



Universidade de Brasília – UnB

Instituto de Geociências - IG

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SEMI-AUTOMÁTICO E LÓGICA FUZZY PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Nº49

Larissa Ane de Sousa Lima

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Co-orientador: Dra. Adriana Reatto

Brasília – DF
2013



Universidade de Brasília – UnB

Instituto de Geociências - IG

**APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SEMI-AUTOMÁTICO E LÓGICA
FUZZY PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI**

Larissa Ane de Sousa Lima

Orientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

Co-orientadora: Dra. Adriana Reatto

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca Examinadora do Instituto de Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental) da Universidade de Brasília, como exigência para obtenção do título de mestre em Geociências.

Brasília-DF

Abril 2013

Universidade de Brasília – UnB
Instituto de Geociências - IG

**APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SEMI-AUTOMÁTICO E LÓGICA
FUZZY PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI**

Larissa Ane de Sousa Lima

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig
Presidente

Prof. Dr. *José Eloi Guimarães Campos*
Membro Interno

Prof. Dr. *Waldir de Carvalho Júnior*
Membro Externo

Brasília 11 de abril de 2013.

*Ao meu pai, que despertou em mim o amor pelo
aprendizado,
E a minha mãe, pelo amor incondicional e
apoio em todas as horas.*

*“O correr da vida embrulha tudo.
A vida é assim: esquentada e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem.”*

João Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Ao meu querido orientador, Henrique Llacer Roig, por todos os ensinamentos, conversas, paciência e tempo me dedicados ao longo desses dois anos. Agradeço pela oportunidade de participar do Programa de Pós - Graduação, por me receber tão bem entre seus alunos e por acreditar nesse projeto.

A minha co-orientadora, Adriana Reatto, por todo suporte e ajuda para a realização do meu mestrado desde o processo de seleção, pelas valiosas contribuições, pela oportunidade de participar do Projeto GeoCerrado e pela confiança que depositou em mim e em meu trabalho.

Ao Dr. Éder de Souza Martins pelo aprendizado, e por despertar em mim o interesse pela vida acadêmica. A Marisa Prado pelos valiosos conselhos. A equipe do Centro de Pedologia da Embrapa Cerrados, especialmente ao Lucas, que me acompanhou durante todos os trabalhos de campo.

Ao programa de Pós-Graduação, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e ao Projeto GeoCerrado, pelo suporte durante a realização desse trabalho.

Aos meus pais e minha família, pelo incentivo, conforto, apoio e compreensão nos momentos de ausência.

A querida amiga Kássia Castro, companhia constante nessa caminhada, muito obrigada pelos momentos de amizade e incentivo. A todos meus amigos, colegas de curso e de laboratório, pelo auxílio prestado, e por tornarem meu caminho mais alegre.

E a Deus, por permitir mais esse grande passo em minha vida.

APLICAÇÃO DOS MÉTODOS SEMI-AUTOMÁTICO E LÓGICA FUZZY PARA O MAPEAMENTO DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI

Larissa Ane de Sousa Lima

RESUMO

O mapeamento convencional de solo vem sendo criticado ao longo do tempo por seu caráter qualitativo. Além disso, a lentidão e os altos custos no processo de produção dos mapas dificultam a obtenção das informações pedológicas. Em resposta a estas críticas, nos últimos anos, abordagens quantitativas vêm sendo desenvolvidas objetivando melhorar a precisão e qualidade do mapeamento do solo. O objetivo desse trabalho foi testar técnicas alternativas ao mapeamento tradicional de solos, para mapeamento pedológico detalhado da Bacia do Sarandi. A bacia do Sarandi foi selecionada para esse estudo, por se tratar de uma área piloto experimental do projeto Geocerrado. Essa bacia, com cerca de 30 km², está situada na Ecorregião do Planalto Central, localiza-se ao norte do Distrito Federal, em Planaltina, e abrange parte da área experimental da Embrapa Cerrados. Foram aplicadas duas técnicas: mapeamento semi-automático e Lógica *Fuzzy*. O mapeamento semi-automático foi realizado de acordo com os seguintes procedimentos: levantamento dos dados pedológicos; delimitação das áreas hidromórficas por interpretação de fotografias aéreas; compartimentação de relevo por meio da composição colorida das variáveis morfométricas SRTM – TOPODATA altimetria (R), declividade (G) e curvatura horizontal (B); elaboração de mapa e legenda de solos preliminares com subsídio da compartimentação de relevo e pontos validados em campo; elaboração e ajustes do mapa e legenda final por meio da interpretação de fotografias aéreas de alta resolução, interpretação dos dados laboratoriais de física e química e validação em campo. Foram mapeadas 23 unidades pedológicas, distribuídas em sete classes de solos: Latossolo Vermelho (42,07%), Latossolo Vermelho-Amarelo (22,46%), Latossolo Amarelo (15,09%), Cambissolo Háplico (9,83%), Neossolo Quartzarênico (0,07%), Gleissolo Melânico (0,52%) e Gleissolo Háplico (9,92%). O mapeamento por meio de Lógica *Fuzzy* foi realizado de acordo com os seguintes procedimentos: levantamento dos dados pedológicos; construção das funções de pertinência; geração dos mapas de pertinência das variáveis morfométricas em relação às classes de solo; integração dos mapas de pertinência por meio dos operadores *fuzzy* para obtenção dos mapas de possibilidade *fuzzy* de ocorrência de classe

de solo; integração dos mapas de possibilidades de classe de solo para gerar o mapa digital de solos. Foram mapeadas 5 classes de solo: Latossolo Vermelho (43,76%), Latossolo Vermelho Amarelo (21,25%), Latossolo Amarelo (18,85%), Cambissolo Háplico (8,29%) e Gleissolo Háplico (5,75%). O mapa apresentou índices de acurácia geral de 63,64% e Kappa de 55,41%. O método semi-automático possibilitou a confecção do mapa de solos e legenda detalhada da bacia do Sarandi, DF, em escala 1:30.000, com o auxílio da interpretação de fotografais aéreas de alta resolução para identificação das áreas hidromórficas e unidades de mapeamento menores. A metodologia baseada em Lógica *Fuzzy* possibilitou a confecção do mapa de solos, identificando as classes de solo compatíveis com o mapeamento semi-automático em escala de 1:30.000 e eliminou a parte subjetiva do especialista no processo de delimitação das unidades do mapa de solos.

Palavras-chave: Pedometria, Métodos Quantitativos, Gestão de Bacias Hidrográficas, Bioma Cerrado, Projeto GeoCerrado.

EMPLOYING THE SEMIAUTOMATIC AND FUZZY LOGIC METHODS TO SOIL MAPPING OF THE SARANDI BASIN

Larissa Ane de Sousa Lima

ABSTRACT

The conventional soil mapping has been recipient of critics along time for its qualitative feature. Furthermore, the backwardness and high costs in the process of map productions harden the collection of pedological information. As a response to such critics, in recent years, quantitative approaches have been developed aiming to improve the precision and quality in soil mapping. The purpose of this work was to test alternate techniques for traditional soil mapping, for a detailed pedological mapping of the Sarandi basin. The Sarandi basin was chosen for this study due to the fact it is an experimental pilot area of the Geocerrado Project. The afore mentioned basin, which covers an area of circa 30 km², is situated in the Ecoregion of the Planalto Central, which by its turn, is located Northern Distrito Federal, in Planaltina, and covers part of the experimental area of Embrapa Cerrados. Two techniques were applied: semiautomatic mapping and fuzzy logic. The semiautomatic mapping was done in accordance with the following procedures: pedological data collection; delimitation of hydromorphic areas by interpreting air photos; subdivision of geographic relief considering the colorful composition of morphometric variables SRTM - TOPODATA: altimetry (R), slope (G), horizontal curvature (B); elaboration of map and description of preliminary soils with subsidies of geographic relief subdivision and validated spots in field; elaboration and adjustments of the final map and descriptions by interpreting high resolution air photos, physical and chemical laboratory data and by validation in field. Twenty-three pedological units were mapped, distributed in seven soil classes: Latossolo Vermelho (42.07%), Latossolo Vermelho Amarelo (22.46%), Latossolo Amarelo (15.09%), Cambissolo Háplico (9.83%), Neossolo Quartzarênico (0.07%), Gleissolo Melânico (0.52%), and Gleissolo Háplico (9.92%). The mapping via fuzzy logic was done in accordance with the following procedures: pedological data collection; establishment of concerning functions; bringing concerning morphometrical variables maps related to the soil classes; integration of the concerning maps via fuzzy operators to achieve the soil class occurrence fuzzy possibility maps; integration of the soil class possibility maps to obtain the digital map of soils. Five classes of soils were

mapped: Latossolo Vermelho (43.76%), Latosolo Vermelho Amarelo (21.25%), Latosolo Amarelo (18.85%), Cambissolo Háplico (8.29%) and Gleissolo Háplico (5.75%). The map presented rates of general accuracy of 63.64% and Kappa of 55.41%. The semiautomatic method enabled the development of the map of soils and detailed description of the Sarandi basin, DF, in a scale of 1:30000, by interpreting high resolution air photos to identify the hydromorphic areas and smaller mapping units. The method based on fuzzy logic enabled the development of the map of soils, identifying the soil classes compatible with the semiautomatic mapping in scale of 1:30000 and ruled out the specialist's subjectivity in the soil map units' delimitation process.

