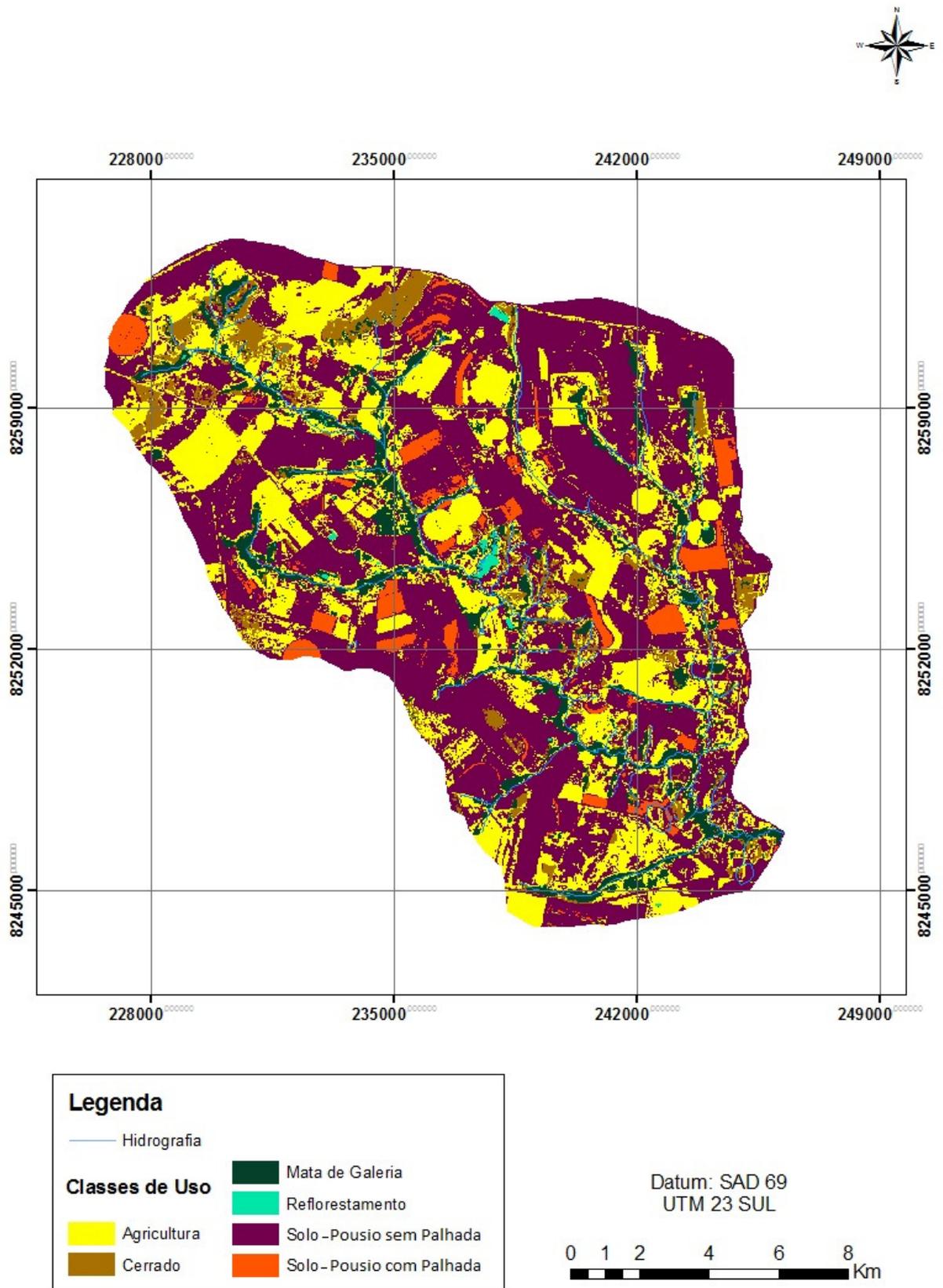
#### III.1 – Uso e Ocupação das Terras na Microbacia do Ribeirão Extrema

O mapa de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema, gerado por meio da classificação supervisionada da imagem LANDSAT (2010), encontra-se disposto na figura 7.

A microbacia estudada possui 24.730,00 hectares de área, onde se verificam usos e ocupações diversificadas. A quantificação dos diferentes tipos de uso e ocupação da microbacia em estudo, listada na tabela 1, demonstra o predomínio de áreas com solo em pousio sem palhada (52,21%).

**Tabela 1** – Quantificação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.

Uso e Ocupação	Área (ha)	%
Agricultura	7.213,37	29,16
Solo - Pousio sem Palhada	12.911,84	52,21
Solo - Pousio com Palhada	1.079,88	4,37
Cerrado	1.481,75	5,99
Reflorestamento	88,64	0,37
Mata de Galeria	1954,52	7,90
Total	24.730,00	100,00



**Figura 7** – Mapa de uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF (Junho/ 2010).

Este predomínio é justificável em função da época do imageamento do satélite LANDSAT (junho/2010), que corresponde à época seca no Distrito Federal, onde a maioria das terras agricultáveis encontra-se em pousio. Observa-se que o somatório das áreas destinadas à exploração agrícola – agricultura (29,16%), solo em pousio sem palhada (52,21%). e solo em pousio com palhada (4,37%) – representa 85,74 % das áreas investigadas na microbacia do ribeirão Extrema. Já áreas ocupadas por Cerrado (5,99%), reflorestamento (0,37%) e mata de galeria (7,9%) totalizam apenas 14,26% das áreas da microbacia em questão.

Evidencia-se, pelo exposto, a destinação quase que exclusiva das áreas da microbacia do ribeirão Extrema para fins de atividades agropecuárias.

Resultados análogos foram obtidos por Bilich (2007) ao investigar a ocupação das terras na microbacia do ribeirão Mestre D'Armas no DF, onde constatou o predomínio de áreas exploradas com agricultura anual.

Já nas avaliações do uso das terras efetuadas por Chaves et al. (2010), na região do rio Descoberto (DF), verificou-se que apenas 21,59% das áreas estavam sendo destinadas à agricultura. Esta diferença deve-se ao tipo de agricultura implantada na região, que corresponde à olericultura, predominantemente, enquanto que na área de estudo, a agricultura é responsável pela maior produção de grãos no DF.

A olericultura no DF é constituída por pequenos produtores, com nível tecnológico médio, enquanto que na região de estudo, a agricultura é caracterizada por extensas áreas dotadas de alto nível tecnológico.

Há ainda de se considerar o expressivo percentual de terras com solo em pousio sem palhada (52,21 %) (Tabela 1), evidenciando a vulnerabilidade destas áreas frente à erosão hídrica. Sá et al. (2004) relatam que sedimentos erodidos de solos agrícolas contém matéria orgânica, fertilizantes, corretivos, sementes e até pesticidas aplicados pelos produtores rurais. Depositados nos leitos dos rios, esses sedimentos provocam a diminuição da vazão devido ao assoreamento, aumentam os riscos de enchentes e contaminam os mananciais.

O forte apelo na exploração agrícola sugere indícios de considerável perturbação antrópica nos recursos edáficos em questão, o que pode comprometer a sustentabilidade do agroecossistema, particularmente ao se verificar que apenas 0,37 % da área total da microbacia do ribeirão Extrema está sendo destinada às práticas de reflorestamento (Tabela 1).

Influências antrópicas foram similarmente detectadas por Gomes-Loebman et al. (2005) em estudos acerca do uso das terras na bacia do rio Jardim (DF) por meio de análises multitemporais de imagens LANDSAT. Os autores identificaram a evolução da atividade antrópica e verificaram que a vegetação original perdeu espaço para a agricultura ao longo da série histórica estudada.

Ferreira (2006) também detectou significativas interferências do uso antrópico em áreas da bacia do rio São Bartolomeu, DF. Por meio da avaliação temporal do uso e ocupação das terras, verificou-se que mais da metade da área de estudo foi ocupada pela agricultura e pela área urbana, com relativa redução de áreas sob cobertura de vegetação nativa.

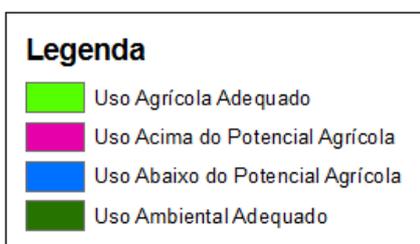
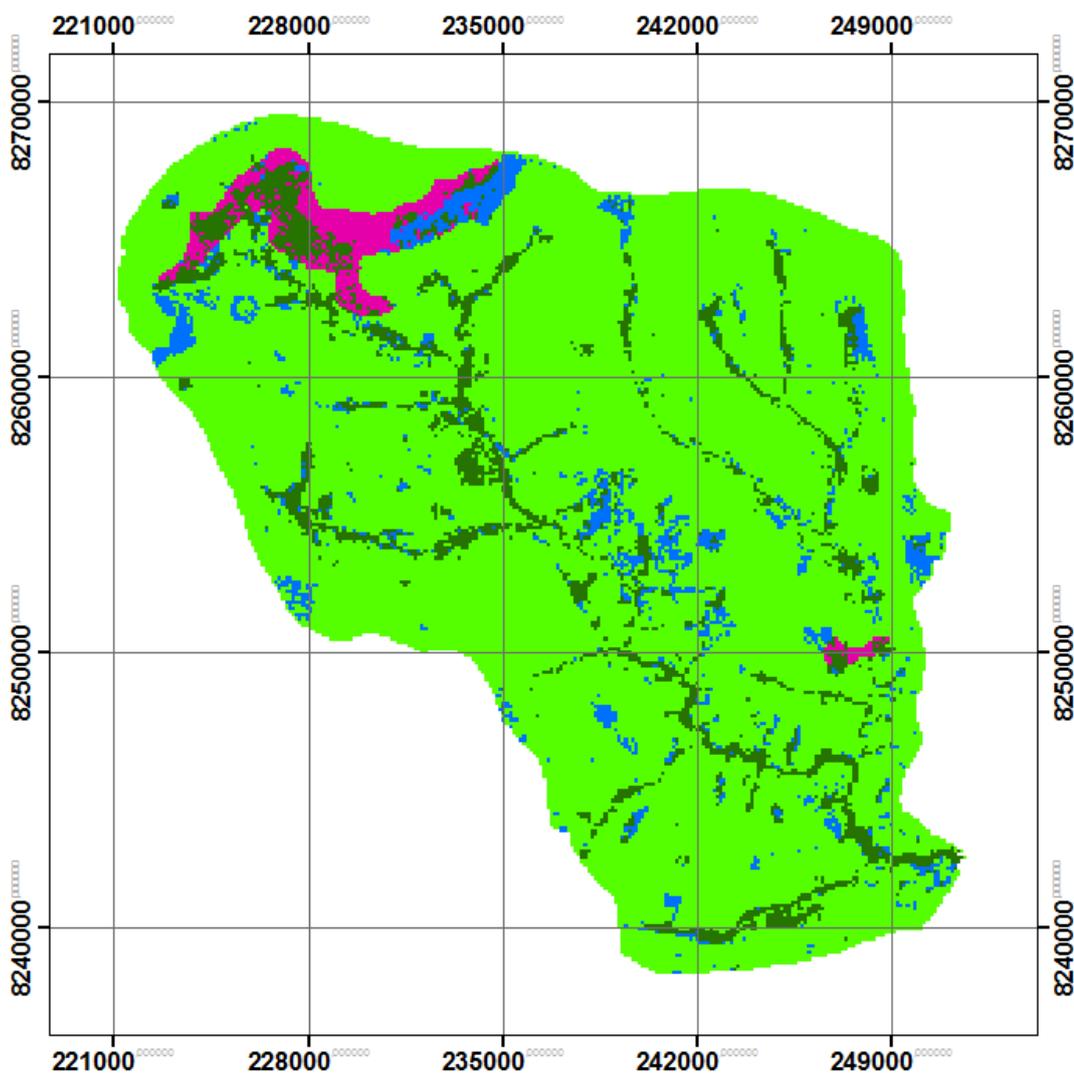
### **III.2 – Adequação do Uso e Ocupação das Terras na Microbacia do Ribeirão Extrema**

O cruzamento em ambiente SIG entre o mapa de aptidão agrícola (Figura 3) e o mapa de uso e ocupação das terras da microbacia do ribeirão Extrema (Figura 7), possibilitou a geração do mapa de adequação do uso e ocupação das terras na microbacia em questão, exposto na Figura 8.

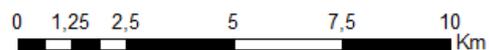
Os resultados da tabulação cruzada entre os dados extraídos do mapa de uso e ocupação das terras gerado neste trabalho (Figura 7) e do mapa de aptidão agrícola estão dispostos na Tabela 2.

De posse destes resultados, tornou-se possível a quantificação das classes de adequação do uso e ocupação das terras estabelecidas para o estudo da microbacia do ribeirão Extrema (Tabela 3).

A avaliação dos dados obtidos pela tabulação cruzada (Tabela 2) permite concluir que dos 7.213 ha ocupados pela agricultura, 92,13% (6.645,80 ha) estão sendo utilizados adequadamente ao potencial agrícola da microbacia do ribeirão Extrema. Tais valores foram obtidos a partir do somatório de 447,34 ha (Classe de aptidão agrícola 1(a)bc *versus* Agricultura) com 11,36 ha (Classe 2(a)bc *versus* Agricultura) e 6187,10 ha (Classe 2(b)c *versus* Agricultura ). Os outros 7,87% das áreas ocupadas pela agricultura, totalizando 567,57 ha, estão sendo utilizados acima do seu potencial agrícola, evidenciando a inadequabilidade do uso e possível desestabilização da sustentabilidade dos agroecossistemas envolvidos.



DATUM: SAD 69  
UTM 23 SUL



**Figura 8** – Mapa de adequação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema/DF.

**Tabela 2** – Quantificação do uso e ocupação conforme a aptidão agrícola das terras na microbacia do ribeirão Extrema / DF.

Uso *	Aptidão Agrícola														Total	
	1(a)bc		2(a)bc		2(b)c		4p		5(n)		5(sn)		6			
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
AG	1,80	447,34	0,04	11,36	25,01	6187,10	0,26	66,50	0,90	224,51	0,43	106,81	0,68	169,75	29,16	7.213,37
SSP	1,68	417,38	0,08	21,31	47,37	11.716,84	0,11	28,24	2,28	566,09	0,34	84,34	0,31	77,64	52,21	12.911,84
SCP	0,03	9,87	0,00	0,33	3,99	987,27	0,00	0,00	0,33	82,05	0,00	0,00	0,00	0,36	4,37	1.079,88
C	0,31	78,34	0,02	5,89	3,64	902,54	0,48	120,64	0,38	95,82	0,21	53,29	0,91	225,23	5,99	1.481,75
R	0,03	9,12	0,00	0,13	0,31	77,71	0,00	0,04	0,00	0,67	0,00	0,00	0,00	0,97	0,37	88,64
MG	1,75	433,25	0,09	23,76	5,42	1.342,41	0,11	28,31	0,16	40,58	0,00	0,00	0,34	86,21	7,90	1954,52
Total	5,60	1.395,3	0,23	62,78	85,94	21.213,87	0,96	243,73	4,05	1.009,72	0,98	244,44	2,24	560,16	100,00	24.730,00

(\*) AG= Agricultura; SSP= Solo em Pousio sem Palhada; SCP= Solo em Pousio com Palhada; C= Cerrado; R= Reflorestamento; MG= Mata de Galeria.

Tais resultados foram extraídos do somatório de 66,5 ha (Classe 4p *versus* Agricultura) com 224,51 ha (Classe 5(n) *versus* Agricultura), 106,81 ha (Classe 5(sn) *versus* Agricultura) e 169,75 ha (Classe 6 *versus* Agricultura).