Key words: Pedometrics, Quantitative Methods, Hydrographic Basins Management, Cerrado Biome, GeoCerrado Project.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1. Apresentação	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo Geral.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Estrutura da dissertação	3
Referências.....	5
2. MAPEAMENTO DE SOLOS: DO TRADICIONAL AO DIGITAL	7
2.1. Introdução	9
2.2. Mapeamento de solos	10
2.3. Abordagem Tradicional de Solos	11
2.4. Pedometria	13
2.5. Mapeamento Digital do Solo (MDS).....	17
2.6. Principais métodos utilizados em mapeamentos digitais de solos	19
2.6.1. Geoestatística	20
2.6.2. Regressão Linear Múltipla.....	21
2.6.3. Regressão Logística Múltipla (RLM).....	22
2.6.4. Pesos de Evidência	23
2.6.5. Árvore de Decisão/Classificação.....	23
2.6.6. Redes Neurais (RNA)	24
2.6.7. Lógica <i>Fuzzy</i>	26
2.7. Avaliação da Qualidade dos Mapas Digitais.....	29
2.8. Mapeamento digital de solos no Brasil.....	30
2.9. Considerações Finais e Tendências Futuras para o Mapeamento Digital do Solo.....	31
Referências.....	34

3. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA DO SARANDI.....	41
3.1. Introdução	43
3.2. Materiais e Métodos	43
3.2.1. Descrição da Área de Estudo	43
3.2.1.1. Evolução da Paisagem	44
3.2.1.2. Geologia, Geomorfologia e Solo	45
3.2.1.3. Uso e Ocupação	47
3.2.2. Metodologia	48
3.2.2.1. Levantamento de dados bibliográficos e planejamento do trabalho de campo	48
3.2.2.2. Coleta e preparo das amostras	48
3.2.2.3. Análises químicas e físicas.....	49
3.2.2.4. Classificação.....	49
3.3. Resultados e Discussões	49
3.3.1. Levantamento de dados	49
3.3.2. Descrição dos solos	51
3.3.2.1. Latossolos.....	51
3.3.2.1.1. Latossolo Vermelho (LV).....	52
3.3.2.1.2. Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)	53
3.3.2.1.3. Latossolo Amarelo (LA)	54
3.3.2.2. Cambissolos.....	55
3.3.2.2.1. Cambissolo Háplico (CX)	55
3.3.2.3. Plintossolos.....	56
3.3.2.3.1. Plintossolo Pétrico (FF).....	57
3.3.2.3.2. Plintossolo Háplico (FX).....	58
3.3.2.4. Neossolos	59
3.3.2.4.1. Neossolo Quartzarênico (RQ).....	59
3.3.2.5. Gleissolos	60

3.3.2.5.1. Gleissolo Melânico (GM).....	60
3.3.2.5.2. Gleissolo Háptico (GX).....	61
3.4. Considerações Finais	62
Referências.....	64
Anexo I	66
Anexo II	70
4. MAPEAMENTO PEDOLÓGICO DA BACIA DO SARANDI – DF, EM ESCALA 1:30.000, POR MEIO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS: UMA ABORDAGEM SEMI-AUTOMÁTICA	80
4.1. Introdução	82
4.2. Materiais e Métodos	83
4.2.1. Área de Estudo	84
4.2.2. Metodologia	85
4.2.2.1. Construção da base de dados pedológicos	86
4.2.2.2. Compartimentação de relevo por meio de análise de parâmetros morfométricos	86
4.2.2.3. Construção do mapa e legenda de solos.....	90
4.3. Resultados	91
4.4. Conclusões	95
Referências.....	96
5. MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI POR MEIO DE LÓGICA FUZZY	100
5.1. Introdução	102
5.2. Materiais e Métodos	103
5.2.1. Área de Estudo	103
5.2.2. Metodologia	104
5.2.2.1. Construção da base de dados pedológicos	105
5.2.2.2. Aquisição das variáveis morfométricas	106

5.2.2.3. Lógica <i>Fuzzy</i>	107
5.2.2.4. Validação.....	110
5.3. Resultados	110
5.3.1. Funções e mapas de pertinência	110
5.3.2. Mapa digital de solos e validação.....	112
5.4. Conclusões	117
Referências.....	119
6. CONCLUSÕES FINAIS.....	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das etapas de mapeamento convencional de solos. Fonte: Adaptado de IBGE (2007).	12
Figura 2: A interdisciplinariedade da Pedometria (Adaptado de Hengl, 2003).	15
Figura 3: Mapeamento digital de solos (MDS) a partir da função SCORPAN.	18
Figura 4: Fluxograma das etapas de mapeamento digital de solos. Fonte: Adaptado de McBratney <i>et al.</i> (2003).	18
Figura 5: Diagrama de Venn ilustrando a diferença de limites entre um conjunto Fuzzy (A) e um conjunto booleano (B). Fonte: Burrough, 1998.	27
Figura 6- Localização da bacia experimental do Sarandi.	44
Figura 7 - Litologias da bacia do Sarandi. Fonte Adaptado de Campos & Freitas Silva (1989). .	46
Figura 8 - Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Sarandi. Fonte: Adaptado de Messias <i>et al.</i> (2013).	47
Figura 9 - Esquema representativo do uso do solo na bacia do Sarandi.	48
Figura 10 - Distribuição espacial dos dados de solos na bacia do Sarandi.	51
Figura 11 - Perfil de Latossolo Vermelho exposto em barranco e áreas de ocorrência de Latossolo Vermelho na bacia do Sarandi com vegetação Cerrado Sentido Restrito, sob cultura de soja e cultura de milho, respectivamente.	53
Figura 12 - Áreas de ocorrência de Latossolo Vermelho Amarelo com vegetação campo limpo e cerrado sentido restrito.	54
Figura 13 - Áreas de ocorrência de Latossolo Amarelo.	55
Figura 14- Detalhes na paisagem da bacia do Sarandi de Cambissolo Háplico.	56
Figura 15 - Perfil de Plintossolo Pétrico exposto em barranco e áreas de ocorrência de Plintossolo Pétrico na bacia do Sarandi.	58
Figura 16 - Área de ocorrência de Plintossolo Háplico na bacia do Sarandi e detalhe de plintita no horizonte diagnóstico.	59
Figura 17 - Área de ocorrência de Neossolo Quartzarênico na bacia do Sarandi.	60
Figura 18 - Áreas de ocorrência de Gleissolo Melânico na bacia do Sarandi e amostra do horizonte diagnóstico Cg com mosqueados amarelados.	61
Figura 19 - Áreas de ocorrência de Gleissolo Háplico na bacia do Sarandi.	62
Figura 20 - Perfil de uma topossequência do padrão de organização dos solos na bacia do Sarandi.	62
Figura 21 - Localização da bacia experimental do Sarandi – DF.	84

Figura 22 - Procedimentos realizados para a confecção do mapa de solos e legenda detalhada da bacia do Sarandi.	85
Figura 23 - Procedimentos empregados na compartimentação geomorfológica da bacia do Sarandi.....	87
Figura 24 - Composição colorida da bacia do Sarandi com os atributos morfométricos: altimetria (R), declividade (G), e curvatura horizontal (B).....	89
Figura 25 - Compartimentação de relevo da bacia do Sarandi.....	90
Figura 26 - Mapa de solos da bacia do Sarandi com legenda simplificada em escala 1:30.000...92	
Figura 27 - Mapa de Solos da Bacia do Sarandi com legenda detalhada em escala 1:30.000.....	93
Figura 28 - Localização da bacia experimental do Sarandi – DF.....	103
Figura 29 - Procedimentos empregados para o mapeamento de solos na bacia do Sarandi utilizando Lógica <i>Fuzzy</i>	105
Figura 30 - Aplicação de Lógica <i>Fuzzy</i> para o mapeamento digital de solos na bacia do Sarandi.....	108
Figura 31 - Mapas de possibilidades <i>fuzzy</i> para classes de solos e mapas de pertinência solo/variável morfométrica	112
Figura 32 - Mapa digital de solos da bacia do Sarandi.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conjuntos de dados de solos obtidos na Bacia do Sarandi	49
Tabela 2 - Perfis, perfis complementares e pontos de observação caracterizados na bacia do Sarandi.....	66
Tabela 3 - Caracterização física e química dos Latossolos Vermelhos na bacia do Sarandi.	70
Tabela 4 - Caracterização física e química dos Latossolos Vermelho Amarelos na Bacia do Sarandi.....	70
Tabela 5 - Caracterização física e química dos Latossolos Amarelos na bacia do Sarandi.	71
Tabela 6 - Caracterização física e química dos Cambissolos Háplicos na bacia do Sarandi.	73
Tabela 7 - Caracterização física e química dos Plintossolos Pétricos na bacia do Sarandi.	74
Tabela 8 - Tabela 6. Caracterização física e química do perfil de Plintossolo Háplico na bacia do Sarandi.....	75
Tabela 9 - Caracterização física e química do perfil de Neossolo Quartzarênico na bacia do Sarandi.....	76
Tabela 10 - Caracterização física e química dos Gleissolos Melânicos na bacia do Sarandi.	77
Tabela 11 - Caracterização física e química dos Gleissolos Háplicos na bacia do Sarandi.....	78
Tabela 12 - Parâmetros empregados para a construção das funções de pertinência - valores das variáveis morfométricas por classe de solo.....	110
Tabela 13 - Matriz de confusão e índices de acurácia do mapeamento para baseados no Mapa Semi-automático.	113
Tabela 14 - Matriz de confusão e índices de acurácia do mapeamento para validação baseada nos Pontos de Observação.....	114
Tabela 15 - Comparação entre áreas mapeadas - Mapa Semi-automático e Mapa <i>Fuzzy</i>	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Operadores <i>Fuzzy</i>	28
Quadro 2 - Variáveis morfométricas utilizadas no estudo e suas respectivas definições.....	88
Quadro 3 - Legenda do mapa de solos da bacia do Sarandi.	93
Quadro 4 - Variáveis morfométricas	106
Quadro 5 - Mapas <i>fuzzy</i> de classes de solo	111
Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos métodos Semi-Automático e Lógica fuzzy.....	124

CAPÍTULO I

Introdução

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação

O mapeamento convencional de solo vem sendo criticado ao longo do tempo por seu caráter qualitativo (McBratney & Webster, 1981; Minasny *et al.*, 2008). Além disso, a lentidão e os altos custos no processo de produção dos mapas dificultam a obtenção das informações pedológicas. Em resposta a estas críticas, nos últimos 30 anos, abordagens quantitativas vêm sendo desenvolvidas objetivando melhorar a precisão e qualidade do mapeamento do solo e seus atributos (McBratney *et al.* 2000, McBratney *et al.*, 2003, Mendonça-Santos & Santos 2003).

O Brasil apresenta uma grande limitação na disponibilidade de informações cartográficas do solo, principalmente em relação a mapeamentos de semi-detalle e detalhe, que quando existentes, recobrem apenas uma parte muito pequena e privilegiada do território. No Bioma Cerrado estima-se que apenas 2,34% da área possuem mapas de solos na escala entre 1:250.000 e 1:100.000 e 0,95% na escala entre 1:100.000 e 1:20.000 (Reatto *et al.* 2008).

Neste contexto, as novas abordagens para mapeamento de solo, em seu conjunto denominadas Pedometria, baseadas em modelos numéricos ou estatísticos das relações entre variáveis ambientais e o solo aplicados a um banco de dados geográficos (McBratney *et al.* 2000, Mendonça-Santos & Santos 2003), apresentam uma grande expectativa para agilizar o mapeamento pedológico do Brasil.

A intensa utilização do solo recentemente estabelecida na região do Cerrado justifica a necessidade da produção e disponibilização de mapas e de informações de solos que suportem as ações de planejamento e tomadas de decisão. O mapeamento digital de solos pode ajudar a solucionar essa falta de dados, proveniente, principalmente, da lentidão e dos altos custos dos métodos tradicionais de mapeamento, (McBratney *et al.* 2003).

Este trabalho está inserido no contexto do projeto Geocerrado da Embrapa Cerrados, que busca desenvolver um modelo geoambiental capaz de caracterizar o potencial de prestação de serviços ambientais em áreas representativas do Bioma Cerrado através da integração de dados temáticos referentes a solos, recursos hídricos, tipos de uso e ocupação e cobertura vegetal. A bacia do Sarandi é a bacia experimental do Projeto GeoCerrado,

representando a área piloto na ecorregião Planalto Central, sendo portanto, selecionada como área de estudo para o desenvolvimento desse trabalho.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Aplicar técnicas alternativas ao mapeamento tradicional de solos, para mapeamento pedológico detalhado da Bacia do Sarandi.

1.2.2. Objetivos específicos

- Gerar o mapa de solos da bacia do Sarandi, empregando metodologia semi-automática a partir da proposta de Hermuche et al. (2002);
- Gerar o mapa digital de solos da bacia do Sarandi empregando Lógica *Fuzzy*;
- Comparar e validar dos métodos de mapeamento.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação de Mestrado segue o formato de artigos científicos, organizados em seis capítulos, dos quais o Capítulo 1 é a Introdução e os restantes trazem os artigos conforme descritos a seguir:

- Capítulo 2 - Artigo: **MAPEAMENTO DE SOLOS DO TRADICIONAL AO DIGITAL**, submetido à série Documentos da Embrapa Cerrados. Este artigo aborda uma revisão teórica acerca do histórico e conceitos da Pedometria e do Mapeamento Digital do Solo (MDS), bem como os principais métodos e as perspectivas do MDS para o Brasil.
- Capítulo 3 – Artigo: **CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA DO SARANDI, DF**, a ser submetido como Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, da Embrapa Cerrados, apresenta a descrição dos solos da bacia do Sarandi e o conjunto de dados pedológicos que subsidiaram os mapeamentos de solos semi-automático (Capítulo 4) e Lógica *Fuzzy* (Capítulo 5).
- Capítulo 4 - Artigo: **MAPEAMENTO PEDOLÓGICO DA BACIA DO SARANDI – DF, EM ESCALA 1:30.000, POR MEIO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS: UMA ABORDAGEM SEMI-AUTOMÁTICA**, a ser

submetido à AGRIAMB, apresenta o mapeamento semi-automático de solos da bacia do Sarandi, realizado por meio da compartimentação do relevo gerada a partir de interpretação visual de composição colorida de atributos morfométricos SRTM - TOPODATA, interpretação de fotografias aéreas de alta resolução e dados de solos de campo.

- Capítulo 5 - Artigo: **MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI POR MEIO DE LÓGICA FUZZY**, possíveis revistas para submissão: Journal of Soil Science and Environmental Management, Journal of Geographic Information System ou Computer & Geosciences. O artigo apresenta o mapeamento de solos realizado por meio de Lógica *Fuzzy*, e utilizando como subsídio dados pedológicos e variáveis morfométricas SRTM - TOPODATA.
- Capítulo 6 apresenta as considerações finais do trabalho.

Referências:

- HERMUCHE P. M., GUIMARÃES R.F., CARVALHO A.P.F., MARTINS E.S., FUKSS.D. & CARVALHO JUNIOR O. A., SANTOS N.B.F. & REATTO A. 2002. *Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas*. Embrapa Cerrados, Planaltina, Documento 68, 25p.
- McBRATNEY A. B., ODEH I.O.A., BISHOP T.F.A., DUNBAR M.S., SHATAR T.M. 2000. *An overview of pedometric techniques for use in soil survey*. Geoderma, 97: 293-327.
- McBRATNEY A.B., MENDONÇA SANTOS M.L. MINASNY B. 2003. *On digital soil mapping*. Geoderma, 117:3-52.
- McBRATNEY A. B., WEBSTER, R. 1981. *Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland*. Geoderma, 26: 63-82.
- MENDONÇA-SANTOS M. L., SANTOS H. G. 2003. *Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Rio de Janeiro, Documento 55, 19p.
- MINASNY B, McBRATNEY A.B., CARRÉ F. 2008. *Encyclopedia of Soil Science*. CRC Press, Flórida. 902 p.
- REATTO A, CORREIA J. R., SPERA S. T., MARTINS E. S. 2008. *Solos do Bioma Cerrado: Aspectos pedológicos*. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. F. (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, p. 107- 149.

CAPÍTULO 2

Artigo A

2. MAPEAMENTO DE SOLOS: DO TRADICIONAL AO DIGITAL

Resumo

O mapeamento tradicional do solo vem sendo criticado ao longo do tempo por seu caráter qualitativo, oneroso e demorado. Em resposta a essas críticas, estudos quantitativos têm sido desenvolvidos na área da ciência do solo denominada Pedometria. Trata-se da aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para a modelagem do solo e seus aspectos, possibilitando deste modo, a predição e espacialização de classes e atributos de solos na paisagem. Atualmente, na maioria dos trabalhos, o uso das técnicas pedométricas é empregado para a descrição da variabilidade espacial do solo por meio da confecção de Mapas Digitais de Solo (MDS). Foram apresentadas algumas técnicas empregadas em mapeamento digital de solos: Geoestatística, Regressão Linear Múltipla, Regressão Logística, Pesos de Evidência, Árvore de Decisão/Classificação, Redes Neurais e a Lógica *Fuzzy*. A aplicação de cada técnica depende das características da área de estudo, tipos de dados de entrada, finalidade e resolução do mapeamento e o uso final das informações geradas. No Brasil várias iniciativas vêm sendo tomadas para ampliar e disseminar a aplicação do MDS, e um número crescente de trabalhos tem sido realizados. Uma vez consolidada, a aplicação do MDS passará de experimental para prática, tornando uma ferramenta robusta capaz de suprir as demandas por dados pedológicos. Assim, o objetivo desse documento foi realizar uma revisão teórica sobre os principais métodos utilizados para o mapeamento de solos e contextualizá-lo com a realidade brasileira.

Palavras Chave: Pedometria, levantamento de solos, métodos quantitativos, pedologia, ciência do solo.

2. SOIL MAPPING: FROM TRADITIONAL TO DIGITAL

Abstract

The traditional way of soil mapping has been the recipient of critics along the time for its qualitative and onerous aspect. In response to such critics, quantitative studies have been conducted in the soil science area known as Pedometrics. It deals with the application of mathematical and statistical methods for the modeling of the soil and its aspects, enabling the prediction and specialization of soil classes and attributes in the landscape. Currently, in the majority of the works, the use of pedometric techniques is employed for the soil spatial variability description by means of the production of Soil Digital Maps (SDM). This paper presents some techniques employed in the soil digital mapping, like Geostatic, Multiple Linear Regression, Logistic Regression, Weights of Evidence, Decision/Classification Tree, Neural Nets and Fuzzy Logic. The choosing of the mapping technique to be employed depends on the characteristics of the study area, the types of entry data, the mapping resolution and purpose, and the final use of the results. In Brazil, many campaigns have been launched in order to widen and spread the use of SDM, and an increasing amount of works has been done. Once it becomes consolidated, the SDM application will no longer be experimental, but practical, coming to be a powerful tool, giving support to supply the demands for pedometric data. Therefore, the goal of this document was to conduct a theoretical review on the main methods used for soil mapping, and contextualize them with the Brazilian reality.

Key-words: Pedometrics, soil mapping, quantitative methods, soil science.

2.1. Introdução

Devido à crescente necessidade de um planejamento adequado e sustentável das atividades humanas, o entendimento dos ecossistemas e principalmente, da prestação de serviços ambientais por estes ambientes tornaram-se imperativos (Sanchez *et al.*, 2009). Exemplos práticos destas necessidades são: o zoneamento agrícola de risco climático (MAPA, 2013) que tem por finalidade planejar os riscos climáticos, direcionando o crédito e o seguro à produção na agricultura; e o Zoneamento Ecológico-Econômico, que busca o planejamento e o ordenamento territorial como uma proposta integradora para o uso do território.

Assim, para efetivar esses zoneamentos, há a necessidade de mapas de solos em escalas adequadas, mais precisos e com o maior número de informações possíveis (FAO-UNESCO, 1998; MEA, 2005; Palm *et al.*, 2007). Por outro lado, a disponibilização desses mapas de solos é escassa e quando disponível encontra-se em escala e/ou resolução que não atendem as necessidades para tomadas de decisão (Sanchez *et al.*, 2009).

Diversas são as limitações para a obtenção de informações de solos e seus atributos químicos, físicos e biológicos, como o custo elevado dos levantamentos, a grande extensão das áreas a serem mapeadas e por vezes a dificuldade de acesso a determinadas regiões (Lagacherie *et al.*, 2007; Minasny *et al.*, 2008; Sanchez *et al.*, 2009; Neumann, 2012).

Além disso, os métodos de levantamento de solos tradicionais são demorados e por vezes não apresentam adequadamente as informações demandadas pelos diferentes usuários. Ainda, em razão da utilização dos métodos empíricos na metodologia clássica do mapeamento, há problemas de precisão da informação, confiabilidade das interpretações qualitativas e dificuldade de extrapolação da informação obtida para outras áreas (McBratney e Webster, 1981; Burgess e Webster 1984; Odeh *et al.*, 1990; Zhu, 1997, Zhu *et al.*, 2000; Mendonça-Santos e Santos 2003; Neumann, 2012). Entretanto, os levantamentos tradicionais são ainda a principal fonte de informações sobre o solo no Brasil.