Chaves et al. (2010), avaliando a adequação do uso e ocupação das terras na bacia do Rio Descoberto-DF, verificou que as terras ocupadas com agricultura, totalizando 17,75% da área de trabalho, estavam sendo utilizadas adequadamente, de acordo com seu potencial agrícola.

Verifica-se que 12.911,84 ha da microbacia em estudo são ocupados por solo em pousio sem palhada e 94,15 % destas áreas (12.155,53 ha) estão sendo utilizadas de acordo com sua aptidão agrícola, correspondendo ao somatório de 417,38 ha (Classe de aptidão agrícola 1(a)bC *versus* Solo Pousio sem Palhada) com 21,31 ha (Classe 2(a)bc *versus* Solo Pousio sem Palhada) e 11.716,84 ha (Classe 2(b)c *versus* Solo Pousio sem Palhada).

Das terras ocupadas por solo em pousio sem palhada, 5,85% (756,31 ha) estão sendo utilizadas acima do seu potencial agrícola, o que pode comprometer a sustentabilidade dos agroecossistemas envolvidos, em virtude da influência do uso inadequado das terras em estudo. O total destas áreas foi obtido pelo somatório de 28,24 ha (Classe de aptidão agrícola 4p *versus* Solo Pousio sem Palhada) com 566,09 ha (Classe 5(n) *versus* Solo Pousio sem Palhada), 84,34 ha (Classe 5(sn) *versus* Solo Pousio sem Palhada) e 77,64 ha (Classe 6 *versus* Solo Pousio sem Palhada).

Há de se considerar que a susceptibilidade destes solos, em virtude da ausência de cobertura vegetal viva ou morta, representa significativo agravante nos processos de degradação dos recursos hídricos e edáficos típicos da microbacia em estudo, particularmente para as áreas com classes de aptidão agrícola 4p, 5(n), 5(sn) e 6.

O total de áreas ocupadas por solo em pousio com palhada é de 1.079 ha, sendo que 92,37% deste total (997,47 ha) estão sendo utilizados de forma adequada em relação à aptidão agrícola das terras. A quantificação destes valores foi obtida por meio do somatório de 9,87 ha (Classe 1(a)bC *versus* Solo Pousio com Palhada) com 0,33 ha (Classe 2(a)bc *versus* Solo Pousio com Palhada) e 987,27 ha (Classe 2(b)c *versus* Solo Pousio com Palhada).

Os outros 7,63% das áreas ocupadas por solo em pousio com palhada, 82,41 ha, estão sendo utilizados acima do potencial agrícola das terras. O somatório de 82,05 ha (Classe de aptidão agrícola 5n *versus* Solo Pousio com Palhada) juntamente com 0,36 ha (Classe 6 *versus* Solo Pousio com Palhada) permitiu a quantificação do total de

tais áreas. Apesar de configurar um percentual reduzido de terras, o uso inadequado das mesmas pode sobrecarregar a dinâmica dos agroecossistemas típicos das áreas estudadas.

Em se tratando da área total ocupada por Cerrado, 1.481,75 ha, verifica-se que 74,74% destas áreas, equivalente a 1.107,41 ha, foram caracterizados pelo uso abaixo do potencial agrícola típico das áreas em questão.

Tais valores foram extraídos do somatório de 78,34 ha (Classe de aptidão agrícola 1(a)bc *versus* Cerrado) com 5,89 ha (Classe 2(a)bc *versus* Cerrado), 902,54 ha (Classe 2(b)c *versus* Cerrado) e 120,64 ha (Classe 4p *versus* Cerrado).

Tais áreas, em uma análise preliminar, estão sendo subutilizadas, uma vez que poderiam ser ocupadas por agricultura ou pastagem plantada, desde que devidamente mantidas as áreas de proteção ambiental estabelecidas em lei, atendendo as diretrizes da aptidão agrícola das mesmas. Do ponto de vista conservacionista, estas áreas colaboram para a sustentabilidade ambiental. Porém, sob a ótica do Sistema Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras, pode-se dizer que estas áreas estão sendo utilizadas abaixo do seu potencial agrícola.

Chaves (2010) obteve resultados análogos ao investigar a adequação do uso e ocupação em terras da bacia do Rio Descoberto-DF. O autor detectou áreas ocupadas por vegetação nativa em terras com aptidão agrícola regular e restrita no nível de manejo B (1b, 2b e 2(b)), resultando em subutilização agrícola destas áreas que poderiam estar sendo utilizadas para agricultura.

Por outro lado, 25,26 % das áreas ocupadas por Cerrado apresentam uso ambiental adequado, totalizando 374,34 ha, obtidos pelo somatório de 95,82 ha (Classe de aptidão agrícola 5n *versus* Cerrado) com 53,29 ha (Classe 5(sn) *versus* Cerrado) e 225,23 ha (Classe 6 *versus* Cerrado). Assim, infere-se que a ocupação de tais áreas estão compatíveis com a aptidão agrícola das suas terras, garantindo a preservação dos recursos naturais a elas vinculados.

As áreas ocupadas por reflorestamento correspondem à 88,64 ha e quase que a totalidade destas áreas, 98,90% (87,67 ha), estão sendo utilizadas abaixo do seu potencial agrícola. Chegou-se a tais valores pelo somatório de 9,12 (Classe de aptidão agrícola 1(a)bc *versus* Reflorestamento) com 0,13 ha (Classe 2(a)bc *versus* Reflorestamento), 77,71 ha (Classe 2(b)c *versus* Reflorestamento), 0,04 ha (Classe 4p *versus* Reflorestamento) e 0,67 ha (Classe 5(n) *versus* Reflorestamento). Observa-se que áreas que poderiam estar sendo utilizadas para a agricultura, ou mesmo pastagens,

estão sendo inadequadamente ocupadas por reflorestamento, indicando a subutilização das terras em relação à aptidão agrícola das mesmas, ainda que este cenário não configure um problema, do ponto de vista ambiental.

As matas de galeria ocupam 1.954,52 ha da microbacia do ribeirão Extrema e 100% destas áreas foram consideradas de uso ambiental adequado em virtude do caráter conservacionista destas vegetações, prevalecendo a premissa da preservação dos recursos naturais sobre o alcance da exploração máxima da aptidão agrícola das terras. A distribuição das áreas de mata de galeria, conforme a aptidão agrícola das áreas em estudo, foram: 433,25 ha na Classe de aptidão agrícola 1(a)BC; 23,76 ha na Classe 2(a)bc; 1.342,41 ha na Classe 2(b)c; 28,31 ha na Classe 4p; 40,58 ha na Classe 5(n) e 86,21 ha na Classe 6.

Embora representem apenas 7,90% das áreas da microbacia em estudo, as matas de galeria exercem um papel fundamental na preservação das zonas ripárias e na manutenção da qualidade do solo e da água. Pela análise visual do mapa de adequação do uso e ocupação das terras (Figura 8) fica nítida a diminuição e descontinuidade das matas de galeria que margeiam toda extensão do ribeirão Extrema, resultante de interferências antrópicas na abertura de novas áreas agrícolas.

Expressivo percentual das terras da microbacia do ribeirão Extrema, 80,07%, equivalentes a 19.798,80 ha, apresentou uso agrícola adequado, conforme exibido na tabela 3.

**Tabela 3** – Quantificação da adequação do uso e ocupação das terras na microbacia do ribeirão Extrema / DF.

Adequação	Total da Área	
	ha	%
Uso Agrícola Adequado	19.798,80	80,07
Uso Acima do Potencial Agrícola	1.407,26	5,69
Uso Abaixo do Potencial Agrícola	1.195,08	4,83
Uso Ambiental Adequado	2.328,86	9,41
Total	24.730,00	100,00

Áreas da microbacia em questão, com uso acima do seu potencial agrícola, correspondem a 1.407,26 ha, perfazendo 5,69% do total de áreas investigadas. Já áreas subutilizadas, com uso abaixo do seu potencial agrícola, correspondem a 4,83% da

microbacia em estudo, ou seja, 1.195,08 ha. Com 2.328,86 ha, as áreas com uso ambiental adequado totalizam 9,41% da microbacia do ribeirão Extrema.

Considerando-se que, juntamente com a classe de adequação Uso Agrícola Adequado, as classes de Uso Abaixo do Potencial Agrícola e Uso Ambiental Adequado foram consideradas como favoráveis à manutenção da sustentabilidade das áreas estudadas, pelo caráter conservador das duas últimas, verifica-se que 94,31% da microbacia do ribeirão Extrema encontra-se sob estas condições. Em se tratando de áreas utilizadas em desacordo com a aptidão agrícola das terras, ou seja, as classificadas como de Uso Acima do Potencial Agrícola, observou-se que estas correspondem à 5,69% da microbacia estudada.

Diante deste cenário, fica nítida a predominância da adequação no uso e ocupação das terras – considerando-se o somatório das áreas de terras com uso agrícola adequado (19.798,80 ha) com as de uso abaixo do potencial agrícola (1.195,08 ha) e as de uso ambiental adequado (2.328,86 ha), totalizando 23.322,74 ha, ou seja, 94,31 % do total de áreas estudadas – repercutindo na manutenção da sustentabilidade dos recursos naturais da microbacia do Ribeirão Extrema.

De forma similar, Ferreira (2006) constatou a predominância de terras utilizadas de forma adequada ao sistema brasileiro de aptidão agrícola, essas totalizando 51,18% da porção norte da bacia do São Bartolomeu-DF.

Silva et al. (2009), em estudos acerca da avaliação do uso das terras na microbacia do ribeirão João Leite-GO, também relatam resultados análogos aos obtidos no presente estudo. Os autores verificaram que a maioria das terras da área estudada encontra-se com uso adequado em relação à aptidão agrícola, ou abaixo deste potencial, indicando a sustentabilidade no uso agropecuário das mesmas.

Tais resultados reforçam a premissa de que é, de fato, possível promover a exploração agrícola das terras no DF de forma ambientalmente equilibrada, respeitando as limitações dos recursos naturais e do agroecossistema.

Já Chaves (2010), ao estudar a adequação do uso e ocupação de terras na bacia do rio Descoberto-DF, constatou o inverso: houve o predomínio de áreas utilizadas em desacordo com seu potencial agrícola, correspondendo a 76,16% da área total estudada.

### III.3– Indicadores de Qualidade dos Solos (QS)

#### III.3.1– Classificação dos Solos das Áreas de Estudo dos Indicadores de QS

Foram realizadas análises morfológicas e químicas dos solos da Área I (Tabela 4) e Área II (Tabela 5), além de análises físicas (textura do solo) (Tabelas 6 e 7), para a classificação destes solos segundo o SiBCS (Embrapa, 2006).

**Tabela 4** – Atributos morfológicos (cor e estrutura) e químicos (pH, Acidez Potencial (H+Al), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V) e Saturação por Alumínio (m)) do solo da Área I.

Repetição	Profundidade	Cor	Estrutura	pH	H + Al — cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> —	CTC	V — % —	m
1	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	4,3	10,1	57,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	4,3	8,5	49,0	0,0
2	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,7	4,5	9,3	52,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,7	4,3	7,6	43,0	0,0
3	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	4,3	9,6	55,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,7	4,3	7,7	44,0	0,0
4	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	3,8	10,3	63,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	4,3	7,2	40,0	0,0
5	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,0	3,5	9,2	62,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	4,1	7,8	47,0	0,0
6	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	3,8	9,3	59,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	3,8	7,2	47,0	0,0
7	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	3,8	9,2	59,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,5	4,8	7,8	38,0	0,0
8	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	3,8	9,4	60,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	4,0	8,2	51,0	0,0
9	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	4,3	9,8	56,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	4,1	8,0	49,0	0,0

**Tabela 5** – Atributos morfológicos (cor e estrutura do solo) e químicos (pH, Acidez Potencial (H+Al), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Saturação por Bases (V) e Saturação por Alumínio (m)) do solo da Área II.

Repetição	Profundidade	Cor	Estrutura	pH	H + Al — cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> —	CTC	V —— % ——	m
1	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,1	4,0	9,0	56,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	4,1	7,3	44,0	0,0
2	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,0	3,8	9,7	61,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,3	5,4	7,9	32,0	7,0
3	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,3	3,0	10,0	70,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,0	4,0	7,5	47,0	0,0
4	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,3	3,0	9,5	68,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,8	3,8	7,2	47,0	0,0
5	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,2	3,5	10,6	67,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	3,8	7,1	46,0	0,0
6	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,1	3,3	9,1	64,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,7	3,6	6,9	48,0	0,0
7	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,1	3,5	9,8	64,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,0	4,1	8,6	52,0	0,0
8	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,3	3,3	9,3	65,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,9	3,8	7,3	48,0	0,0
9	0-10 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	6,2	3,5	10,0	65,0	0,0
	10-20 cm	Vermelho (≥ 2,5 YR)	Granular	5,6	5,0	8,9	44,0	0,0

A análise morfológica permitiu a classificação dos solos na ordem dos Latossolos, com destaque para a estrutura granular forte muito pequena, originando porosidade elevada e consistência friável, quando úmido. A cor vermelha permitiu a classificação no segundo nível categórico do SiBCS. Os dados obtidos pelas análises químicas auxiliaram a classificação no nível de subgrupo do SiBCS (Embrapa, 2006).

Assim, os solos das duas áreas de estudo foram classificados em Latossolo Vermelho Distrófico Típico, segundo SiBCS (Embrapa, 2006).

O caráter distrófico destes solos encontra-se oculto em função das operações de manejo da fertilidade realizadas nos mesmos, uma vez que a saturação de bases (V) oscilou entre 38% e 63% nos Latossolos da Área I (Tabela 4) e entre 32 % e 70% nos Latossolos da Área II (Tabela 5), estando a maioria destes valores acima do limite estabelecido para o caráter distrófico.

Ressalta-se que os Latossolos predominantes no Brasil, sob vegetação nativa, apresentam geralmente  $V < 50\%$ , ou seja, são distróficos (Centurion, 2001).

Freixo (2002), verificou que o valor médio de saturação por bases para um Latossolo sob Cerrado nativo foi de 6,6%. Os valores de V obtidos são compatíveis com os resultados adquiridos por Caires et al. (2000), que ao avaliarem o efeito da calagem em sistema de plantio direto, constataram que a aplicação de calcário na superfície aumentou significativamente o pH, os teores de Ca + Mg trocáveis e a saturação por bases, e reduziu significativamente os teores de H + Al do solo, até a profundidade de 60 cm.

Em se tratando do atributo capacidade de troca catiônica (CTC), os valores determinados oscilaram entre 7,2 e 10,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  nos Latossolos da Área I e entre 6,9 e 10,6  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  nos Latossolos da Área II.

Araújo et al. (2007), ao avaliarem a CTC em um Latossolo do DF, sob Cerrado nativo, verificaram que os valores médios deste atributo foram 11,12, 8,36 e 7,44  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , para as profundidades de 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, respectivamente, considerados semelhantes aos valores encontrados neste estudo. Em estudos envolvendo um Latossolo Vermelho sob Cerrado nativo do DF, Costa et al. (2006) observaram que os valores médios da CTC foram de 11,2  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (0-10 cm) e 10,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (10-20 cm). Assim, observa-se que a CTC dos Latossolos das áreas de estudo não foi significativamente influenciada pelos manejos aplicados, quando comparada com áreas de Latossolo sob vegetação nativa.

Com relação à saturação por Alumínio (m), destaca-se a obtenção de valores nulos deste atributo na totalidade dos pontos amostrados nos Latossolos das Áreas I e II, com exceção de um único ponto (9b) na Área II (Tabela 5), demonstrando influência significativa das práticas de manejo adotadas, particularmente a calagem. Para Faquin (1994), o principal efeito da acidez dos solos é a toxidez do Alumínio, sendo a saturação por Alumínio (m) o índice que melhor afere esse componente da acidez do solo (Souza et al., 1980).