Por esses motivos o mapeamento convencional de solo vem sendo criticado ao longo do tempo (McBratney Webster, 1981; Minasny *et al.*, 2008; Sanchez *et al.*, 2009). Em resposta a estas críticas, nos últimos anos, abordagens quantitativas vêm sendo desenvolvidas objetivando melhorar a precisão e qualidade do mapeamento do solo e seus atributos (McBratney *et al.*, 2000, 2003; Mendonça-Santos e Santos, 2003; Lagacherie *et al.*, 2007).

Esses estudos quantitativos em solos têm sido desenvolvidos na área da ciência do solo denominada Pedometria. A pedometria é uma ciência baseada em modelos numéricos ou

estatísticos para inferir as variações espaciais e temporais de classes e propriedades do solo, a partir de observações, conhecimento e dados de covariáveis ambientais relacionados (McBratney *et al.*, 2000).

O uso de técnicas quantitativas para predição da distribuição espacial dos solos e de seus atributos na paisagem vem crescendo nestes últimos anos, devido ao avanço na capacidade de processamento dos computadores, ao surgimento de novos métodos matemáticos e estatísticos e à disponibilidade crescente de dados, como imagens de sensoriamento remoto e os atributos do terreno derivados de modelos digitais de elevação (McBratney *et al.*, 2000; Lagacherie *et al.*, 2007; Minasny *et al.*, 2008; Sanchez *et al.*, 2009).

A necessidade de acelerar o processo de mapeamento, melhorando a qualidade, eliminando a subjetividade e minimizando os custos, torna fundamental a busca por novos métodos. Nesse contexto, a Pedometria e o Mapeamento Digital de Solos (MDS) apresentam um grande potencial, podendo tornar-se ferramentas capazes de vir a suprir falta de informação pedológica. Neste sentido, o objetivo da Pedometria não é substituir o trabalho do pedólogo no levantamento de solos, mas oferecer ferramentas quantitativas para medir o significado das informações pedológicas e facilitar os levantamentos.

No caso do Brasil, país com dimensões continentais, o conhecimento sobre os solos ainda é muito baixo. As principais informações cartográficas disponíveis são o mapa de solos do Brasil em escala de 1:5.000.000 (EMBRAPA, 2011), as cartas pedológicas do Projeto Radam Brasil em escala de 1:1.000.000 abrangendo grande parte do território brasileiro e o levantamento de solos realizado pelo IBGE em escala 1:250.000, disponível para dez estados da federação. Entretanto, essas escalas não são compatíveis com as atuais demandas, e os mapeamentos em detalhe não representam cobertura significativa do território nacional e estão vinculados a regiões restritas.

Dada à escassez e a grande demanda por informações sobre os solos, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos modernos que permitam acelerar e melhorar o conhecimento pedológico do território nacional em escalas mais operacionais. Deste modo, o objetivo desse documento é realizar uma revisão teórica sobre principais métodos utilizados para o mapeamento de solos e contextualizá-lo com a realidade brasileira.

2.2. Mapeamento de solos

O levantamento pedológico é uma representação da distribuição geográfica dos solos determinada por um conjunto de relações e propriedades do ambiente. Identifica e separa unidades de mapeamento, além de prever e delinear suas áreas na paisagem. As informações contidas num levantamento pedológico são essenciais para a avaliação do potencial e das limitações de uma área, constituindo uma base de dados para estudos de viabilidade técnica e econômica de projetos e planejamento de uso, manejo e conservação de solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007).

O objetivo principal de um levantamento pedológico é subdividir áreas heterogêneas em "parcelas homogêneas", que apresentem a menor variabilidade possível, em função dos parâmetros de classificação e das características utilizadas para distinção dos solos em uma dada escala (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007).

Os levantamentos e mapeamentos de solos podem ser descritos por duas abordagens metodológicas: a primeira, clássica ou tradicional, intitulada de método CIORPT, estabelecida por Dokuchaev (1883) e equacionada por Jenny (1941) nos primórdios da Ciência do Solo, a qual considera o solo como resultado da interação entre cinco fatores: clima (C), organismos (O), relevo (R), material de origem (P) e tempo (T). A segunda abordagem é uma combinação de técnicas dos métodos CIORPT e técnicas quantitativas desenvolvidas a fim de melhorar as previsões das propriedades dos solos, comumente denominada Pedometria (McBratney *et al.*, 2000).

2.3. Abordagem Tradicional de Solos

Na abordagem tradicional, a taxonomia de solos é o modelo usado pelo profissional da ciência do solo, o pedólogo, para criar e distinguir as classes de solos e estabelecer seus limites. Trata-se de um modelo intuitivo e determinístico, baseado na existência de relações entre os tipos de solos e o ambiente onde eles ocorrem (Ranzani, 1969).

Os métodos tradicionais de levantamentos de solos apoiam-se, principalmente, em observações de campo, cujo número e intensidade por área mapeada variam conforme a escala e o nível de detalhe esperado, na fotointerpretação e na delimitação de polígonos de classes de solos (EMBRAPA, 1995; IBGE, 2007; Neumann, 2012). As características gerais do solo são espacialmente representadas por um conjunto de polígonos com limites precisamente definidos, e em geral delimitados pelos aspectos externos do terreno, como observado no campo e em fotografias aéreas (Fuks, 1998).

Em geral, inicialmente realiza-se uma revisão de todas as informações sobre a área de estudo, que denominamos de trabalhos de escritório. Em seguida os dados levantados são organizados e plotados na base cartográfica da área de estudo para iniciar os trabalhos de campo. No campo, são realizadas observações das feições da paisagem, relevo, topografia, tipo de vegetação, uso do solo, para identificar os tipos de solos que possam ocorrer naquela área (Ranzani, 1969; EMBRAPA, 1995).

Uma vez diagnosticado as possíveis unidades que serão mapeadas, se procede a coleta de amostras de solos. Essas amostras são etiquetadas, organizadas e encaminhadas para as análises laboratoriais, que são primordiais para a aferição das características químicas, físicas, mineralógicas e físico-hídricas de cada unidade de mapeamento. De posse dessas informações, conclui-se a interpretação final do mapeamento e elabora-se o mapa final com sua respectiva memória descritiva, o relatório técnico final. (Ranzani, 1969; EMBRAPA, 1995).

Com base em pressupostos e, principalmente, experiência, os pedólogos interpretam as características locais de topografia e vegetação como indícios de combinações dos fatores de formação dos solos. Dessa maneira, podem inferir os limites entre classes e propriedades dos solos (Burrough e McDonnell, 1998; Neumann, 2012).

IBGE (2007) apresentou uma proposta para o mapeamento convencional do solo, sintetizada na Figura 1.

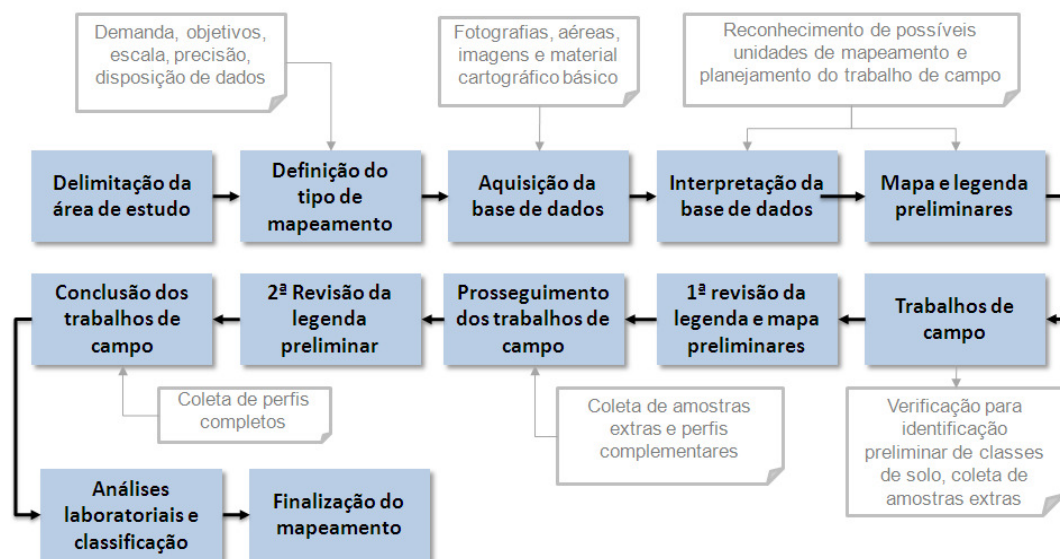


Figura 1: Fluxograma das etapas de mapeamento convencional de solos. Fonte: Adaptado de IBGE (2007).

Vários aspectos do mapeamento tradicional vêm sendo questionados. Burgess *et al.* (1981), McBratney e Webster (1981), Burgess e Webster (1984), Burrough (1989), Lark e Beckett (1998) e Fuks (1998) discutiram o caráter discreto dos mapas tradicionais em oposição ao modelo contínuo, mais realístico. McBratney e Webster (1981), Burgess e Webster (1984) e Odeh *et al.* (1990) debatem que o método tradicional não considera a dependência espacial entre as unidades de mapeamento, importante principalmente em levantamentos detalhados ou em áreas onde os limites entre os solos não são evidentes. Zhu (1997) e Zhu *et al.* (2001), questionam sobre a precisão e a eficácia de levantamentos tradicionais, limitadas, principalmente, pela técnica de cartografia baseada em polígonos e pelo processo manual de produção do mapa de solo.

A subjetividade em trabalhos de levantamento de solos também é reconhecida e discutida. Nos métodos tradicionais a delimitação das unidades de solos depende do conhecimento adquirido por meio da prática do cientista. Esse conhecimento é difícil de transmitir, e muitas vezes, não justifica uma tomada de decisão, uma vez que provém do saber empírico do pesquisador (Hudson, 1992).

Somado a essas características, o levantamento tradicional é uma atividade onerosa, que demanda tempo e muitos deslocamentos ao campo. Além disso, a crescente preocupação ambiental e o grande desenvolvimento da agricultura de precisão demandaram novos levantamentos de solos em escala compatível com estes objetivos. Assim, torna-se cada vez mais necessário introduzir na pesquisa cartográfica dos solos ferramentas que auxiliem na execução dos procedimentos básicos de delimitação das unidades de solos, possibilitando avanços metodológicos (McBratney *et al.*, 2003; Neumann, 2012).

2.4. Pedometria

A metodologia tradicional de mapeamento de solos vem sendo criticada por seu caráter qualitativo, oneroso e demorado. Diante de tais críticas, surge a demanda de novos métodos quantitativos para caracterizar e avaliar com precisão e exatidão as classes e os atributos dos solos, tornando os mapeamentos mais rápidos, reproduzíveis e comparáveis (McBratney e Gruijter, 1992).

Abordagens quantitativas têm sido desenvolvidas, especialmente nos últimos 30 anos, para descrever, classificar e estudar os padrões da distribuição e de variação do solo na paisagem de uma maneira mais objetiva (McBratney *et al.*, 2000). Essas novas abordagens do

estudo do solo são baseadas em modelos numéricos ou estatísticos das relações entre as variáveis ambientais e os atributos do solo, aplicados a um banco de dados geográficos, objetivando melhorar o conhecimento da variabilidade espacial, da precisão e da qualidade da informação, por meio de diversas técnicas quantitativas, em seu conjunto denominadas pedometria (Webster, 1984; Mendonça-Santos e Santos, 2003; Scull *et al.*, 2003).

Segundo McBratney *et al.* (2000), a palavra pedometria é um neologismo derivado da raiz grega *pedos* (solo) e *metron* (medição) e foi definida por Webster, em 1984. A Pedometria não é nova, os métodos estatísticos e matemáticos têm sido aplicados aos estudos do solo desde a década de 1960, sendo reconhecida oficialmente pela primeira vez como um ramo diferente da pedologia tradicional há pouco mais de duas décadas atrás (McBratney *et al.*, 2000).

Em outras palavras, a Pedometria consiste na aplicação de métodos matemáticos e estatísticos para a modelagem do solo e seus atributos, com a finalidade de analisar sua gênese e distribuição (McBratney *et al.*, 2000; Mendonça-Santos e Santos, 2003; Figueiredo, 2006; Lagacherie *et al.*, 2007; Caten, 2008; López, 2009; Coelho, 2010; Silveira, 2010). Essa ciência possibilita a predição e espacialização de classes e atributos de solos na paisagem estabelecendo relações matemáticas entre variáveis quantitativas (Figueiredo, 2006).

A pedometria parte do princípio de que a matemática e os métodos numéricos e estatísticos podem resolver a complexidade e a falta de conhecimento sobre propriedades e processos inerentes a um sistema de solo (McBratney, *et al.*, 2000). Logo, os métodos pedométricos podem ser aplicados à predição de variáveis contínuas, que possuem uma distribuição suave e/ou brusca ao longo do espaço, (ex.: pH, cálcio, potássio, magnésio, argila, entre outros) e/ou categóricas, que são agrupadas em classes formadas por conjuntos de atributos, como por exemplo classes texturais, classes de solo, estrutura, entre outros (López, 2009).

O domínio da pedometria pode ser definido por sua interdisciplinaridade, envolvendo a ciência do solo, a estatística-matemática aplicada e a ciência da geoinformação (Hengl, 2003; Caten, 2008, simplificadamente apresentado na Figura 2.



Figura 2: A interdisciplinariedade da Pedometria (Adaptado de Hengl, 2003).

A primeira tentativa de estabelecer uma abordagem quantitativa sobre solos veio da obra de Dokuchaev (1883), aperfeiçoada por Jenny, em 1941 (McBratney *et al.*, 2000). Jenny equacionou o solo em função dos fatores de formação estabelecidos por Dokuchaev (1883), como apresentado na equação 1. Este modelo ficou conhecido como CLORPT (McBratney *et al.*, 2003):

$$Solo = f(cl, o, r, p, t...) \quad \text{eq. 01}$$

onde, cl corresponde a variável clima, o - organismos, r - relevo, p material de origem, t - tempo e -fatores não determinados.

A partir dessa equação, muitos pedólogos passaram a propor funções demonstrando associações entre o solo e os fatores de formação. Rowell (1994) considerou que as atividades humanas interferem nas taxas de formação, erosão e propriedades do solo, no comportamento da água e na biodiversidade, e estabeleceu o manejo (m) como um novo fator de formação do solo (equação 02):

$$Solo = f(cl, o, r, m.o.)t_1 + (m)t_2 \quad \text{eq. 02}$$

onde: cl = clima; o = organismos; r = relevo; m.o. = material de origem; t_1 = representa o tempo de formação do solo antes da intervenção humana, e t_2 = o tempo desde que o solo começou a ser usado (Rowell, 1994; Veldkamp *et al.*, 2001; Turetta *et al.*, 2010).

Vários outros estudos foram desenvolvidos a fim de descrever de forma quantitativa relações entre os fatores componentes do modelo CLORPT, mas muitas vezes ele foi considerado apenas como uma lista qualitativa dos fatores que poderiam ser importantes para a compreensão da formação e organização dos solos na paisagem (McBratney *et al.*, 2003; Lopez, 2009).

Historicamente, os primeiros levantamentos quantitativos do solo foram realizados na década de 50, por demandas externas à área agronômica, executados por civis e militares. Somente a partir dos anos 60, com a evolução da informática e o avanço em teorias matemáticas ocorreu o desenvolvimento e a consolidação da Pedometria (Webster, 1994; Caten, 2008).

A Pedometria começou a popularizar-se e a desenvolver-se como ciência no início da década de 1990 (McBratney *et al.*, 2000). Em 1994 foi realizada a primeira conferência de pedometria, cujos trabalhos foram publicados no volume 62 da revista *Geoderma* do mesmo ano. Por estes anos surgiu um grupo de trabalho intitulado de *Pedometrics Society* vinculada a *International Union of Soil Science*. Após uma década de existência, esse grupo foi elevado à condição de Comissão da Sociedade Internacional, no XVII Congresso Mundial de Ciência do Solo (Figueiredo, 2006).

Inicialmente, os estudos em pedometria buscavam determinar de forma quantitativa as propriedades do solo, entretanto sem incluir o componente espacial. O objetivo dessas investigações iniciais era compreender a formação do solo, e não necessariamente prever seus fatores e sua espacialização (McBratney *et al.*, 2003). A própria abordagem-chave da Pedometria, o modelo CLORPT não considerou o componente espacial (McBratney *et al.*, 2003; Caten, 2008).

O desenvolvimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e a incorporação da geoestatística na metodologia da Pedometria no final dos anos 60 permitiram uma ênfase nas abordagens geográficas, e os atributos do solo passaram a ser considerados a partir de sua posição espacial. Reconheceu-se, então, que os padrões do solo poderiam ser mais bem explicados se as variáveis do solo fossem consideradas como variáveis regionalizadas (McBratney *et al.*, 2003).

A abordagem geográfica em Pedometria surgiu da necessidade de aplicação da predição espacial para confecção de mapas de solos, e sua evolução foi acompanhada pela utilização de SIG, dados digitais, sensoriamento remoto e técnicas avançadas em geoestatística. Esses fatores permitiram a incorporação da abordagem espacial ao CLORPT de Jenny, gerando o modelo SCORPAN, (McBratney *et al.*, 2003) que incorpora as variáveis solo e coordenada geográfica. No modelo SCORPAN, as classes de solo e seus atributos podem ser previstos a partir de sete fatores: (s): o próprio solo; (c): o clima; (o): organismos vivos; (r): atributos da paisagem (relevo); (p): material de origem (litologia); (a): o tempo; e (n): as coordenadas geográficas.

A combinação dos fatores forma as funções:

$$Sc = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad \text{eq. 03}$$

Onde Sc corresponde à previsão de classes de solo (discretas).

Ou:

$$Sa = f(s, c, o, r, p, a, n) \quad \text{eq. 04}$$

Onde Sa corresponde à previsão de atributos do solo (contínuos).

O fator s representa a previsão de uma classe ou atributo do solo por meio de informações pedológicas pré-existentes e funções de pedotransferência. O fator n considera a posição espacial do solo (McBratney, 2003). Segundo Caten (2008), o modelo SCORPAN pode ser visto como uma evolução do modelo CLORPT de Jenny, e compreende uma síntese das tecnologias utilizadas atualmente para a inferência espacial do solo.

Atualmente, na maioria dos trabalhos, o uso das técnicas pedométricas é empregado para a descrição da variabilidade espacial do solo, consolidada através da confecção de mapas digitais de solo (MDS), (López, 2009).

2.5. Mapeamento Digital do Solo (MDS)

O Mapeamento Digital do Solo pode ser definido como a criação e manipulação de sistemas de informação espacial do solo por meio de modelos numéricos usados para inferir variações espaciais e temporais das propriedades e tipos de solo, a partir da observação e conhecimento do próprio solo e das variáveis ambientais correlacionadas (Lagacherie, 2008).

O mapeamento digital baseia-se em estabelecer relações matemáticas entre variáveis ambientais e classes de solos, com o objetivo de prever a distribuição espacial das classes de solos e gerar mapas pedológicos com semelhança significativa aos mapas tradicionais (Coelho, 2010). Trata-se do mapeamento de classes e/ou atributos do solo baseado no uso de técnicas pedométricas e ferramentas computacionais, geralmente associados a métodos perceptivos de observação em campo e laboratório (López, 2009).

Sob a ótica da função SCORPAN proposta por McBratney *et al.* (2003), o mapeamento digital de solos pode ser interpretado como o estabelecimento de relações matemáticas entre o solo e variáveis ambientais (Figura 3).

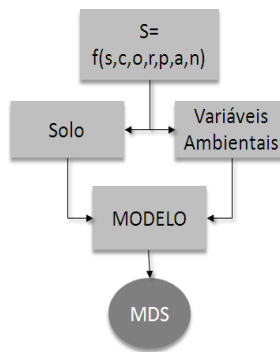


Figura 3: Mapeamento digital de solos (MDS) a partir da função SCORPAN.

McBratney *et. al* (2003) apresentou os procedimentos empregados para a elaboração de um mapa digital de solos, descritos na Figura 4.