Os valores de pH variaram entre 5,5 e 6,0 na Área I e entre 5,3 e 6,3 na Área II. Freixo et al. (2002) observaram que o valor médio do pH em um Latossolo sob Cerrado nativo foi 4,8. Já Carneiro et al. (2009) registrou pH de 5,04 em Latossolo Vermelho Distrófico, também sob Cerrado nativo. Considerando que as duas áreas de estudo foram submetidas à aplicação de corretivos e fertilizantes, tais referências evidenciam as influências dos procedimentos de calagem efetuados anualmente nas áreas de estudo, quando comparadas à áreas de Latossolo sob vegetação nativa.

Os Latossolos de regiões tropicais e subtropicais são normalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. A calagem, portanto, tem sido intensivamente utilizada pelos produtores porque aumenta o rendimento da maioria das culturas (Ernani et al., 1998; 2000). A correção da acidez e a adubação são imprescindíveis para que se possa cultivar esses solos e elevar a produtividade das culturas (Fageria, 2001; Lima et al., 2000)

Após a classificação do solo no quarto nível categórico, foi realizada uma avaliação mais detalhada com relação à textura, uma vez que esta propriedade pode interferir nos atributos de qualidade do solo selecionados para o estudo (Tabelas 6 e 7)

**. Tabela 6** – Frações granulométricas e Classe Textural dos Latossolos Vermelhos da Área I.

Repetição	Profundidade	Areia	Silte g kg <sup>-1</sup>	Argila	Classe Textural
1	0-10 cm	60,0	270,0	670,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	270,0	670,0	
2	0-10 cm	70,0	220,0	710,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	240,0	690,0	
3	0-10 cm	50,0	240,0	710,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	220,0	710,0	
4	0-10 cm	70,0	280,0	650,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	250,0	690,0	
5	0-10 cm	80,0	260,0	660,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	250,0	690,0	
6	0-10 cm	60,0	290,0	650,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	300,0	630,0	
7	0-10 cm	70,0	280,0	650,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	250,0	680,0	
8	0-10 cm	70,0	270,0	660,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	240,0	690,0	
9	0-10 cm	60,0	270,0	670,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	240,0	700,0	

**Tabela 7** – Frações granulométricas e Classe Textural dos Latossolos Vermelhos da Área II.

Repetição	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Classe Textural
		g kg <sup>-1</sup>			
1	0-10 cm	70,0	280,0	650,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	260,0	670,0	
2	0-10 cm	70,0	280,0	650,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	230,0	710,0	
3	0-10 cm	80,0	280,0	640,0	Muito argilosa
	10-20 cm	80,0	220,0	700,0	
4	0-10 cm	90,0	250,0	660,0	Muito argilosa
	10-20 cm	80,0	210,0	710,0	
5	0-10 cm	100,0	280,0	620,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	250,0	680,0	
6	0-10 cm	80,0	260,0	660,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	210,0	720,0	
7	0-10 cm	80,0	220,0	700,0	Muito argilosa
	10-20 cm	60,0	220,0	720,0	
8	0-10 cm	90,0	230,0	680,0	Muito argilosa
	10-20 cm	70,0	200,0	730,0	
9	0-10 cm	80,0	260,0	660,0	Muito argilosa
	10-20 cm	80,0	200,0	720,0	

De acordo com os dados obtidos e apresentados nas tabelas 6 e 7, os teores de argila oscilaram entre 630 e 710 g kg<sup>-1</sup> na Área I e entre 620 e 730 g kg<sup>-1</sup> na Área II, permitindo classificar a textura dos Latossolos Vermelhos Distróficos Típicos em muito argilosa. Tais valores demonstram a uniformidade textural dos Latossolos das áreas estudadas.

A quantificação do teor de argila é de grande importância para se planejar o uso agrícola dos solos, porque em geral se correlaciona com a disponibilidade dos nutrientes e propensão à erosão (Selby, 1993). Vários atributos utilizados para a avaliação da qualidade do solo podem ser alterados em função da classe textural, com destaque para o grau de floculação e propensão à compactação em Latossolos (Carvalho Jr. et al., 1998 e Silva et al., 2000).

### III.3.2 – Avaliação Estatística dos Atributos de QS Estudados

A análise de variância (ANOVA) realizada com os valores obtidos para os atributos estudados de QS, não detectou diferenças estatísticas significantes nos valores de interação entre tratamento e profundidade, conforme exposto na tabela 8.

**Tabela 8** – Resumo da ANOVA para os atributos de QS avaliados.

Fator <sup>1</sup>	GF	Ds	CTC	MO	Rmic	Cmic
Tratamento	ns	**	ns	**	ns	**
Profundidade	ns	**	**	**	*	**
Trat. x Prof.	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = Não significativo à 0,05 / \* = Significativo à 0,05 / \*\* = Significativo à 0,01.

(<sup>1</sup>) GF= Grau de Flocculação, Ds= Densidade do solo; CTC= Capacidade de Troca Catiônica; MO=Matéria Orgânica; Rmic=Respiração Basal Microbiana; Cmic=Carbono da Biomassa Microbiana.

Assim, o teste de Tukey foi realizado nos valores médios em relação aos tratamentos (Áreas I e II) e às profundidades avaliadas (0-10 e 10-20cm) para todos os atributos estudados, a 5% e a 10% de probabilidade.

### III.3.3 – Atributos Físicos de QS

Os resultados obtidos para a análise de argila dispersa em NaOH e argila dispersa em H<sub>2</sub>O, permitiram o cálculo do Grau de Flocculação (GF), que oscilou entre 49,2 e 59,15% na Área I e entre 50,70 e 61,53% na Área II (Tabela 9).

**Tabela 9** – Valores de Grau de Flocculação das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Grau de Flocculação	
		%	
1	0-10 cm	50,74	61,53
	10-20 cm	53,73	56,71
2	0-10 cm	59,15	53,84
	10-20 cm	56,52	50,70
3	0-10 cm	57,74	51,56
	10-20 cm	56,33	52,85
4	0-10 cm	49,23	59,09
	10-20 cm	55,07	53,52
5	0-10 cm	50,00	56,45
	10-20 cm	52,17	52,94
6	0-10 cm	56,92	56,06
	10-20 cm	49,20	55,55
7	0-10 cm	55,38	61,42
	10-20 cm	54,41	51,38
8	0-10 cm	59,09	54,41
	10-20 cm	52,17	52,05
9	0-10 cm	50,74	56,06
	10-20 cm	51,42	55,55

Com relação ao atributo Densidade do solo (Ds), os valores obtidos oscilaram entre 0,91 e 1,15 g cm<sup>-3</sup> na Área I e entre 0,85 e 1,13 g cm<sup>-3</sup> na Área II (Tabela 10).

**Tabela 10** – Valores de Densidade do solo das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Densidade do Solo	
		g cm <sup>-3</sup>	
1	0-10 cm	1,15	0,89
	10-20 cm	1,06	0,92
2	0-10 cm	1,06	0,95
	10-20 cm	1,04	0,98
3	0-10 cm	1,09	0,90
	10-20 cm	1,10	1,05
4	0-10 cm	0,99	0,99
	10-20 cm	1,07	1,02
5	0-10 cm	0,96	0,85
	10-20 cm	1,15	1,02
6	0-10 cm	0,96	1,13
	10-20 cm	1,05	1,01
7	0-10 cm	0,91	0,90
	10-20 cm	1,05	0,98
8	0-10 cm	0,97	0,86
	10-20 cm	1,01	0,97
9	0-10 cm	0,92	0,85
	10-20 cm	1,05	0,99

O valor médio do GF foi de 53,88% na Área I e 54,79% na Área II (Tabela 11), estando estes dentro do padrão de sustentabilidade para GF em Latossolos tropicais, de textura argilosa, proposto por Goedert (2005), ou seja, acima de 50%.

Ao se avaliar o valor médio da Ds nas áreas estudadas (Tabela 11) – 1,03 g·cm<sup>-3</sup> na Área I e 0,95 g·cm<sup>-3</sup> na Área II – percebe-se que apenas na Área II a Ds encontra-se dentro do padrão de sustentabilidade para este atributo em Latossolos tropicais, proposto por Goedert (2005), a qual deve ser inferior a 1,0 g cm<sup>-3</sup>.

Para o grau de floculação, foi realizado o teste de Tukey a 5% nos valores médios entre tratamentos (Área I e Área II) (Tabela 11) e entre profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) (Tabela 12), não sendo constatadas diferenças significativas em ambos ensaios. Com relação à Ds, a análise estatística isolada dos tratamentos (Área I e Área II) (Tabela 11) e profundidades (0-10 cm e 10-20 cm) (Tabela 12), mostrou diferença

significativa à 1% no teste de Tukey, para ambos os fatores de variação (tratamentos e profundidades).

**Tabela 11** – Valores médios dos atributos físicos de QS das Áreas I e II estudadas.

Tratamento	GF (%)	Ds (g·cm <sup>-3</sup> )
Área I (milho + soja)	53,88 a	1,03 a
Área II (feijão + sorgo)	54,79 a	0,95 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% para GF e a 1% para Ds.

**Tabela 12** – Valores médios dos atributos físicos de Qs das Áreas I e II nas profundidades estudadas.

Profundidade	GF (%)	Ds (g·cm <sup>-3</sup> )
0-10 cm	55,22 a	0,96 a
10-20 cm	53,45 a	1,02 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% para GF e a 1% para Ds.

Entende-se, assim, que tanto o sistema de rotação (Área I) quanto o de sucessão (Área II) dos cultivos estudados, influenciaram de forma similar na manutenção do Grau de Floculação e conseqüentemente na estabilidade dos agregados dos solos avaliados.

Ao avaliar a qualidade de um Latossolo Vermelho submetido aos sistemas de plantio direto e plantio convencional, Costa et al. (2006) concluíram que o atributo GF não se diferenciou estatisticamente entre os dois sistemas, sendo este pouco sensível às alterações de manejo. Se em dois sistemas de manejo consideravelmente contrastantes o GF respondeu de forma similar aos dois tratamentos, é esperado que tal fenômeno ocorra em áreas com manejos distintos (rotação e sucessão) ambos sob sistema de plantio (PD), tais como as Áreas I e II estudadas.

Muller et al. (2001) atribuíram a redução do grau de floculação ao teor de argila já que, em seus estudos, a matéria orgânica não apresentou boa correlação com este atributo.

Estudando sistemas de cultivo do solo, Castro Filho et al. (1998) verificaram que, na rotação de culturas milho/trigo/milho, a estabilidade de agregados foi 20% maior do que a da rotação soja/ trigo/soja, na profundidade de 0-10 cm. Tais resultados foram atribuídos à maior produção de biomassa pelo milho, proporcionando maior acúmulo de resíduos orgânicos que estimularam a atividade biológica, além do efeito do

sistema radicular, resultando em maior estabilidade dos agregados. Efeitos positivos na agregação do solo propiciados por gramíneas foram observados também por Campos et al. (1995); Silva et al. (1998) e Silva e Mielniczuk (1998). Vários trabalhos, como os de Campos et al. (1995) e Castro Filho et al. (1998), têm mostrado maior estabilidade de agregados do solo em sistemas de semeadura direta, considerando a não-mobilização do solo e a deposição de matéria orgânica na superfície, incrementando a atividade biológica.

Carpenedo e Mielniczuk (1990), estudando a estabilidade estrutural dos agregados em condição natural e cultivada, verificaram redução da agregação quando os solos foram submetidos à aração e à gradagem para o cultivo de trigo e soja. Segundo Da Ros et al. (1997), o diâmetro médio geométrico dos agregados na semeadura direta, após cinco anos de cultivo, foi equivalente ao do campo nativo, diminuindo com o aumento da intensidade de preparo do solo, sendo 2,96 vezes maior do que no preparo convencional. Campos et al. (1995) constataram que, na semeadura direta, o diâmetro médio geométrico dos agregados foi superior ao do preparo convencional, cerca de duas vezes. Castro Filho et al. (1998) encontraram diâmetro médio geométrico 70% maior na semeadura direta do que no preparo convencional na camada superficial do solo.

A intensidade e o tempo de uso do solo podem aumentar a porcentagem de argila dispersa em água, reduzindo o grau de floculação. O emprego de grade aradora, entre outros maquinários, destrói os agregados do solo deixando suas partículas soltas (Rosa Junior et al., 2006).

Esses aspectos ressaltam o efeito benéfico da semeadura direta, contribuindo para o manejo sustentado do solo, como pode ser verificado pelos valores médios do GF, considerados sustentáveis, nas áreas investigadas neste trabalho, em relação aos valores de sustentabilidade de atributos de QS proposto por Goedert (2005).

Bowen (1981) considera que valores de  $D_s$  superiores a  $1,55 \text{ g cm}^{-3}$  ocasionam restrições ao desenvolvimento radicular em solos médios e argilosos. Para Reichert et al. (2009), valores de densidade do solo superiores a  $1,74 \text{ g cm}^{-3}$  são considerados críticos. Tanto os solos da Área I quanto da Área II apresentaram valores médios de  $D_s$  abaixo desses valores, não demonstrando, portanto, condições restritivas para o desenvolvimento radicular de culturas agrícolas.

Os efeitos de um sistema radicular mais denso e descompactante, condicionado por um cultivo mais intensivo de feijão e sorgo, podem ter influenciado a  $D_s$  dos solos da Área II, tornando-a significativamente inferior a  $D_s$  dos solos da Área I.

Comportamento semelhante da Ds foi descrito por Bruce et al. (1990) ao compararem várias sequências de cultivo de sorgo e soja no verão. Os autores constataram que com dois ou mais cultivos sucessivos de sorgo, o solo apresentava maior estabilidade de agregados, maior espaço poroso de aeração e menor Ds do que após dois ou mais cultivos sucessivos de soja.

Os valores médios da Ds nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm foram de 0,96 g cm<sup>-3</sup> e 1,02 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente (Tabela 12). Assim, na profundidade superficial (0-10 cm) foi verificado o menor valor médio de Ds, diferente do que é normalmente observado em ensaios experimentais envolvendo sistemas de plantio direto, nos quais a compactação das camadas superficiais é normalmente detectada. Isto decorre da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizado em solos argilosos e com teores elevados de umidade (Vieira e Muzilli, 1984).

Segundo Mentges et al. (2010), a intensidade de tráfego tem efeitos negativos sobre as propriedades físico-hídricas do solo, com elevação dos valores de densidade e resistência a penetração.

Resultados análogos foram obtidos por Costa et al. (2006), que não detectaram compactação superficial em um Latossolo Vermelho Distrófico do DF, sob sistema de plantio direto.

O aumento da Ds na camada superficial em plantio direto, diferente do que fora observado no presente estudo, foi observado no trabalho de Beutler et al. (2001), no estudo do comportamento da Ds em um Latossolo Vermelho Distrófico Típico sob diferentes sistemas de manejo na região dos Cerrados.

Para Reinert et al. (2008), a ausência de valores elevados de densidade do solo, na camada superficial, ocorre em razão da maior densidade de raízes, maior teor de matéria orgânica, ciclos de umedecimento e secagem e do revolvimento parcial no momento da semeadura.

Uma provável justificativa para este comportamento incomum da Ds em plantio direto, detectada na profundidade superficial (0-10 cm), refere-se ao acúmulo superficial de matéria orgânica e a procedimentos de escarificação do solo realizadas há, aproximadamente, 2 anos anteriores à data de coleta das amostras de solo para análise. Fenômeno análogo foi observado por Camara e Klein (2005), que em seus estudos acerca da escarificação do solo em sistemas de plantio direto, constataram que a técnica reduziu a Ds nas camadas superficiais do Latossolo Vermelho distrófico típico avaliado.

Marasca (2010) obteve resultados similares ao avaliar a Ds em sistemas de plantio direto (PD) com e sem escarificação. A autora verificou que, na camada superficial, os valores de Ds foram menores, quando comparados aos valores das demais profundidades para o sistema de PD com escarificação. No sistema de PD sem escarificação observou-se o inverso: na camada superficial ocorreram valores de densidade maiores do que nas camadas inferiores, onde os valores de densidade diminuiram.

Para Camara e Klein (2005), a escarificação esporádica em solos sob plantio direto proporciona condições físico-hídricas e mecânicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas, especificamente pela redução na resistência mecânica à penetração e pela não redução do teor de matéria orgânica.

### **III.3.3.1– Avaliação da Distribuição Espacial dos Atributos GF e Ds nas Áreas I e II Estudadas**

Os mapas da distribuição espacial do Grau de Flocculação nas Áreas I e II encontram-se dispostos nas figuras 9 e 10, respectivamente. Apesar da análise estatística experimental não ter destacado diferenças significativas nos valores de GF nas duas profundidades estudadas, nota-se uma heterogeneidade na distribuição espacial deste atributo, verificada pela variabilidade dos valores de GF, especialmente na profundidade de 0-10 cm do solo, das duas áreas estudadas.

Observa-se na profundidade de 0-10 cm, da Área I (Figura 9), menores valores do GF no quadrante superior esquerdo da área. Já na profundidade de 10-20 cm, da mesma área, os menores valores do GF foram detectados no quadrante inferior direito da mesma.

Em se tratando da Área II (Figura 10), verificou-se valores elevados do GF no quadrante superior esquerdo da área referente à profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, da mesma área, valores reduzidos do GF podem ser observados no quadrante superior direito.

Os menores valores de GF observados nas Áreas I e II, na profundidade de 0-10 cm, podem ser atribuídos a maior exposição desta camada superficial aos efeitos da movimentação dos solos – restrita a linha de semeadura no plantio direto (Assis, 2002) – e ao tráfego de máquinas.

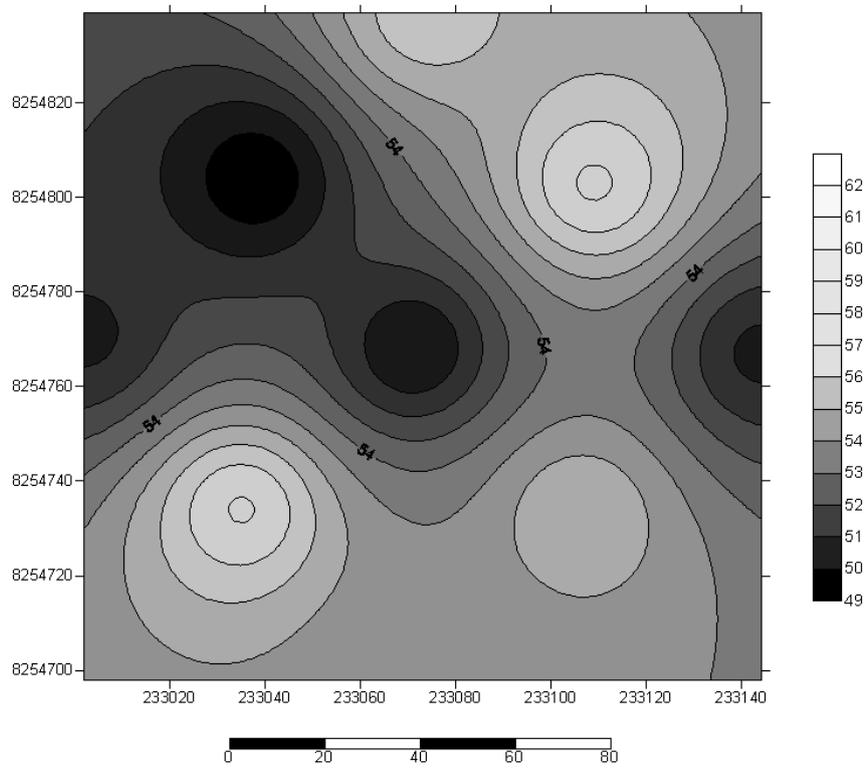
---

**Área I**

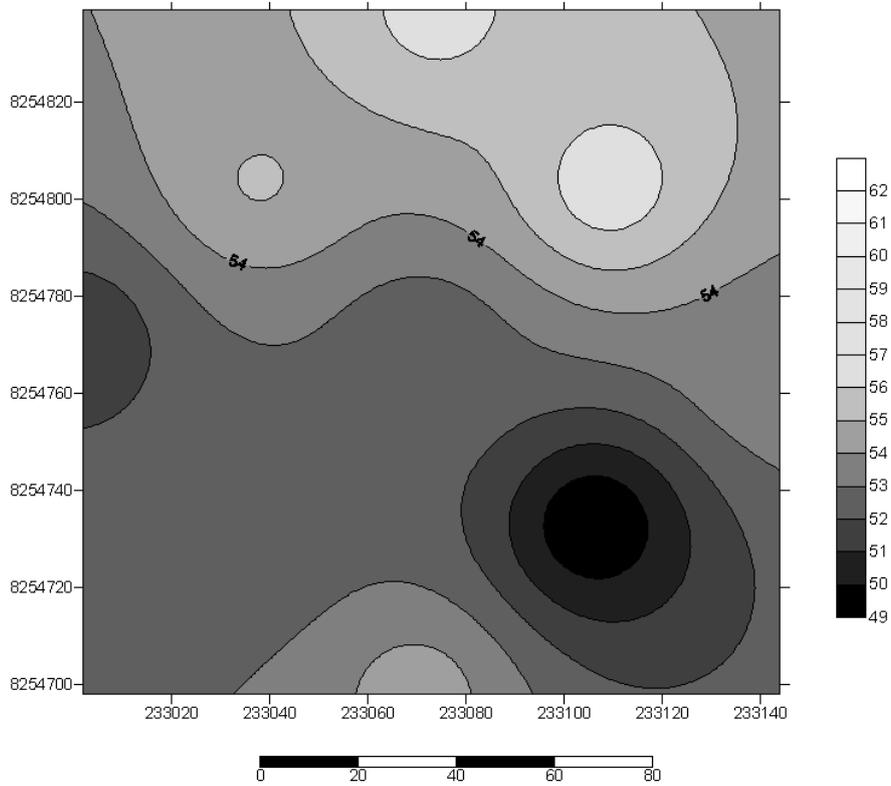
Grau de Floculação (%)

---

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm



---

**Figura 09** – Mapas da distribuição espacial do Grau de Floculação do solo na Área I.

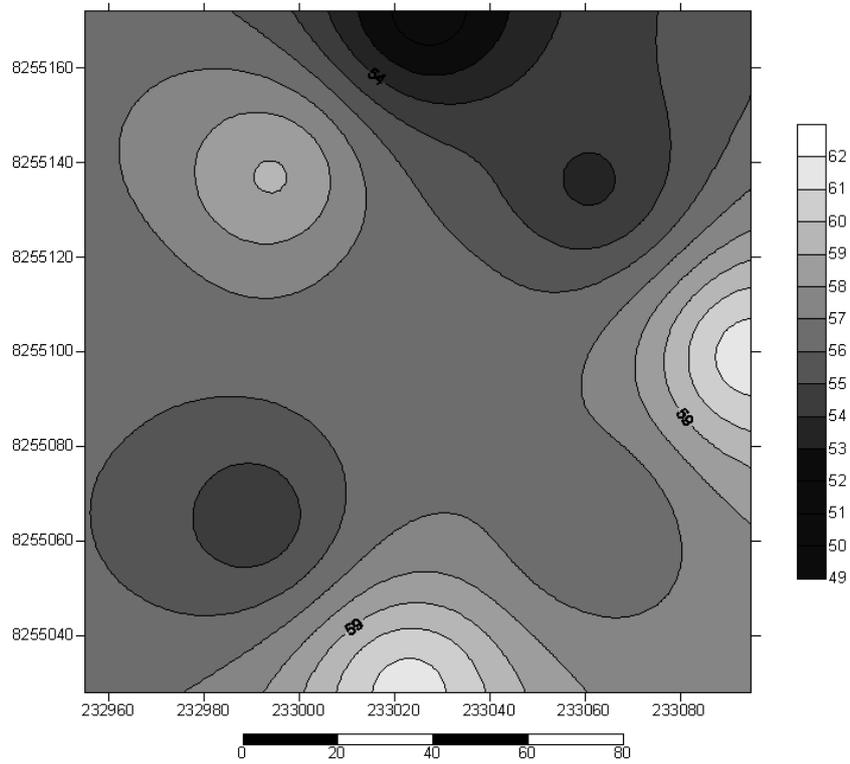
---

**Área II**

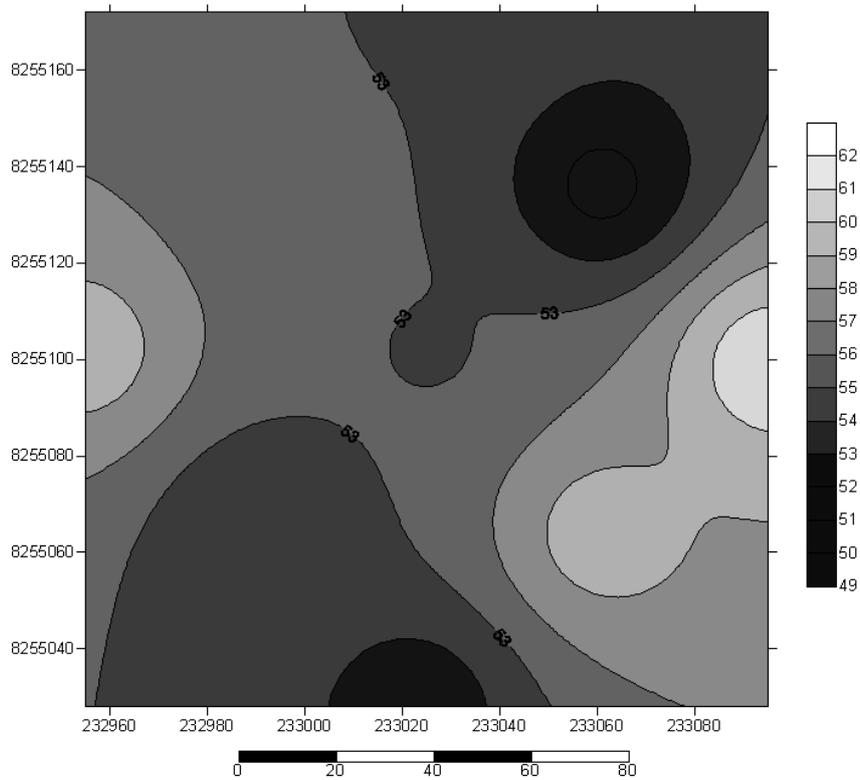
Grau de Floculação (%)

---

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm



---

**Figura 10** – Mapas da distribuição espacial do Grau de Floculação do solo na Área II.

Há de se considerar que irregularidades na deposição de resíduos vegetais formadores da palhada, resultando em concentrações diversificadas de matéria orgânica ao longo do perfil do solo, podem ter colaborado na variabilidade da distribuição espacial do GF nas áreas estudadas.

O padrão de distribuição da densidade do solo na Área I (Figura 11) e Área II (Figura 12) também demonstrou-se heterogêneo, evidenciando variabilidade nos valores dentro das Áreas I e II de estudo e nas profundidades investigadas, principalmente na profundidade de 0-10cm.

A variabilidade de valores de Ds na profundidade de 0-10 cm pode ser atribuída à maior exposição desta profundidade à movimentação do solo – restrita à linha de semeadura no plantio direto (Assis, 2002) – e ao tráfego de máquinas.

Constata-se ainda que, os mapas referentes à profundidade de 10-20 cm, em ambas as áreas (Figuras 11 e 12), apresentam valores de Ds mais elevados. A avaliação da distribuição espacial confirma o detectado nos ensaios estatísticos experimentais (Tabela 12), nos quais o valor médio da Ds na camada de 10-20 cm foi superior ao da camada de 0-10 cm.

Amado et al. (2005) relatam que o sistema de semeadura direta proporciona maior estabilidade dos agregados e continuidade dos poros com o decorrer dos anos, resultado da melhoria estrutural do solo pelo aporte contínuo de matéria orgânica em superfície.

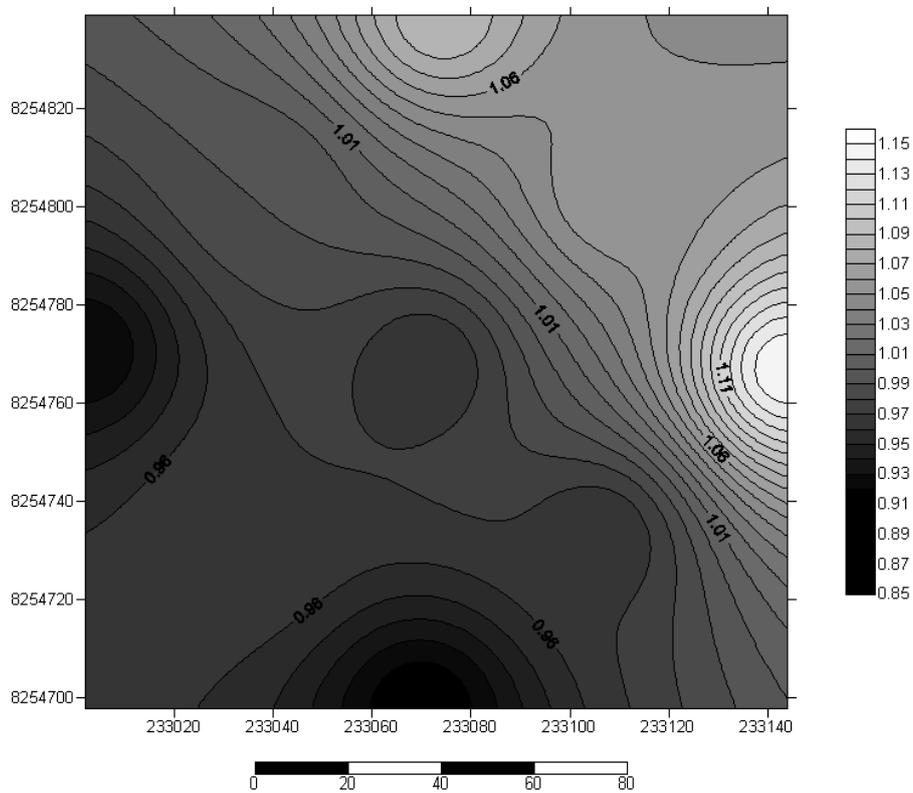
Ao estudar a Ds em Latossolo Vermelho, Siqueira et al. (2009) verificaram que o manejo do solo com semeadura direta influenciou favoravelmente a variabilidade espacial dos atributos físicos dos solos após vinte anos de manejo.

De posse do diagnóstico da variabilidade espacial desses atributos, torna-se viável a elaboração de estratégias que visem um manejo direcionado ao perfil físico-hídrico de cada solo estudado, por meio da identificação de zonas específicas do perfil do solo que necessitem de uma condução agrônômica diferenciada.