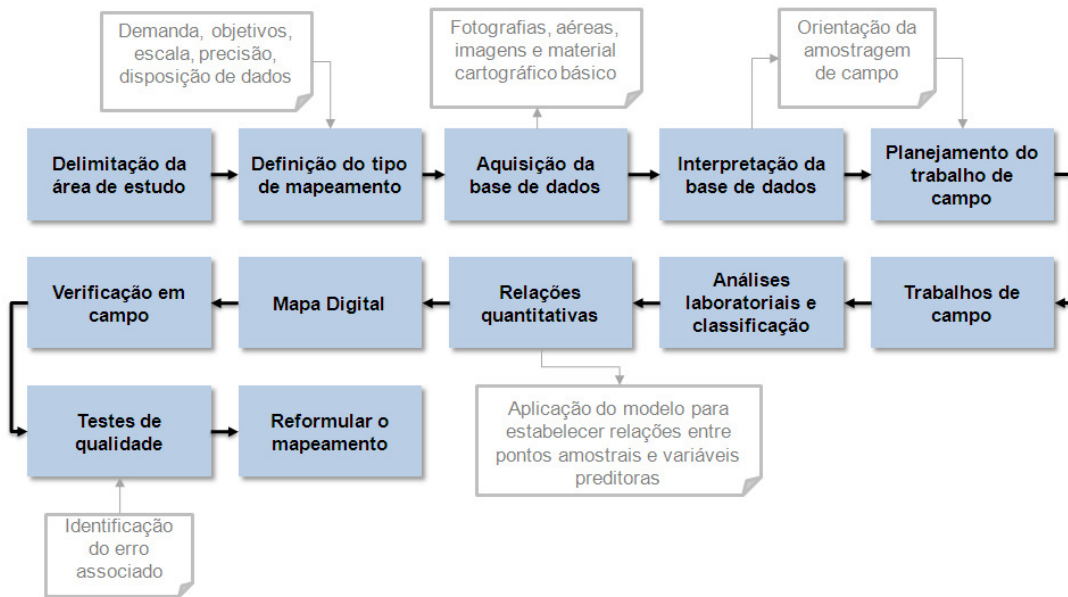


Figura 4: Fluxograma das etapas de mapeamento digital de solos. Fonte: Adaptado de McBratney *et al.* (2003).

Figueiredo (2006) exemplificou os procedimentos envolvidos no mapeamento de classes de solo por métodos pedométricos. A partir de Modelo Digital de Terreno (MDT) são extraídos os atributos selecionados para o modelo (no caso, o relevo, com dados topográficos). Posteriormente, são estabelecidas relações matemáticas entre os atributos e as informações de solo existentes sobre a área. Com base nessas relações é estimado o novo

mapa de solos com a possibilidade de extrapolação da informação para as áreas circunvizinhas.

Uma grande vantagem do mapeamento digital de solos é a possibilidade de utilizar a modelagem para extrapolar a informação obtida para áreas com características ambientais semelhantes que não possuem informações sobre solo.

A capacidade de predição do mapa, bem como sua qualidade, está relacionada à qualidade dos dados de entrada e à adequação do método matemático utilizado (Coelho, 2010).

A abordagem pedométrica para o mapeamento do solo é bastante diferente da abordagem tradicional. O levantamento de solos convencional é baseado na fotointerpretação e delimitação de polígonos de solos, enquanto as técnicas pedométricas são, principalmente, baseadas na predição do solo por meio de algum método quantitativo (Hengl, 2003; Neumann, 2012). Também se diferem em relação à escala, uma vez que nos mapas digitais não há escala, e sim resolução (Lagacherie *et al.*, 2007; Neumann, 2012).

O mapeamento digital de solos experimentou um rápido desenvolvimento de métodos novos e econômicos, devido principalmente à crescente disponibilidade de mapas auxiliares. Nesse sentido, pode-se ressaltar a participação de dois grupos principais, as imagens de sensoriamento remoto orbital e os atributos do terreno derivados de modelos digitais de elevação (Dobos *et al.*, 2000; Silveira, 2010).

À medida que novas informações e novas fontes de dados vão sendo disponibilizados e incorporados às bases de dados, os mapas digitais podem ser atualizados e modificados mais facilmente, tornando-se produtos dinâmicos. Dessa forma, sua acurácia pode ser melhorada com menor custo e de forma mais rápida (Carré *et al.*, 2007; López, 2009).

O mapeamento digital de solos pode ajudar a suprir a falta de dados de solos proveniente da lentidão e dos altos custos dos métodos tradicionais (McBratney *et al.*, 2003). No Brasil, o potencial dos MDS ainda não está sendo completamente explorado. São poucos os trabalhos desenvolvidos, apresentando abrangência limitada, e muitas vezes realizados por empresas particulares (López, 2009).

2.6. Principais métodos utilizados em mapeamentos digitais de solos

McBratney *et al.* (2003) apresentam uma diversidade de formas de se confeccionar um mapa digital de solos. Os autores classificam os modelos de predição de solos como

Funções Espaciais de Predição do Solo (Soil Spatial Prediction Function – SSPF) quando seguem a função SCORPAN, denominado esses modelos de “scorpan-SSPF”.

McBratney *et al.* (2003) estabeleceram os procedimentos a serem executados em um modelo scorpan-SSPF. Inicialmente, definem-se os atributos de interesse do solo e a resolução do mapeamento, e reúnem-se os dados que serão necessários ao modelo. Então se estabelece as relações quantitativas, gerando-se os mapas digitais. Uma amostragem de campo ou laboratorial deve ser realizada para confirmação e testes de qualidade. Se necessário, o modelo deve ser ajustado de acordo com a taxa de erros.

Para estabelecer as relações quantitativas entre os atributos do modelo, diversos métodos têm sido desenvolvidos considerando dados digitais e modelos de estatística clássica, geoestatística ou a combinação das duas, evidenciando a relação da paisagem e das classes pedológicas (McBratney *et al.*, 2000)

A escolha e aplicação da técnica dependem da finalidade, resolução e configuração da pesquisa e o uso final das informações geradas. Esses aspectos também determinarão a precisão do modelo. Portanto, uma técnica ou método não pode ser aplicado a qualquer situação sem a prévia consideração das necessidades específicas do levantamento e da adequação dos pressupostos inerentes à própria metodologia (McBratney *et al.*, 2000).

Algumas técnicas comuns em mapeamento digital de solos serão apresentadas como Geoestatística, Regressão Linear Múltipla, Regressão Logística, Pesos de Evidência, Árvore de Decisão/Classificação, Redes Neurais e Lógica Fuzzy.

2.6.1. Geoestatística

A Geoestatística possui suas bases na teoria de variáveis regionalizadas, que considera a variabilidade espacial de uma determinada variável do solo como uma função aleatória, sendo representada por um modelo estocástico. Segundo Mendonça-Santos & Santos (2003), desde o início dos anos 80 o método geoestatístico denominado Krigagem (*kriging*) é aplicado para interpolação espacial dos solos.

A Krigagem é um procedimento de inferência espacial que apresenta uma etapa de análise variográfica, anterior aos procedimentos inferenciais, em que se modela a estrutura da covariância espacial. O variograma experimental é estimado das amostras obtidas e utilizado somente para o ajuste dos modelos teóricos que sejam funções admissíveis. Os modelos escolhidos devem se aproximar da configuração do variograma experimental (Fuks, 1998).

As principais limitações da técnica geoestatística univariada da krigagem estão relacionadas à: a) hipótese de estacionaridade requerida e que frequentemente não é encontrada em conjuntos de dados de campo; b) à grande quantidade de dados necessários para definir a autocorrelação espacial, e c) às situações de complexidade do terreno e dos processos de formação do solo (McBratney *et al.*, 2000).

Burgess e Webster (1980) aplicaram *krigagem* para a interpolação espacial dos solos. Odeh e McBratney (2000) compararam métodos de regressão krigagem e regressão linear para estimar teores de argila no solo. Bishop e McBratney (2001) utilizaram MDE, fotos aéreas, imagens *Landsat TM*, dados de monitoramento de colheita, condutividade elétrica e amostras de solo para estimar a capacidade de troca de cátions – CTC, por meio de regressão linear múltipla, modelos aditivos, árvores de regressão, krigagem dos resíduos desses modelos, krigagem ordinária e krigagem com deriva externa.

2.6.2. Regressão Linear Múltipla

As regressões lineares são comumente aplicadas no meio científico para estudar a relação entre as variáveis do solo e fazer predições. Essas regressões assumem a existência de uma relação linear entre as variáveis dependentes e independentes (Bailey *et al.*, 2003; Neumann, 2012).

Em geral, a equação de regressão linear múltipla é calculada por meio do método de mínimos quadrados e o grau de associação entre a variável dependente e as variáveis independentes é expresso pelo coeficiente de determinação (R^2), cuja significância estatística é avaliada com base no teste F ou teste t (Bailey *et al.*, 2003).

O sucesso ao se ajustar uma função para descrever o solo depende do número de variáveis de predição observadas, da densidade de amostras para estabelecer a relação, da disponibilidade e flexibilidade de funções para ajuste de relações não lineares e da relação entre solo e meio ambiente (McBratney *et al.*, 2003).

As regressões lineares foram amplamente utilizadas em pedometria para estimar propriedades, realizar classificações para as estimativas de classes de solo e em representações espaciais de solo (Moore *et al.*, 1993; Skidmore *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 1998; Odeh e McBratney, 2000; Arrouays *et al.*, 2001; Bishop e McBratney, 2001; Thompson *et al.*, 2001; Florinsky *et al.*, 2002; Hengl *et al.*, 2002; Neumann *et al.*, 2011).

Arrouays *et al.* (2001) estimaram o conteúdo de C orgânico no solo a partir da matéria orgânica, textura, variáveis climáticas, variáveis de terreno e ocupação do solo no sul

da França. Skidmore *et al.* (1997) utilizaram imagens *Landsat* e amostras de solo para estimativa de teor de P e valor de pH por meio de regressão linear em uma área silvícola na Austrália. Neumann *et al.*, (2011) utilizaram a técnica de regressão linear para o mapeamento digital de solos na bacia do ribeirão do Gama, Distrito Federal.

2.6.3. Regressão Logística Múltipla (RLM)

As regressões logísticas estabelecem relações matemáticas entre variáveis dependentes discretas e variáveis independentes contínuas ou discretas. Essas relações podem ocorrer entre uma, duas ou mais variáveis preditoras contínuas ou discretas com uma variável resposta descontínua apresentando várias classes (regressão logística binária) (Campling *et al.*, 2002; Neumann, 2012).

As regressões logísticas são semelhantes às regressões lineares comuns, diferenciando-se quanto ao tipo de variável resposta e também pelo comportamento sigmóide da sua curva de resposta. As regressões logísticas apresentam duas funções principais: a descritiva que retrata a relação entre a resposta e as variáveis regressoras; e a preditiva que é capaz de identificar a reincidência da resposta de acordo com a repetição das variáveis preditoras (Hosmer e Lemeshow, 1989; Neumann, 2012).

As regressões logísticas múltiplas podem ser aplicadas em casos quando o resultado da inferência pode ocorrer sob muitas categorias, e a melhor alternativa é trabalhar com a probabilidade de ocorrência de cada uma das categorias. Esse modelo permite avaliar a probabilidade de ocorrência da variável resposta, a partir dos valores de variáveis independentes, sejam elas qualitativas ou quantitativas, categóricas ou contínuas (Caten, 2008; Coelho, 2010).

As regressões logísticas múltiplas vêm sendo amplamente empregadas para predição de classes de solos (Bailey *et al.*, 2003; Figueiredo, 2006; Debella-Gilo *et al.*, 2007; Caten, 2008; Caten *et al.*, 2009a; Coelho, 2010; Caten *et al.* 2009b).

Bailey *et al.* (2003) empregaram RLM para estimativa de classes de solos na Inglaterra. Figueiredo (2006) utilizou regressão logística e variáveis topográficas para prever a ocorrência e distribuição de classes de solo em bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Caten *et al.* (2009b) empregaram análise de componentes principais, RLM e nove variáveis ambientais derivadas de um Modelo Digital de Terreno (MDT) para gerar um mapa de classes de solos do município São Pedro do Sul, RS.

2.6.4. Pesos de Evidência

A análise de pesos de evidência baseia-se em processos de correlação, integração entre mapas, formulação matemática de probabilidades e combinação de evidências (Bonham-Carter, 1994; Boleneus *et al.*, 2001). É um método similar à regressão múltipla, que estima a variável resposta a partir das variáveis preditivas (Neumann, 2012).

Os pesos demonstram a medida de associação entre os pontos de treinamento e os mapas de evidências, onde é calculado um peso para cada classe das evidências. Pesos com valores positivos indicam que há mais pontos sobre a classe do que ocorreria devido à chance; pesos de valores negativos indicam a ocorrência de poucos pontos sobre a classe e; pesos de valor zero (ou muito próximo a zero) indicam uma distribuição aleatória dos pontos em relação à classe (Neumann, 2012). A diferença entre os pesos é denominada Contraste (C), onde $C = (W+) - (W-)$. O contraste é a medida da associação espacial entre os pontos de treinamento e o tema evidência (Boleneus *et al.*, 2001).

Diversos autores têm utilizado pesos de evidência integrados aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para estudos em ciências naturais (Moreira Silva, 1999; Asadi e Hale, 2001; Boleneus *et al.*, 2001; Hansen, 2001; Moreira *et al.*, 2003).

Moreira Silva (1999) utilizou na integração de dados geológicos e geofísicos para seleção de alvos para exploração mineral de ouro no Rio das Velhas, no quadrilátero ferrífero do Brasil. Hansen (2001) utilizou o método para estimar a distribuição espacial de sítios arqueológicos em uma porção do Vale Central da Califórnia.

Em mapeamentos digitais de solo apesar de pouco aplicada, essa técnica possui um grande potencial para a seleção das variáveis que possuem maior influência sobre o solo, as quais devem ser incluídas no modelo.

2.6.5. Árvore de Decisão/Classificação

As árvores de decisão possibilitam uma representação simples do conhecimento, devido sua capacidade de construir classificadores para prever classes baseadas em valores de atributos de um conjunto de dados (Ingargiola, 1996; Neumann, 2012).

O método de árvore de decisão permite efetuar a classificação considerando uma regra hierárquica e binária de partição dos valores digitais de suas bandas. Segundo Ingargiola (1996), citado por Neumann (2012), as árvores são constituídas das seguintes unidades: nodos que representam os atributos; arcos intermediários provenientes dos nodos e que recebem os

valores possíveis para os atributos; folhas, que representam as diferentes classes de um conjunto de treinamento.

A classificação é executada respondendo uma série de questões sobre os atributos observados. A árvore de decisão divide cada arco intermediário em dois arcos descendentes: o arco esquerdo, quando os dados satisfazem o teste lógico, e o arco direito, quando não satisfazem. A árvore é finalizada quando os nós terminais possuírem apenas uma classe (McBratney, 2003; Caten, 2008). As árvores de decisão/classificação podem ser pensadas como um tipo de chave taxonômica múltipla automatizada (Mendonça-Santos e Santos, 2003). Essa técnica pode estabelecer as “regras” do modelo mental utilizado pelo pedólogo para espacializar as classes de solo na paisagem (Caten, 2008).

Bui *et al.* (1999), McBratney *et al.* (2000), Farias (2008), Crivelenti *et al.*, (2009) e Coelho (2010) empregaram árvores de decisão no mapeamento digital de solos.

Bui *et al.* (1999) empregaram árvores de decisão para mapeamento digital de solos na região de Toowoomba, Austrália, a partir de um MDE e atributos de terreno derivados. Crivelenti *et al.* (2009) desenvolveram metodologia para mapeamento digital de solos da folha Dois Córregos utilizando árvores de decisão, com apoio de parâmetros geomorfométricos, geologia e de base de dados oriundos de levantamentos de solos existentes. Coelho (2010) testou e comparou métodos de classificação em estágio único (regressões logísticas múltiplas e Bayes) e em estágios múltiplos (árvores de decisão CART) com utilização de SIG para produção de mapas pedológicos com legenda original e simplificada.

2.6.6. Redes Neurais (RNA)

As redes neurais (RNA) tentam construir um modelo matemático que supostamente funciona de forma análoga ao cérebro humano. São compostas por um sistema de muitos elementos ou "neurônios" interligados por canais de comunicação ou "conectores", que normalmente transportam dados numéricos, codificados por uma variedade de meios e organizados em camadas. Os dados podem receber pesos diferentes e não existe uma estrutura assumida para o modelo. Em vez disso, as redes são ajustadas ou “treinadas” de modo que uma determinada entrada leva a um destino específico de saída (Hengl, 2003; McBratney *et al.*, 2003).

O modelo matemático de uma rede neural é composto por um conjunto simples de funções ligadas entre si por pesos. A rede consiste em um conjunto de unidades de entrada e

de saída, e unidades ocultas, que ligam as entradas e saídas. As unidades ocultas extraem informações úteis a partir de entradas e usam essas informações para prever as saídas (McBratney *et al.*, 2003).

Entre as principais características das redes neurais artificiais pode-se citar: a capacidade de aprender e ser treinada, por meio de exemplos, generalizando o aprendizado e aplicando-o em situações antes não confrontadas ou não apresentadas previamente; o bom desempenho em tarefas mal definidas, nas quais falta o conhecimento explícito sobre como encontrar uma solução e; não requerer conhecimento a respeito de eventuais modelos matemáticos (Bittencourt 1998, McBratney *et al.* 2003, Mendonça-Santos e Santos 2003, Silveira 2010, Neumann 2012).

As vantagens das redes neurais são a possibilidade de manipulação eficiente de grandes quantidades de dados e sua capacidade de generalização. As principais razões para seu uso são de que as redes neurais não assumem nenhum tipo de distribuição dos dados a priori, diferentemente da abordagem estatística paramétrica tradicional, e a habilidade para manipular dados adquiridos de diferentes fontes e com diferentes níveis de precisão e ruídos (Keye *et al.*, 1989).

A utilização de redes neurais para predição de classes de solos não é muito freqüente na literatura mundial, mas apresentam grande potencial de aplicação para reconhecimento e generalização de padrões. Rojas (2004) relata que as redes neurais desempenham esta tarefa melhor que as técnicas estatísticas, já que esse método não requer parâmetros para a distribuição dos dados. As RNA's se organizam de forma semelhante aos neurônios do cérebro humano, formando uma estrutura de processamento simples dos elementos, constituída por entradas e saídas (Atkinson e Tatnall, 1997).

Carvalho Jr. (2005) utilizou redes neurais para estudar as inter-relações entre solos e paisagens rurais no Domínio dos Mares de Morros na região Noroeste do estado do Rio de Janeiro, buscando reconhecer o arranjo dos componentes geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e climáticos.

Chagas (2006) aplicou redes neurais para a predição de classes de solo em uma região montanhosa do Domínio do Mar de Morros e Alinhamentos Serranos no Noroeste do estado do Rio de Janeiro, utilizando atributos de terreno e dados de sensores remotos.

Sirtoli *et al.*, (2008), utilizaram uma rede multicamadas alimentada com algoritmo de aprendizado de retro-propagação de erro otimizado para predição das unidades preliminares de mapeamento de solos. Silveira (2010) empregou redes neurais artificiais e tabulação

cruzada para integrar dados topográficos derivados de MDT e gerar mapas com classes preliminares de solo na bacia do rio Iraí, PR.

2.6.7. Lógica *Fuzzy*

O conceito de Lógica *Fuzzy* se originou do fato de que certos fenômenos não têm fronteiras claramente definidas. A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi desenvolvida para tratar dos problemas do processamento de informações da linguagem natural, na qual existem conceitos centrais bem definidos, mas a definição de fronteiras é vaga. A Lógica *Fuzzy* é uma generalização da teoria da álgebra de Boole, onde um membro pode assumir dois estados: falso (0) ou verdadeiro (1). Na Lógica *Fuzzy*, existem vários membros entre a negação absoluta (0) e a verdade absoluta (1) (Miranda, 2005).

A lógica *Fuzzy* foi criada por Lofti A. Zadeh no início de 1960, e é considerada como análise algébrica de mapas não cumulativa ou análise lógica (Neumann, 2012). A lógica *Fuzzy* é definida como “a parte da lógica matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural” (Katinsky, 1994). A Lógica *Fuzzy* é uma ampliação da teoria convencional de conjuntos e sua utilização é apropriada em sistemas que se caracterizam pela generalidade, ambigüidade e imprecisão (Fuks, 1998).