Área I

Densidade do Solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm

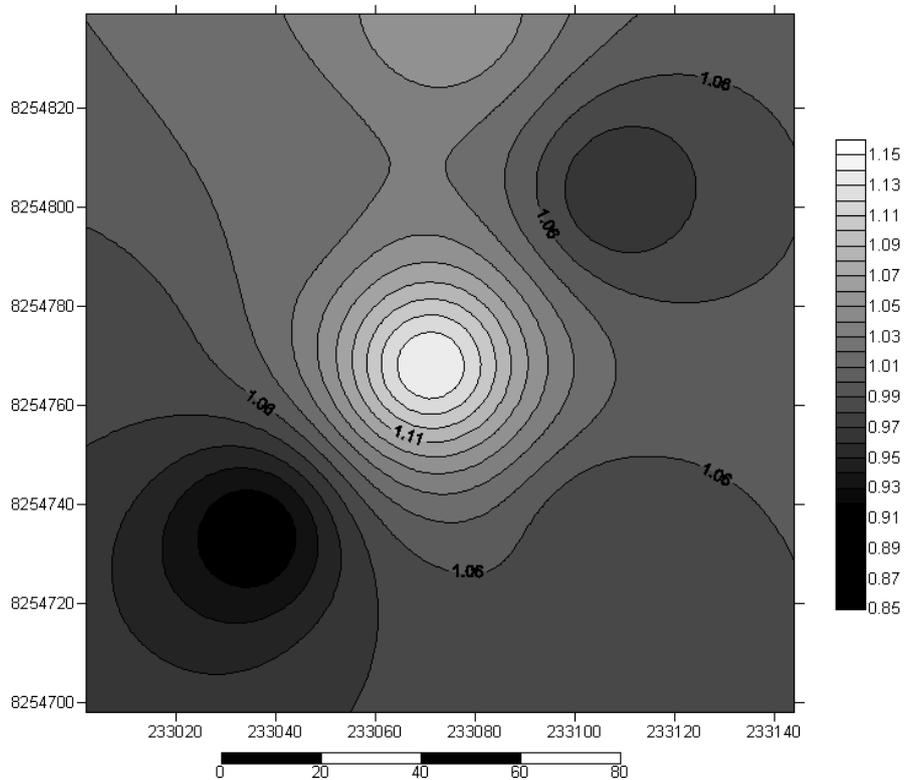


Figura 11 – Mapas da distribuição espacial da Densidade do solo na Área I.

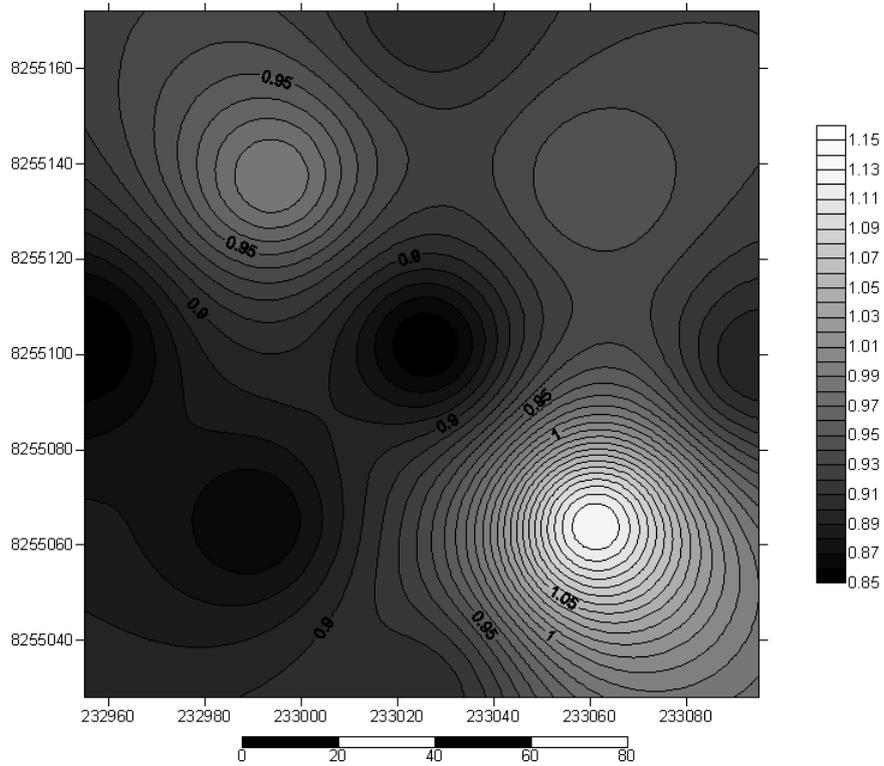
---

Área II

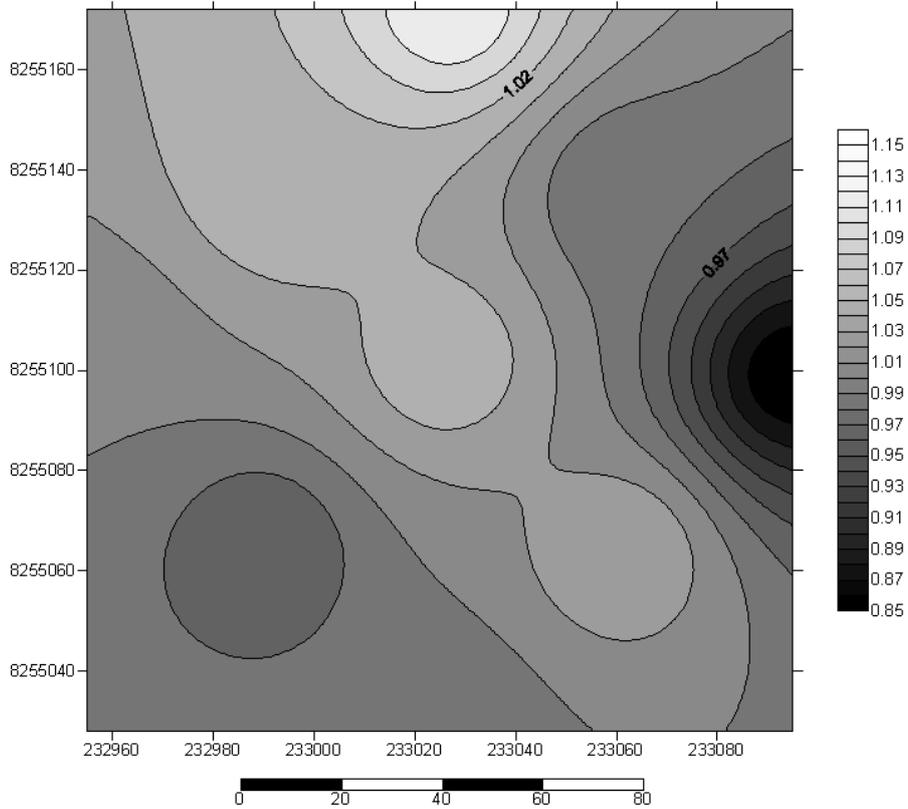
Densidade do Solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )

---

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm



---

**Figura 12** – Mapas da distribuição espacial da Densidade do solo na Área II.

### III.3.4– Atributos Químicos de QS

Os valores da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) variaram entre 7,2 e 10,3  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  na Área I e entre 6,9 e 10,6  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  na Área II (Tabela 13).

**Tabela 13** – Capacidade de Troca Catiônica das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Capacidade de Troca Catiônica $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$	
1	0-10 cm	10,1	9,0
	10-20 cm	8,5	7,3
2	0-10 cm	9,3	9,7
	10-20 cm	7,6	7,9
3	0-10 cm	9,6	10,0
	10-20 cm	7,7	7,5
4	0-10 cm	10,3	9,5
	10-20 cm	7,2	7,2
5	0-10 cm	9,2	10,6
	10-20 cm	7,8	7,1
6	0-10 cm	9,3	9,1
	10-20 cm	7,2	6,9
7	0-10 cm	9,2	9,8
	10-20 cm	7,8	8,6
8	0-10 cm	9,4	9,3
	10-20 cm	8,2	7,3
9	0-10 cm	9,8	10,0
	10-20 cm	8,0	8,9

O valor médio da CTC calculado para a Área I foi de 8,67  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e de 8,65  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para a Área II, conforme mostram os dados da tabela 14, não sendo considerados sustentáveis, conforme os padrões estabelecidos por Goedert (2005) para a CTC em Latossolos tropicais de textura argilosa ( $>10,00 \text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ).

**Tabela 14** – Valores médios dos atributos químicos de QS das Áreas I e II estudadas.

Tratamento	CTC ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ )	MO ( $\text{g kg}^{-1}$ )
Área I (milho + soja)	8,67 a	42,88 a
Área II (feijão + sorgo)	8,65 a	40,33 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 1% para CTC e MO.

**Tabela 15** – Valores médios dos atributos químicos de QS das Áreas I e II nas profundidades estudadas.

Profundidade	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	MO (g kg <sup>-1</sup> )
0-10 cm	9,62 a	46,61 a
10-20 cm	7,70 b	36,61 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1% para CTC e MO.

A CTC do solo depende da classe textural e do tipo de argilo-mineral presente, assim, solos argilosos com predominância de argilas silicatadas tendem a apresentar maior CTC do que solos com predominância de argila sesquioxídica, particularmente óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio (Boudot et al., 1986). Os Latossolos estudados apresentaram textura muito argilosa, porém são solos muito evoluídos, com elevado grau de intemperização, onde predomina a mineralogia sesquióxida, o que justifica os baixos valores de CTC encontrados. Além dos colóides inorgânicos, a CTC de um solo também é dependente da ocorrência dos colóides orgânicos incorporados aos solos (McBride, 1994; Sposito, 1989).

Os resultados da análise da matéria orgânica do solo (MO) encontram-se na tabela 16, oscilando de 37,00 a 51,00 g kg<sup>-1</sup> na Área I e de 33,00 a 49,00 g kg<sup>-1</sup>, valores considerados medianos para solos do Cerrado Brasileiro.

Os valores individuais de MO, que oscilam em torno de 40 g·kg<sup>-1</sup> ao longo das nove repetições em ambas as áreas de estudo (Tabela 16), assim como os seus correspondentes teores médios (Tabela 14) podem ser considerados sustentáveis, de acordo com os limites de sustentabilidade para o atributo MO definido por Goedert (2005), ou seja > 40g kg<sup>-1</sup>.

A análise de variância (ANOVA) realizada com os valores obtidos para a CTC e a MO, não detectou diferenças estatísticas significativas nos valores de interação entre tratamento e profundidade (Tabela 8).

Diferenças significativas entre os valores médios da CTC nas Áreas I e II não foram constatadas, o que demonstra a pouca sensibilidade deste atributo frente aos manejos de rotação e sucessão em sistema de plantio direto (Tabela 14).

Já entre as profundidades avaliadas, diferenças estatísticas foram detectadas. A profundidade de 0-10 cm apresentou valor médio da CTC de 9,62 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, enquanto que na profundidade de 10-20 cm, o valor médio detectado foi de 7,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (Tabela 15).

**Tabela 16** – Teor de Matéria Orgânica das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Matéria Orgânica g kg <sup>-1</sup>	
1	0-10 cm	47,0	47,0
	10-20 cm	37,0	34,0
2	0-10 cm	46,0	46,0
	10-20 cm	41,0	37,0
3	0-10 cm	44,0	49,0
	10-20 cm	37,0	37,0
4	0-10 cm	49,0	44,0
	10-20 cm	36,0	33,0
5	0-10 cm	49,0	49,0
	10-20 cm	39,0	36,0
6	0-10 cm	47,0	44,0
	10-20 cm	37,0	33,0
7	0-10 cm	46,0	44,0
	10-20 cm	37,0	36,0
8	0-10 cm	51,0	41,0
	10-20 cm	39,0	33,0
9	0-10 cm	49,0	47,0
	10-20 cm	41,0	36,0

A justificativa pode estar na influência dos teores de MO sobre a CTC, nas profundidades analisadas, onde a profundidade de 0-10 cm apresentou valor médio de MO significativamente superior ao valor obtido na profundidade de 10-20 cm, conforme disposto na tabela 14. Esse comportamento reflete as tendências de correlação positiva entre CTC e os teores de MO em Latossolos sob plantio direto.

Como a maior proporção da CTC de solos com argilas de baixa atividade é originária de sua fração orgânica, era esperado que as tendências registradas para a MO se mantivessem para a CTC.

Resultados análogos foram observados por Araújo et al. (2007), que ao avaliarem a qualidade de um solo sob diferentes usos verificaram tendências similares na variação dos valores de CTC e dos teores de MO, conforme a profundidade estudada. Os autores observaram significativa redução da CTC, assim como da MO, de acordo com o aumento da profundidade.

Incrementos nos valores da CTC em sistemas de plantio direto, acompanhando as variações de MO, também foram obtidos por Mendonça e Rowell (1996) e Bayer e Bertol (1999). Estes últimos atribuíram o aumento da CTC à elevação,

principalmente, da fração dos ácidos húmicos, responsáveis pela formação de muitas cargas negativas no solo.

Costa et al. (2006) constataram valores de CTC mais elevados na camada de 0-10 cm em sistema de plantio direto e também vincularam tal diferença à influência dos teores de matéria orgânica que, da mesma forma, foram superiores nas camadas superficiais.

Solos tropicais, intensamente intemperizados, apresentam como uma das suas principais características químicas a baixa CTC. Nesses solos, o teor de MO tem importância preponderante na CTC efetiva (Bayer et al., 2002).

Segundo Raij (1969), a contribuição média da matéria orgânica para a CTC de horizontes superficiais de solos tropicais é superior a 70 %.

Já os valores médios de MO obtidos nas Áreas I e II, apresentaram diferenças significativas entre si, com 42,88 g kg<sup>-1</sup> na Área I e 40,33 g kg<sup>-1</sup> na Área II, refletindo a sensibilidade deste atributo frente aos manejos de rotação e sucessão adotados nas áreas de estudo (Tabela 14). Os teores mais elevados de MO na Área I podem ser justificados pelo maior período entre os cultivos de soja e milho em sistema de rotação anual adotado nesta área. Neste período, a matéria orgânica do solo fica menos exposta ao ataque dos microrganismos, pois, sem o revolvimento, ainda que localizado nas linhas de semeadura, não há quebra das estruturas que a protegem fisicamente dos agentes decompositores (Amado et al., 2005). Em contrapartida, a Área II, de uso agrícola mais intensivo, com adoção de plantios anuais sucessivos de feijão e sorgo — em virtude da maior exposição aos efeitos do revolvimento, localizado durante a semeadura e a maior frequência da ação descompactante das raízes —, apresentou teores mais reduzidos de MO, pela maior exposição desta aos efeitos da rizosfera, que estimula a comunidade microbiana e, conseqüentemente, as decomposições bioquímicas (Cheng et al., 1996).

Com relação às profundidades avaliadas, a profundidade de 0-10 cm apresentou valor médio de MO de 46,61 g kg<sup>-1</sup>, valor este significativamente superior ao da profundidade de 10-20 cm, com teor médio de 36,61 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 15). Esta tendência já era esperada, uma vez que a deposição dos tecidos vegetais aéreos na superfície condicionariam uma maior concentração de MO nos primeiros centímetros do solo, graças ao não-revolvimento deste (Hernani et al., 1999).

Tais resultados coadunam com os encontrados por Costa et al. (2006) que também detectaram diferença estatística entre os teores de MO nas camadas de 0-10 e

10-20 cm em parcelas sob sistema de plantio direto e atribuíram a maior concentração de MO nas camadas superficiais à manutenção dos restos vegetais na superfície do terreno.

Segundo Corazza et al. (1999), os resíduos culturais depositados na superfície do solo em períodos mais longos no sistema plantio direto promovem aumento do teor de MO nas camadas superficiais, o que também é complementado pela decomposição de raízes.

### **III.3.4.1– Avaliação da Distribuição Espacial dos Atributos CTC e MO nas Áreas I e II Estudadas**

A distribuição espacial da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) na Área I e na Área II, delineada por meio de mapas de isocurvas, encontram-se dispostos nas figuras 13 e 14, respectivamente. Nota-se uma heterogeneidade na distribuição espacial deste atributo nas duas áreas mapeadas.

Observa-se na profundidade de 0-10 cm, da Área I (Figura 13), maiores valores da CTC no quadrante superior esquerdo da área. Já na profundidade de 10-20 cm, da mesma área, pode-se constatar valores mais elevados de CTC no quadrante inferior esquerdo da área.

Em se tratando da Área II (Figura 14), verificaram-se valores elevados da CTC na porção central da área, na profundidade de 0-10 cm. Na profundidade de 10-20 cm, da mesma área, houve uma concentração de valores de CTC ligeiramente mais elevados no quadrante superior direito da área.

Percebe-se que na profundidade de 0-10 cm das áreas estudadas, houve maior incidência de valores elevados da CTC. Tal comportamento foi constatado nos respectivos ensaios estatísticos, onde comprovou-se que a camada de 0-10 cm apresentou valor médio de CTC superior ao da camada de 10-20 cm.

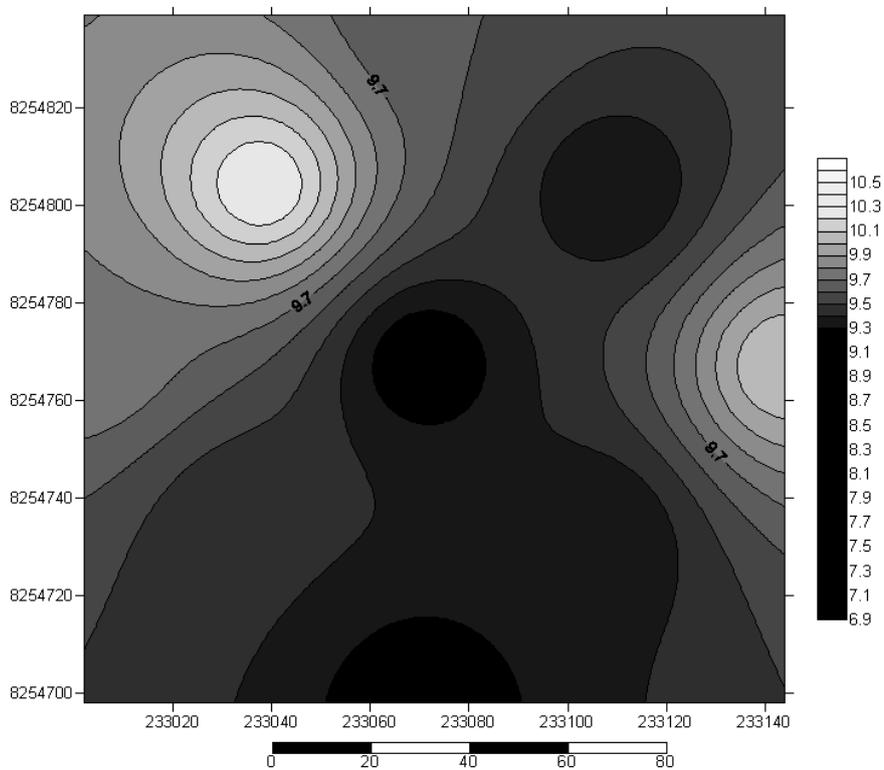
A justificativa para tais resultados está na correlação positiva entre a CTC e a MO que, da mesma forma, apresentou acréscimos na camada mais superficial estudada (0-10 cm).

No entanto, nota-se uma maior incidência de valores elevados de CTC na Área I em relação à Área II, apesar dos ensaios estatísticos não demonstrarem diferenças estatísticas significativas entre o valor médio da CTC das duas áreas (Tabela 14).

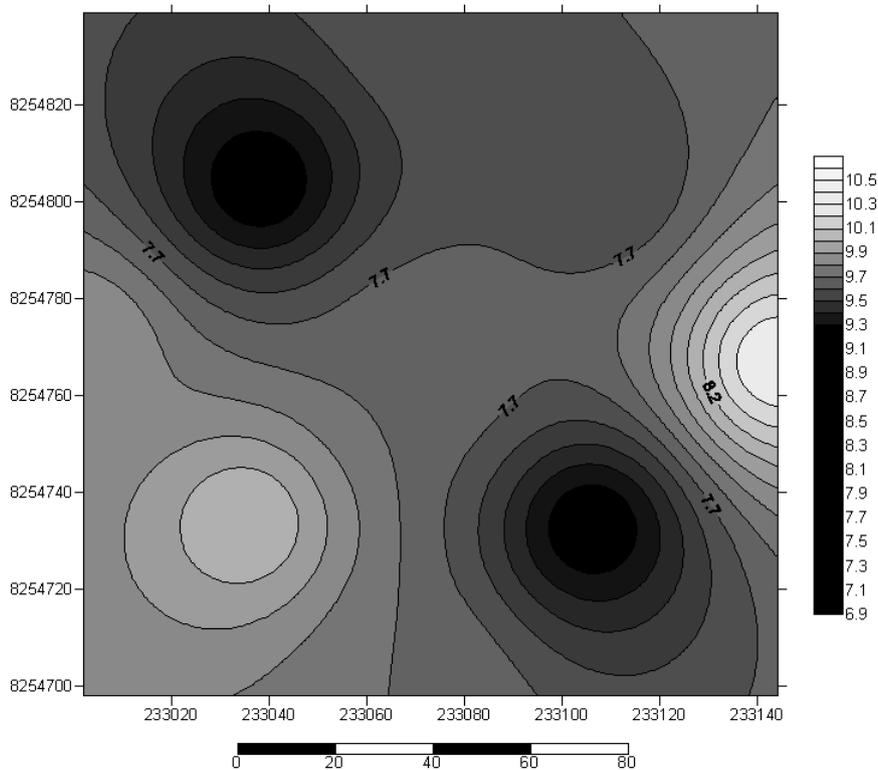
Área I

Capacidade de Troca Catiônica ( $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ )

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm

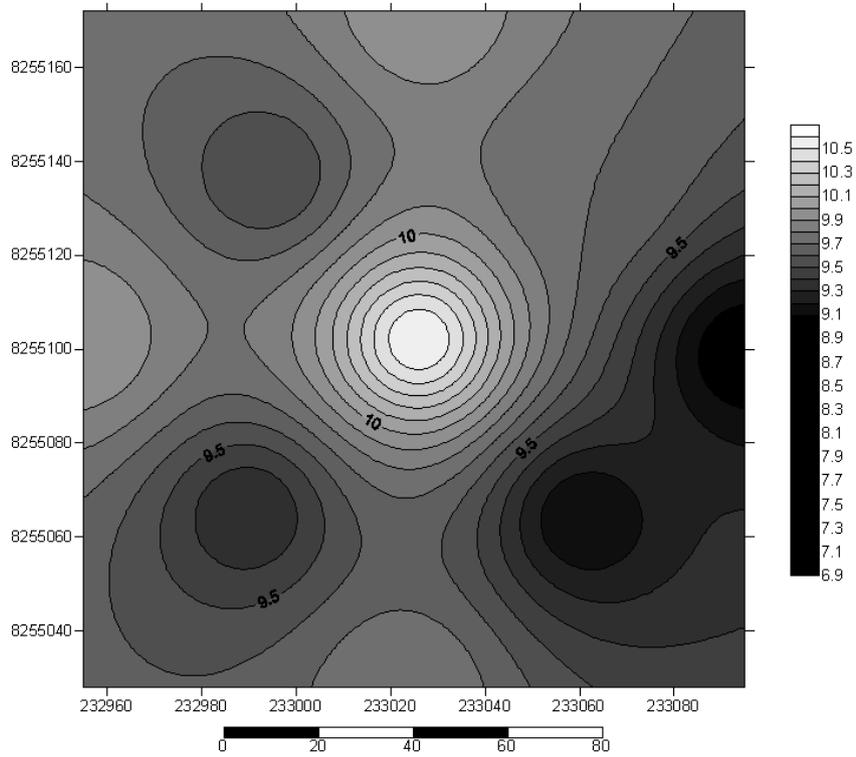


**Figura 13** – Mapas da distribuição espacial da Capacidade de Troca Catiônica do solo na Área I.

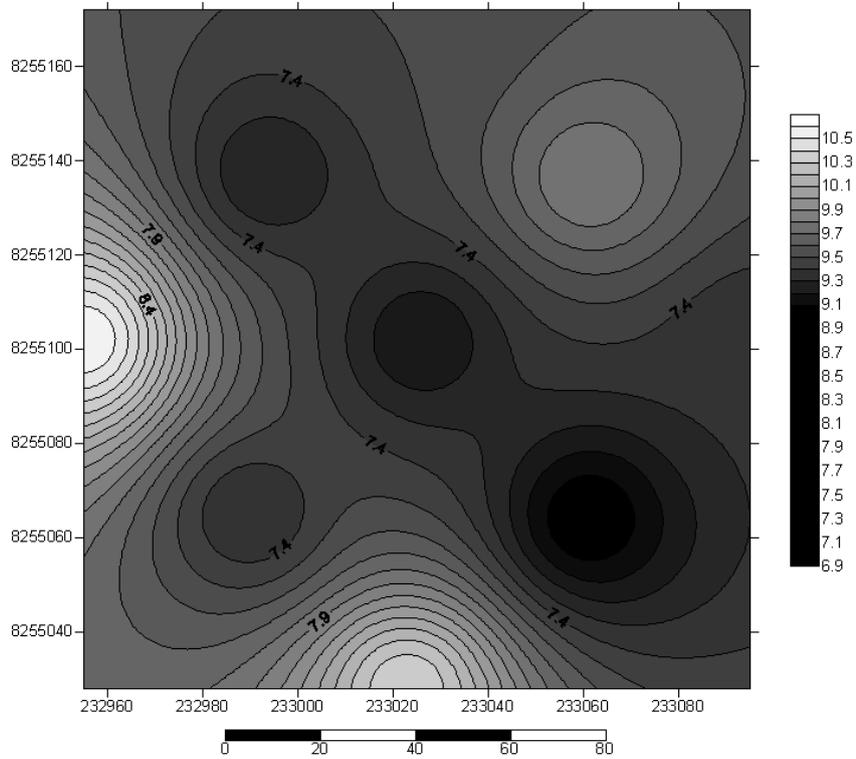
Área II

Capacidade de Troca Catiônica ( $\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ )

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm



**Figura 14** – Mapas da distribuição espacial da Capacidade de Troca Catiônica do solo na Área II.

Infere-se, portanto, que a análise da distribuição espacial, por meio dos mapas digitais, foi mais sensível, a ponto de revelar discretas diferenças na variabilidade do atributo em questão. De fato, à luz de uma análise mais minuciosa dos valores médios apresentados pelas Áreas I e II (Tabela 14), percebe-se que o valor médio da CTC na Área I foi ligeiramente superior ao da Área II. Tal diferença foi constatada por meio da interpretação dos mapas digitais gerados, demonstrando a eficácia e a sensibilidade do método aplicado.

O perfil de distribuição do teor de Matéria Orgânica (MO) na Área I (Figura 15) e Área II (Figura 16) também demonstrou-se heterogêneo, pela variabilidade observada nos mapas de distribuição espacial deste atributo.

Verifica-se a distinção entre os teores de MO das áreas estudadas, onde a Área I, apresenta valores mais elevados de MO, nas duas profundidades avaliadas. Tem-se, assim, uma concordância na interpretação dos mapas digitais em relação à análise estatística experimental, onde o valor médio da MO na Área I foi significativamente superior ao da Área II, assim como o teor médio na profundidade de 0-10 cm foi maior do que o da profundidade de 10-20 cm. Tal fato é verificado por meio dos mapas de distribuição de MO, onde verifica-se maior concentração de MO na profundidade de 0-10 cm dos solos avaliados nas duas áreas estudadas.

Diante deste cenário fica evidente a correlação positiva entre a CTC e a MO detectados no presente estudo. Observa-se o incremento da CTC conforme a elevação dos teores de MO, particularmente entre as profundidades avaliadas, graças ao não revolvimento do solo e à permanência dos resíduos culturais na sua superfície.

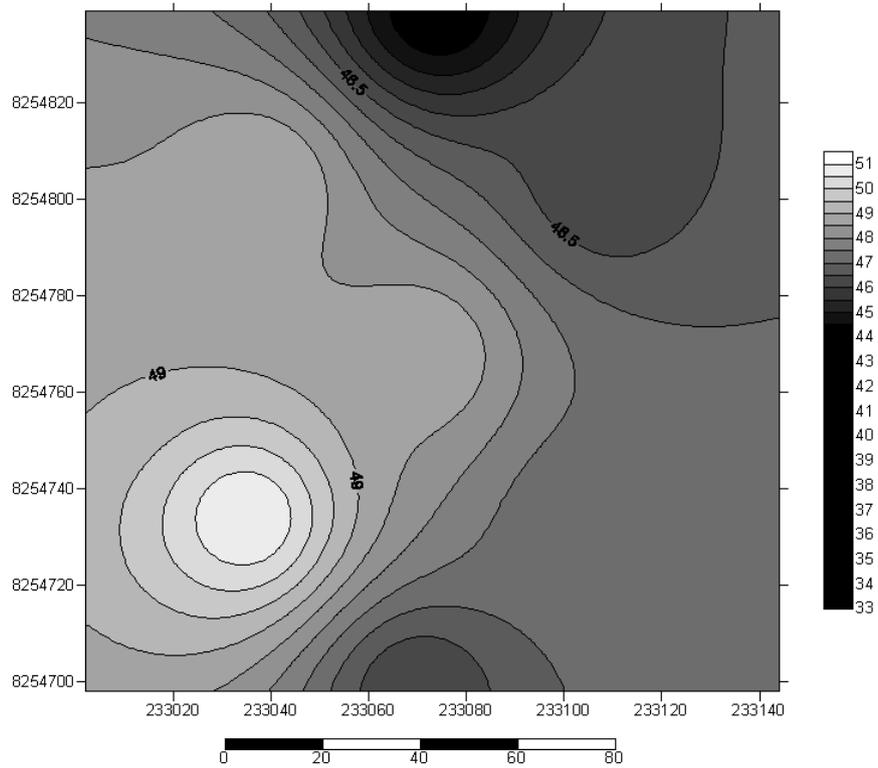
Similarmente, Rheinheimer et al. (1998) obtiveram valores superiores de CTC na camada superficial em sistemas de plantio direto, quando comparados ao sistema convencional, e atribuíram o aumento da CTC no sistema de plantio direto à elevação dos teores de MO nesse tratamento. Bayer e Bertol (1999) também atribuíram o aumento da CTC à elevação dos teores de MO, principalmente da fração ácidos húmicos, responsáveis pela formação de muitas cargas negativas no solo.

Falleiro et al. (2003), ao estudar a influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo, verificaram incrementos nos valores da CTC na camada superficial do sistema de plantio direto, acompanhando os aumentos de MO.

Área I

Matéria Orgânica (g kg<sup>-1</sup>)

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm

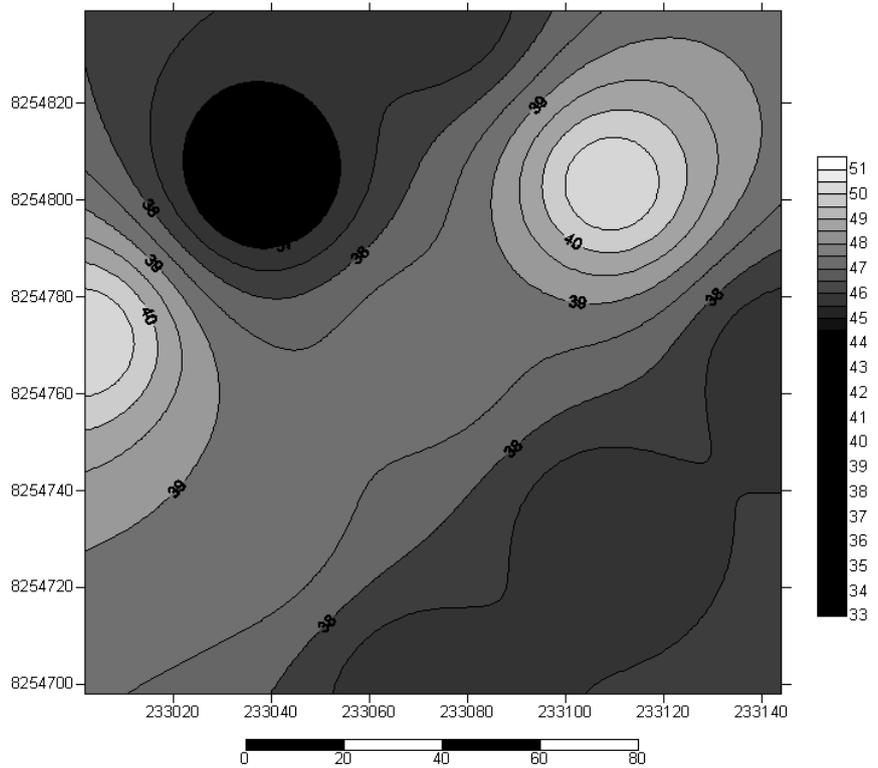
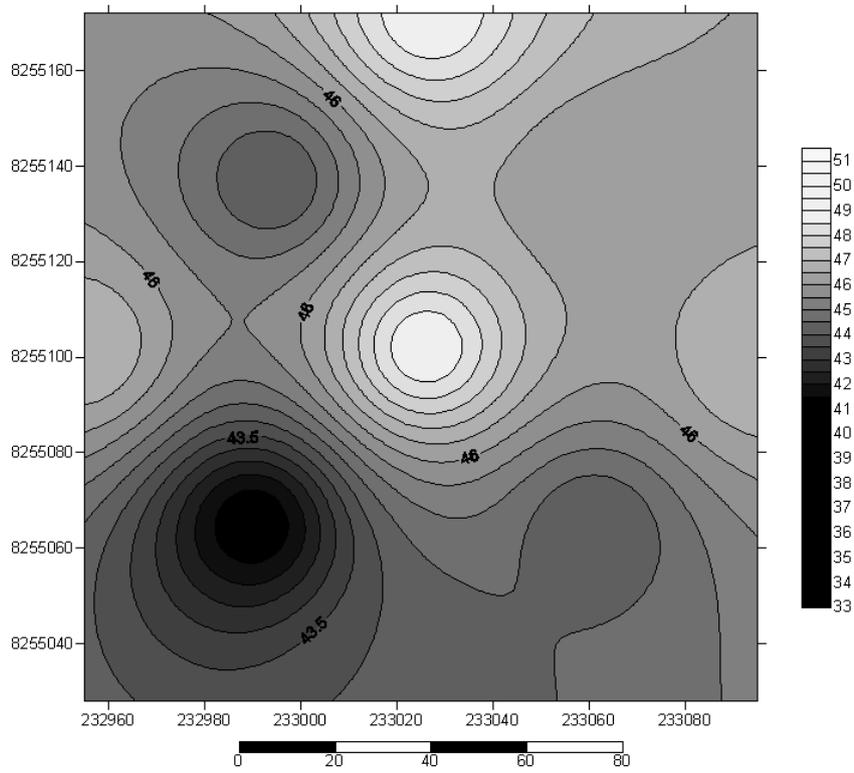


Figura 15 – Mapas da distribuição espacial da Matéria Orgânica do solo na Área I.

Área II

Matéria Orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ )

Profundidade: 0-10 cm



Profundidade: 10-20 cm

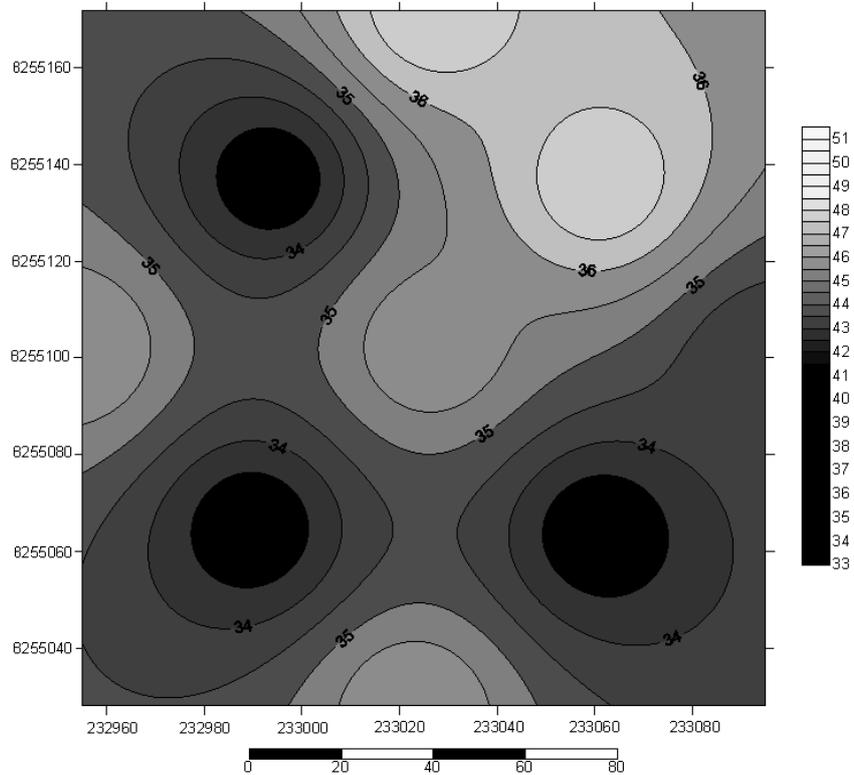


Figura 16 – Mapas da distribuição espacial da Matéria Orgânica do solo na Área II.

Resultados análogos foram obtidos por Araújo et al. (2007) que detectaram tendências similares na variação da CTC e da MO, com valores superiores nas camadas superiores estudadas (0-5 cm e 5-10 cm). Os autores observaram significativa redução da CTC, assim como da MO, em relação à profundidade em solos sob diferentes usos e sob cerrado nativo.

Niero et al. (2010), ao conduzirem estudos acerca da qualidade de Latossolo Vermelho, verificaram que sistemas de manejo conservacionistas aumentam o teor de matéria orgânica do solo, por manterem os resíduos das culturas anteriores e pela baixa mobilização dos solos. Tais autores atribuíram os valores reduzidos de CTC aos baixos teores de MO obtidos em alguns tratamentos avaliados.

### III.3.5– Atributos Biológicos de QS

Os valores obtidos para a Respiração Basal Microbiana (Rmic) oscilaram entre 13,71 e 79,93 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na Área I, e entre 18,10 e 46,10 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na Área II, conforme disposto na tabela 17. Valores discrepantes foram eliminados por meio de filtros estatísticos.

**Tabela 17** – Respiração Basal Microbiana das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Respiração Basal Microbiana mg C kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	
1	0-10 cm	19,72	-
	10-20 cm	42,00	46,10
2	0-10 cm	-	23,63
	10-20 cm	47,05	26,89
3	0-10 cm	21,42	18,10
	10-20 cm	74,45	-
4	0-10 cm	-	21,90
	10-20 cm	-	41,75
5	0-10 cm	-	-
	10-20 cm	36,53	26,57
6	0-10 cm	23,40	-
	10-20 cm	13,71	45,18
7	0-10 cm	37,64	32,93
	10-20 cm	-	-
8	0-10 cm	-	29,46
	10-20 cm	32,34	21,65
9	0-10 cm	21,76	38,46
	10-20 cm	79,93	26,75

Em se tratando do Carbono da Biomassa Microbiana (Cmic), os valores obtidos na Área I oscilaram entre 38,78 e 138,10 mg C kg<sup>-1</sup> e na Área II entre 27,06 e 218,82 mg C kg<sup>-1</sup> (Tabela 18). Valores discrepantes foram eliminados por meio de filtros estatísticos.

**Tabela 18** – Carbono da Biomassa Microbiana das Áreas I e II estudadas.

Repetição	Profundidade	Área I	Área II
		Carbono da Biomassa Microbiana mg C kg <sup>-1</sup>	
1	0-10 cm	138,10	-
	10-20 cm	80,60	27,06
2	0-10 cm	72,92	217,36
	10-20 cm	38,78	137,16
3	0-10 cm	-	128,21
	10-20 cm	39,85	-
4	0-10 cm	-	99,27
	10-20 cm	-	58,38
5	0-10 cm	58,80	163,49
	10-20 cm	64,53	116,62
6	0-10 cm	137,39	-
	10-20 cm	41,96	163,82
7	0-10 cm	-	218,82
	10-20 cm	-	133,68
8	0-10 cm	116,55	120,97
	10-20 cm	46,43	66,06
9	0-10 cm	-	-
	10-20 cm	63,86	-

A análise de variância (ANOVA) realizada com os valores obtidos para o Rmic e Cmic, não detectou diferenças estatísticas significantes nos valores de interação entre tratamento e profundidade (Tabela 8).

As Áreas I e II apresentaram valores médios de Rmic de 37,49 e 30,72 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Tabela 19), respectivamente, sendo considerados sustentáveis pelos parâmetros sugeridos por Goedert (2005) para Latossolos tropicais, devendo estar acima de 10 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Diante das elevadas taxas de Rmic detectadas, sugere-se que este fato esteja relacionado à influência do sistema de plantio direto (PD) adotado nas áreas em estudo. Já em relação às profundidades estudadas, os teores médios de Rmic foram de 26,22 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na camada de 0-10 cm e de 40,06 mg C kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> na camada de 10-20 cm. (Tabela 20).

Os valores médios do Cmic calculados para as Áreas I e II foram, respectivamente, 74,98 e 126,99 mg C kg<sup>-1</sup> (Tabela 19). Tais valores estão abaixo de 200,00 mg C kg<sup>-1</sup>, sendo assim, considerados não sustentáveis conforme conjunto de valores de parâmetros de QS considerado sustentáveis propostos por Goedert (2005) para Latossolos tropicais. Com relação às profundidades avaliadas, os valores médios de Cmic foram de 133,81 e 77,06 mg C kg<sup>-1</sup>, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm respectivamente (Tabela 20).

**Tabela 19** – Valores médios dos atributos biológicos de QS das Áreas I e II estudadas.

Tratamento	Rmic (mg C kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	Cmic (mg C kg <sup>-1</sup> )
Área I (milho + soja)	37,49 a	74,98 a
Área II (feijão + sorgo)	30,72 a	126,99 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% para Rmic e à 1% para Cmic.

**Tabela 20** – Valores médios dos atributos biológicos de QS das Áreas I e II nas profundidades estudadas.

Profundidade	Rmic (mg C kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	Cmic (mg C kg <sup>-1</sup> )
0-10 cm	26,22 a	133,81 a
10-20 cm	40,06 b	77,06 b

Para cada atributo avaliado, as letras comparam colunas, onde médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% para Rmic e à 1% para Cmic.

No plantio direto, aumentos na respiração do solo têm sido justificados pelo acúmulo de matéria orgânica rica em frações lábeis à superfície (Vargas e Scholles, 2000). Estudos comparativos entre sistemas convencionais e de plantio direto mostraram valores mais elevados de respiração basal no plantio direto, o que foi atribuído à maior atividade biológica nesse sistema (Balota et al., 1998).

Follet e Schimel (1989), em uma área submetida ao PD por 16 anos, constataram um incremento de 108% na liberação de CO<sub>2</sub> do solo com 36 dias de incubação, em relação às parcelas com preparo convencional do solo, enquanto Alvarez et al. (1995) observaram aumento de 220% na liberação de CO<sub>2</sub> para o PD em relação às parcelas com preparo convencional.

Nos manejos em estudo, rotação (Área I) e sucessão (Área II), ambos em sistema de plantio direto, os valores médios de Rmic detectados não foram considerados

estatisticamente distintos (Tabela 19). Diante disso, sugere-se que a  $R_{mic}$  não é sensível às diferentes formas de manejo em sistema de plantio direto avaliadas nas Áreas I e II.

D'Andréa et al. (2002) verificaram que a  $R_{mic}$  não variou significativamente frente à diferentes tipos de manejo dos solos, particularmente entre os sistemas de PD e Plantio Convencional (PC). Assim, não tendo este atributo respondido diferentemente à sistemas tão contrastantes (PD e PC), é esperado que não haja influência dos diferentes tipos de manejos estudados (rotação e sucessão) dentro de um mesmo sistema (PD), sobre a  $R_{mic}$ , como no presente estudo.

Costa et al. (2006), ao comparar a  $R_{mic}$  em sistemas de preparo convencional e plantio direto, observaram que os valores mais elevados foram detectados em um tratamento sob sistema de plantio direto, possivelmente em resposta à maior adição de restos culturais com maior relação C/N.

Entretanto, os efeitos da profundidade sobre a  $R_{mic}$  foram constatados na avaliação estatística. A profundidade de 0-10 cm apresentou valor médio deste atributo de  $26,22 \text{ mg C kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$ , enquanto que na profundidade de 10-20 cm este valor foi de  $40,06 \text{ mg C kg}^{-1}\text{dia}^{-1}$  (Tabela 20). O fato da profundidade de 0-10 cm apresentar valor médio de MO mais elevado (Tabela 14), quando comparada à profundidade subjacente, poderia fornecer indícios de uma  $R_{mic}$  menos expressiva, onde uma possível decomposição microbiana menos efetiva estaria preservando mais MO nesta camada.

Possivelmente, uma atividade microbiana menos atuante na profundidade mais superficial avaliada (0-10 cm), responsável pela decomposição da MO, promoveu uma liberação mais discreta de  $\text{CO}_2$ .

Comportamento similar da  $R_{mic}$ , frente à diferentes profundidades, foram observados nos estudos conduzidos por D'Andréa et al. (2002) ao avaliarem alterações nos atributos biológicos do solo desencadeados por diferentes tipos de manejo agrícola. Os autores detectaram valores médios de  $R_{mic}$  mais elevados em camadas mais profundas do solo em comparação às camadas superficiais analisadas.

Em se tratando de áreas com cerca de 15 anos sob PD, como as do presente estudo, a hipótese de conversão de C orgânico do solo em  $\text{CO}_2$ , evidenciado pelas altas taxas de  $R_{mic}$  verificadas, pode ser considerada. Este mecanismo de perdas de C orgânico para a atmosfera refletiria em menor substrato para atuação dos microrganismos e consequentes restrições na imobilização de C orgânico.

Diferenças significativas foram constatadas entre os valores médios do  $C_{mic}$  das Áreas I e II, sendo estes  $74,98$  e  $126,99 \text{ mg}\cdot\text{C}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Tabela 19). Tal diferença

pode ser justificada pela forma de deposição de resíduos orgânicos ao solo da Área II, de cultivo mais intenso, que aliada às altas taxas de  $R_{mic}$ , favoreceram a maior conversão do C orgânico em  $C_{mic}$ . Em geral, o incremento da biomassa microbiana está relacionado ao aumento do conteúdo de MO do solo (Rezende et al., 2004), que na Área II deu-se, principalmente, pela decomposição mais efetiva dos tecidos radiculares.

Possivelmente, as taxas de mineralização estariam superando as de imobilização de Carbono pela biomassa microbiana, colaborando com a redução do  $C_{mic}$  nas áreas estudadas. As altas taxas de  $R_{mic}$  detectadas em ambas as áreas, pode ser explicada pela perda de Carbono (C) orgânico do solo, que estaria sendo rapidamente convertido em  $C_{mic}$  e perdido para a atmosfera na forma de  $CO_2$ . Ao se adicionar material orgânico ao solo, este é mineralizado pela ação dos microrganismos, que liberaram os elementos minerais contidos neste material (Alexander, 1977). Uma alta taxa respiratória indicará maior atividade microbiana e uma decomposição mais rápida do material orgânico do solo, com conseqüente liberação de nutrientes para as plantas. Este fenômeno de liberação de nutrientes ao solo é chamado mineralização, e o de sua retenção em forma orgânica na biomassa microbiana, imobilização (Bartholomew, 1965).

A interpretação dos resultados da atividade biológica deve ser feita com critério, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis: uma alta taxa de respiração pode significar, em curto prazo, liberação de nutrientes para as plantas e, em longo prazo, perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera (Parkin et al., 1996).

A diferença entre os valores médios do  $C_{mic}$  detectados nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, respectivamente 133,81 e 77,06 mg C kg<sup>-1</sup>, foi estatisticamente significativa (Tabela 20).

Tais resultados são compatíveis com as observações efetuadas por Ferreira et al. (2007) ao avaliarem a dinâmica do  $C_{mic}$  em diferentes sistemas de manejo. Estes autores verificaram que no solo sob sistema de PD os teores de  $C_{mic}$  decresceram das camadas mais superficiais para as mais profundas e de forma mais acentuada do que no solo sob sistemas convencionais.

### **III.3.6– Relações entre os Atributos de QS Avaliados**

Os valores das correlações entre os atributos de qualidade do solo (QS) avaliados estão dispostos na tabela 21.

**Tabela 21** – Matriz de correlações de Pearson para os atributos de QS avaliados.

Atributos*	GF	Ds	CTC	MO	Rmic	Cmic
GF	1					
Ds	-0,160	1				
CTC	0,141	-0,406	1			
MO	0,168	-0,340	<b>0,874</b>	1		
Rmic	0,189	0,205	-0,381	-0,297	1	
Cmic	0,107	-0,431	0,562	0,369	-0,375	1

(\*) GF= Grau de Flocculação, Ds=Densidade do solo; CTC=Capacidade de Troca Catiônica; MO=Matéria Orgânica; Rmic=Respiração Basal Microbiana; Cmic=Carbono da Biomassa Microbiana.

As correlações de Pearson realizadas entre os atributos de QS avaliados demonstram que houve uma relação altamente significativa e direta entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e a matéria orgânica (MO) dos Latossolos estudados, da ordem de 87,4% (Tabela 21).

A correlação positiva da MO com a CTC era esperada, já que em solos tropicais, com predominância de argilominerais de baixa atividade e sesquióxidos, a fração orgânica contribui com a maior proporção das cargas negativas, confirmando relatos de Silva e Resck (1997).

Resultados similares foram relatados por Araújo et al. (2007), que ao investigar a qualidade de um solo sob diferentes usos detectou uma correlação significativa e direta entre a MO e a CTC.

Similarmente, Netto (2008) verificou uma correlação forte e altamente significativa entre a MO e a CTC em Latossolos sob pastagens.

#### IV – CONCLUSÕES

1 – A microbacia do ribeirão Extrema é predominantemente ocupada por áreas sob exploração agrícola intensiva, correspondendo a 85,74% da microbacia estudada.

2 – O diagnóstico da adequação do uso e ocupação das terras permitiu constatar que 80,07% das terras da microbacia do ribeirão Extrema encontra-se com uso adequado conforme o Sistema Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras.

3 – Entre os atributos de qualidade do solo estudados, grau de floculação (GF), capacidade de troca catiônica (CTC) e respiração basal microbiana (Rmic) não mostraram variação nos sistemas de cultivo estudados – plantio direto com rotação de culturas (Área I) e plantio direto com sucessão de culturas (Área II) – indicando a reduzida sensibilidade destes atributos frente aos diferentes tipos de manejo avaliados, ao contrário da densidade do solo (Ds), matéria orgânica (MO) e carbono da biomassa microbiana (Cmic) que foram influenciados pelos diferentes sistemas de cultivo investigados.

4 – Os atributos químicos de qualidade do solo, MO e CTC, apresentaram correlação altamente significativa e direta, onde os maiores teores de ambos atributos foram verificados na profundidade de 0-10 cm das áreas estudadas.

5 – Os mapas digitais mostram-se eficazes na expressão da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos de qualidade dos solos avaliados, fornecendo subsídios para estudos agronômicos, particularmente em agricultura de precisão, podendo ser considerados uma importante ferramenta no planejamento agrícola.

## V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEFF, K; NANNIPIERRE, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. London:Academic Press, 1995.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1977. 467p.

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R.A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O.J.; BLOTTA, L. Soil organic carbon, microbial biomass and CO<sub>2</sub>-C production from three tillage systems. **Soil Tillage Research**, 33:17-28, 1995.

AMADO, T.J.C., NICOLOSO, R.S., LANZANOVA, M.E., SANTI, A.L.; LOVATO, T. A compactação pode comprometer os rendimentos de áreas sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, edição 89, Setembro/Outubro de 2005. Aldeia Norte, Passo Fundo – RS.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 1099-1108, 2007.

ASSIS, R.L. de. **Avaliação dos atributos físicos e da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo**

**convencional e mata nativa.** Botucatu, 2002. 128p – FCA/UNESP. Tese de Doutorado.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D. S.; HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e suas atividades em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:641-649, 1998

BAPTISTA, G. M. M. Caracterização climatológica do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. Brasília: IEMA/SEMATEC/UnB, ed. 1, 1998, p. 187-208.

BARTHOLOMEW, W.V. Mineralization and immobilization of nitrogen in the decomposition of plant and animal residues. In: BARTHOLOMEW, W. V.; CLARK, F. E. (Eds.). **Soil nitrogen**. Madison : ASA, 1965. p.285-306. (Agronomy, 10).

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:687-694, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, 238:133-140, 2002.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:167-177, 2001.

BILICH, M. R. **Ocupação das terras e a qualidade da água na microbacia do ribeirão Mestre D'Armas, Distrito Federal**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2007, 134 p. Dissertação de Mestrado.

BORGES, M. E. S.; SOARES, F. S.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Relação dos compartimentos geomorfológicos com o uso agrícola na bacia do rio Preto. **Espaço & Geografia**, Vol.10, No 2 (2007), 453:476. ISSN: 1516-9375.

BOUDOT, J. P.; BEL HADJ, B. A.; CHONE, T.; HADJ, B. A. B. Carbon mineralization in andosols and aluminum-rich highland soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 18:457-461, 1986.

BOUYOUCOS, G. J. The hydrometer method improved for the mechanical analysis of soil. **Soil Science**, 23: 343-353, 1927.

BOWEN, H. D. **Alleviating mechanical impedance**. In: ARKIN, G. F.; TAYLOR, H. M., eds. Modifying the root environment to reduce crop stress. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1981. p.18-57.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989.

BRASIL. **Agricultura Sustentável**. Brasília, IBAMA, 2000. 190p.

BRUCE, R. R.; LANGDALE, G. W.; DILLARD, A. L. Tillage and crop rotation effect on characteristics of a sandy surface soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 54, n. 6, p. 1744-1747, Nov./Dec. 1990.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:161-169, 2000.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:789-796, 2005.

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

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:121-126, 1995.

CAMPOS, J. E. G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. **Revista Brasileira de Geociências**, 34:41-48, 2004.

CARNEIRO, P. J. R. **Rio Preto: energia, meio ambiente e desenvolvimento**. In: Carneiro, P. J. R. (Org.) Rio Preto: barragens, dinâmica do uso do solo e recursos hídricos; os novos desafios da tecnologia, limites da sustentabilidade e paradigmas educacionais. Anais do seminário interinstitucional, 1. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2003. p.19-23.

CARNEIRO, P. J. R.; MALDANER, V. I.; ALVES, P. F.; QUEIRÓS, I. A. de; MAURIZ, T. V.; PACHECO, R. J. Evolução do uso da água na bacia do rio Preto no Distrito Federal. **Espaço & Geografia**, vol. 10, nº 2. p. 47-76, 2007.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:99-105, 1990.

CARVALHO Jr., I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camada compactada e, ou adensamento em Latossolo Vermelho-

Escuro textura média, na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:505-514, 1998.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 37:1151-1159, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:527-538, 1998.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATAL, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.2, p.254-258, 2001.

CHAVES, A. A. A. **Avaliação do uso e qualidade do solo e da água da região de nascentes do Rio Descoberto, DF**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2005. 92p. Dissertação de Mestrado.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; KATO, E.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G. Uso das terras da parte norte da bacia do rio Descoberto, Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, 2010.

CHENG, W.; ZANGH, Q.; COLEMAN, D. C.; CARROL, C. R.; HOFFMAN, C. A. Is available carbon limiting microbial respiration in rhizosphere? **Soil Biology and Biochemistry**, 28:1283- 1288, 1996.

CODEPLAN. **Atlas do Distrito Federal**. Brasília. Secretaria de Educação e Cultura/CODEPLAN. v. 1. 78p., 1984.

CODEPLAN. **Sistema Cartográfico do Distrito Federal – SICAD**. Cartas planialtimétricas em formato vetorial, na escala 1:10.000. Brasília, 1991.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:425-432, 1999.

CORINE - Land Cover Project. **European Environment Project**, 1992.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, jul. 2006.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:913-923, 2002.

DA ROS, C. O.; SECCO, D.; FIORIN, J. E.; PETRERE, C.; CADORE, M. A.; PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 21:241-247, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. **Defining and assessing soil quality**. In: DORAN, J. W.; COEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America**, 1994. p.3-21. (SSSA Special Publication, 35).

DUMANSKI, J.; PIERI, C. Land quality indicators: research plan. **Agriculture, Ecosystems & Environment** v. 81, 2000.

EMBRAPA, **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro: Boletim técnico, n. 53, SNLCS, 1978.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análises de Solos**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa: Produção de Informação, 1999.

EMBRAPA. Bacia do Rio Preto - Pesquisadores de diversas instituições se unem para avaliar e monitorar a Bacia. **Cerrados Informa**. Ano VI, 8p., Planaltina-DF, 2005.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; OLIVEIRA, L. C. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:275-280, 1998.

ERNANI, P. R.; NASCIMENTO, J. A. L.; CAMPOS, M. L.; CAMILLO, R. J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:537- 544, 2000.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p. 1419-1424, 2001.

FALEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1097-1104, 2003.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1994. 227p.

FERREIRA, C. S. **Avaliação Temporal do Uso e Ocupação das Terras na Bacia do São Bartolomeu, DF**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2006. 115p. Dissertação de Mestrado.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do Carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31:1625-1635, 2007.

FOLLET, R. F.; SCHIMEL, D. S. Effect of tillage practices on microbial biomass dynamics. **Soil Science Society of America Journal**, 53:1091- 1096, 1989.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferralsol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, 64:221-230, 2002.

GOEDERT, W. J. **Qualidade do Solo em Sistemas de Produção Agrícola – XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2005.

GOMES-LOEBMANN, D.; GUIMARÃES, R. F.; BETTIOL, G. M.; FREITAS, L. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. Análise multitemporal do uso da terra por sensoriamento remoto para as diferentes unidades pedológicas da bacia do rio Jardim, importante produtora agrícola do Distrito Federal. **Geosul**, Florianópolis, v. 20, n. 39, p 83-103, jan./jun. 2005

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:145-154, 1999.

LEI FEDERAL Nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o Novo Código Florestal**.

LIMA, D. V.; FAQUIN, V.; FURTIN NETO, A. E.; MORAIS, A. R. de; CURI, N.; HIGA, N.T. Macro e micronutrientes no crescimento do braquiário e da soja em Latossolos sob Cerrado da região de Cuiabá-MT. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.1, p.96-104, 2000.

LOBO, G. A. S. **Aplicação de geotecnologias no planejamento de uso de áreas rurais**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2002. 144p. Dissertação de Mestrado.

MALDANER, V. I. **Análise dos conflitos do uso da água na bacia hidrográfica do rio Preto no DF**. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2003. Dissertação de Mestrado.

MARASCA, I. **Atributos físicos do solo em área de plantio direto com e sem escarificação**. São Paulo: Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista 2010. 61p. Dissertação de Mestrado.

MARTINS, E. S. Sistemas Pedológicos do Distrito Federal. In: **Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal**. vol. 1, Brasília: IEMA/SEMATEC/UnB, p.139-163, 1998.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.

MEDINA, A. S.; MEDINA, S. S. S. **A representação da superfície topográfica através de modelos digitais de terreno**. IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMETRIA E DESENHO TÉCNICO, 18. E INTERNACIONAL CONFERENCE ON GRAPHICS ENGINEERING FOR ARTS AND DESIGN, 7., 2007, Curitiba. **Anais...** Departamento de Desenho: UFPR, Curitiba. 2007.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. **Soil Science Society of America Journal**, 60:1888- 1892, 1996.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P.; VEIRA, D. A.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em Argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.3, p.315-321, 2010.

MOREIRA, M. A., **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: 2. ed., editora UFV, 2003.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, nov. 2001.

NETTO, I. T. P. **Qualidade física e química de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes períodos de uso**. Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, 2008. 67p. Dissertação de Mestrado.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho Distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1271-1282, 2010.

OKA-FIORI, C.; FIORI, A. P.; HASUI, Y. Dinâmica da ocupação do solo na bacia do Rio Itiquira, Mato Grosso, Brasil. **Revista RAE GA**, Curitiba, n. 7, 2003. p. 19-31.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical**, Maracay, v.44, p.41-65, 1994.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J. W.; JONES, A., eds. **Methods for assessing soil quality**. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.231-245.

RAIJ, B. van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, 28:85-112, 1969.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de Aptidão Agrícola das Terras**. 3ª ed. Revisada, Rio de Janeiro: Embrapa – CNPS, 1995. 65p.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T.; CHAGAS, C. S.; MARTINS, E. S.; ANDAHUR, J. P.; GODOY, M. J. S.; ASSAD, M. L. L. Levantamento Semidetalhado dos Solos da Bacia do Rio Jardim-DF, escala 1:50.000. **Boletim de Pesquisa Embrapa Cerrados**, Planaltina-DF, v. CDROM, 63p. 2000.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.242-254, 2009.

REINERT, D. J.; ALBURQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.32, p.1805-1816, 2008.

REINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. Modificações em atributos químicos de solos arenosos sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:713-722, 1998.

REZENDE, L. A.; ASSIS, L. C.; NAHAS, E. Carbon, nitrogen and phosphorous mineralization in two soils amended with distillery yeast. **Bioresource Technology**, 94:159-167, 2004.

RODRIGUES, L. M. R. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da evolução e adequação do uso agrícola das terras na microbacia do Córrego Lamarão, DF**. Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 1998, 109 p. Dissertação de Mestrado.

RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; AZEVEDO, J. A de; SILVA, E. M. da. Distribuição Espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na bacia do rio Preto. **Espaço & Geografia**, vol. 10, nº2. p.101-122, 2007.

ROSA JÚNIOR, E. J.; MARTINS, R. M. G.; ROSA, Y. B. C. J.; CREMON, C. Calcário e gesso como condicionantes físico e químico de um solo de cerrado sob três sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, n. 1, p. 37-44, 2006.

SÁ, M. A. C. de; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; GRANATE DE SÁ, J. J.; MARQUES, M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7. p. 691 - 699. Jul.-jun., 2004.

SANTOS, V. T. M. **Aplicação de classificação digital de imagens orbitais no mapeamento de uso da terra**. Brasília: Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 2006. Dissertação de Mestrado.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SCHOBENHAUS, C. As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás. In: **Geologia do Brasil- texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000**. Cap. VI. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral. p. 251-299, 1984.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. Geologia. **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno**. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (org.) - Fase I. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2003, v.1, p. 09-15, 2003.

SELBY, M. J. **Hillslope materials and processes**. 2. ed. Oxford, Oxford University Press, 1993. 451p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:311-317, 1998.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURI, N.; LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:97-103, 1998.

SILVA, M. L. N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 35:2485-2492, 2000.

SILVA, M. T. G.; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do ribeirão João Leite, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, n. 4, p. 330-337, out./dez. 2009.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. **Matéria orgânica do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. Biologia dos solos do cerrado. Planaltina, Embrapa, 1997. P.465-524.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; DECHEN, S. C. F. Variabilidade espacial da densidade e da porosidade de um Latossolo Vermelho Eutroférico sob semeadura direta por vinte anos. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.751-759, 2009.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; KLIEMANN, H. J. Avaliação de métodos para determinar as necessidades de calcário em solos de Cerrados de Goiás e do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, n.2, p.144-148, 1980.

- SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. 345p.
- TRANGMAR, B. B., YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, p.45-94, 1985.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade / ABRH. Cap.1, p.25-33; cap.22, p.849-75, 1993.
- VANCE, E. D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 19:703-707, 1987.
- VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO<sub>2</sub> e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:35-42, 2000.
- VENDRUSCULO, L. G. **Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística**. Campinas, Universidade de Campinas, 2001, 87p. Tese de Mestrado.
- VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, jul. 1984.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, G. R., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:891-900, 2004.