As primeiras aplicações de Lógica *Fuzzy* datam de 1974, tanto no campo experimental como no campo industrial. Vários exemplos de aplicação de Lógica *Fuzzy* podem ser encontrados na engenharia, medicina, ciências naturais e muitas outras ciências (Silva, 2003).

A teoria dos conjuntos *fuzzy* tem sido amplamente utilizada em ciência do solo para classificação e mapeamento. O desenvolvimento de técnicas digitais de mapeamento de solo baseado em Lógica *Fuzzy* tem atraído atenção devido à capacidade de capturar e representar a natureza contínua de variação espacial do solo. (McBratney & Odeh, 1997; Zhu, 1997; McBratney *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2001; McBratney *et al.*, 2003; Mendonça-Santos & Santos, 2003; Zhu *et al.*, 2010a). A aplicação dos métodos *fuzzy* nos mapeamentos possibilita a definição de classes sem o estabelecimento de limites precisos, e por esta razão, mais adequados às mudanças graduais que ocorrem no solo (Fuks, 1998).

Segundo Bonisch (2004), a lógica *fuzzy* tem como objetivo modelar o raciocínio humano, possibilitando trabalhar com informações incertas ou imprecisas, fornecendo respostas para questões baseadas em conhecimentos inexatos, incompletos ou não totalmente

confiáveis. É um método de caracterização de classes que, por várias razões, não têm ou não podem definir limites rígidos entre classes, (Figura 5), (Câmara *et al.*, 2001; Almeida *et al.*, 2003).

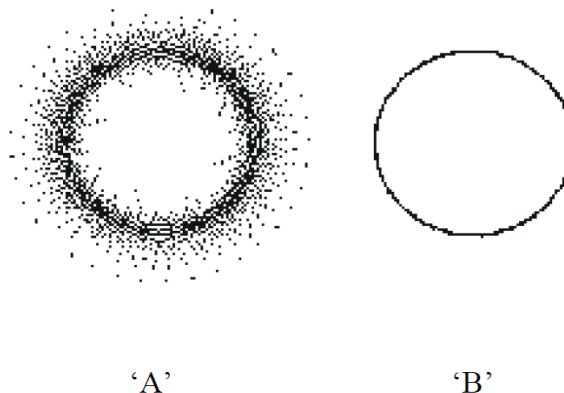


Figura 5:Diagrama de Venn ilustrando a diferença de limites entre um conjunto Fuzzy (A) e um conjunto booleano (B). Fonte: Burrough, 1998.

A Lógica *Fuzzy* permite criar classes contínuas bem mais flexíveis, onde um indivíduo pode pertencer totalmente, pertencer parcialmente ou não pertencer à determinada classe, sendo que o grau de pertinência varia entre 0 e 1 (McBratney *et al.*, 2000; Câmara *et al.*, 2001; Almeida *et al.*, 2003; McBratney *et al.*, 2003; Mendonça-Santos & Santos, 2003). Ou seja, os valores que pertencem estritamente a uma classe assumem o valor de pertinência 1. À medida que os membros se afastam do valor central, são definidos numa amplitude de valores de pertinência com tendência a zero (Silva, 2003).

Para caracterizar formalmente um conjunto *fuzzy*, pode-se recorrer ao conceito de *função de pertinência* (Fp). Dado o valor de um atributo z , a função de pertinência determina se o elemento avaliado pertence ou não a um determinado conjunto em análise (Câmara *et al.*, 2001).

Segundo Câmara *et al* (2001), um conjunto *fuzzy* pode ser definido matematicamente da seguinte forma: dado o universo de amostras ou objetos ' Z ', um conjunto *fuzzy* ' A ' neste universo ' Z ' é um conjunto de pares ordenados, conforme a equação 5, descrita por Câmara *et al* (2001).

$$A = (z, FP_A^F(O_z)) \quad \text{para todo } O_z \in Z, \quad \text{eq. 05}$$

onde, $FP_A^F(O_z)$ é a função de pertinência *fuzzy* do conjunto ' A '.

O valor da função $FP_A^F(O_z)$ pode ser entendido como o grau de compatibilidade do objeto O_z com o conjunto 'A', sendo que o objeto O_z pertence ao universo 'Z' ($O_z \in Z$).

Segundo Câmara et al (2001) a função $FP_A^F(O_z)$ é um número entre zero e 1, sendo: a) 1, quando a compatibilidade entre o conjunto 'A' e o objeto O_z for total; b) um valor entre 1 e 0, quando a compatibilidade não for total, e; c) zero, quando não houver nenhuma compatibilidade entre o objeto e o conjunto em análise.

A função que define um conjunto *fuzzy* pode assumir várias formas, de acordo com as características dos dados avaliados. As formas mais comuns são linear, não-linear, normal, gaussiana, ascendente, descendente e sigmóide (Burrough & McDonnell, 1998).

Assim como em conjuntos booleanos, dados em conjuntos *fuzzy* podem ser manipulados utilizando métodos lógicos para selecionar e combinar dados de vários conjuntos. Vários operadores podem ser utilizados de forma a se obter um mapa resultante da sobreposição de vários planos de informação *fuzzy* (Meirelles, 1997). Bonham-Carter (1994) apresenta alguns operadores *fuzzy*, denominados: *fuzzy* AND, *fuzzy* OR, produto algébrico *fuzzy*, soma algébrica *fuzzy* e gamma. O Quadro 1 apresenta detalhadamente esses operadores.

Quadro 1- Operadores *Fuzzy*

Operador	Definição
AND	Define o menor membro que controla os conjuntos <i>fuzzy</i> , proporcionando estimativas bastante conservadoras.
OR	Controla os arquivos de saída a partir do maior valor do membro <i>fuzzy</i> , que torna as estimativas mais otimistas.
Produto	Combinação que obedece uma função o valor do membro <i>fuzzy</i> e o número de mapas a serem combinados. Usando este operador, os valores tendem a ser pequenos
Soma	É complementar ao produto algébrico, sendo que o resultado é sempre maior ou igual ao maior membro <i>fuzzy</i> .
Gamma	É definido a partir do produto e soma algébrica <i>fuzzy</i>

Fonte: Silva, 2003.

Segundo Miranda (2005) a Lógica *Fuzzy* deve ser usada de maneira criteriosa, de acordo com a escala de trabalho. Se a escala for pequena, é perfeitamente viável trabalhar com lógica booleana, sem nenhum prejuízo maior para as conclusões. Se o trabalho for em grande escala e se a precisão das conclusões estiver em jogo, será indicado o uso da Lógica

Fuzzy, e isso aliado ao fato de se conhecer bem o comportamento da variável ambiental sendo estudada, para definir o tipo de função de pertinência e os limites que serão usados.

O emprego da Lógica *Fuzzy* na pedometria possibilita a alocação de indivíduos, como os *pedons*, de acordo com o grau de pertinência do indivíduo em relação a cada classe de solo mapeada. O grau de pertinência será determinado pelo desvio dos atributos dos indivíduos em relação aos valores de atributos considerados como típicos para cada classe de solo. As classes de solo obtidas por meio do emprego de Lógica *Fuzzy* podem representar as transições graduais entre os solos.

Vários autores vêm aplicando lógica *fuzzy* para o mapeamento de classes de solos e de propriedades do solo, como Zhu (1997), Zhu *et al.*, (2001, 2010a, 2010b) e Carvalho *et al.*, (2009). Com esses estudos verificou-se a possibilidade em fazer previsão de classes e propriedades do solo a partir de dados auxiliares, demonstrando que a lógica *fuzzy* é uma técnica potencialmente capaz de operacionalizar os trabalhos em levantamentos de solo.

Zhu *et al.*, (2010a) empregou lógica *fuzzy* para gerar um mapa de classes de solos e um mapa de conteúdo de matéria orgânica, utilizando como dados de entrada variáveis topográficas e amostras de solo, em uma bacia experimental na China. Carvalho *et al.*, (2009) utilizou dados, advindos de MDT, vegetação e geologia associados ao conhecimento do pedólogo e integrados em ambiente SIG sob inferência *fuzzy* para gerar um mapa digital de classes de solo, na região da Chapada Diamantina, BA.

2.7. Avaliação da Qualidade dos Mapas Digitais

O mapeamento do solo, sejam quais forem as técnicas utilizadas, não estará completo se não for verificada a qualidade da informação contida no mapa (Caten, 2008). Lagacherie (2008) afirma que a sistematização e aplicação de uma metodologia de avaliação de precisão, é provavelmente o maior desafio do mapeamento digital do solo. O número de contribuições dedicadas especificamente a esse assunto é pequeno.

Uma alternativa para reportar o erro contido em um mapeamento de solos é a preparação de uma matriz de erros ou confusão. Essa matriz mostra a tabulação cruzada entre duas informações, por exemplo, dois mapas gerados por metodologias diferentes, ou mesmo informações de campo. Uma série de procedimentos estatísticos poderá ser aplicada à matriz de erros. As linhas da matriz são preenchidas com os dados inferidos, e nas colunas são marcados os valores correspondentes aos dados de referência. Os valores na diagonal

corresponderão aos dados corretamente preditos (Caten, 2008). A matriz de erros ou de confusão identifica o erro global da classificação para cada classe de solo, mostrando também como se deram as confusões entre as classes (Lillesand e Kieffer, 1994), informando os erros de omissão e comissão para cada classe.

Um dos índices empregado para estimar a qualidade do mapa gerado é o índice de Exatidão Global (Brites, 1996), também denominado de Acurácia Geral (AG) (Caten, 2008) que corresponde ao total de dados corretamente preditos dividido pelo total de amostras.

Outro índice utilizado para mensurar a exatidão dos mapas gerados é o índice Kappa, que representa inteiramente a matriz de confusão por empregar o índice Exatidão Global ou Acurácia Geral e os erros de omissão e comissão. O índice Kappa mede a proporção de concordância entre os dados desconsiderando-se a concordância em virtude da casualidade (Vilela, 2002). O índice K é bastante utilizado para testar a qualidade de mapas preditivos. Geralmente, os valores obtidos na literatura permeiam entre 0,3 e 0,6, entretanto considera-se como satisfatórios valores Kappa acima de 0,7 (Gong e Howard 1990, Figueiredo 2006, Caten *et al.*, 2009a).

Esses estimadores de qualidade são classificados como métodos estatísticos multinominais, e contemplam considerações sobre a frequência do erro (proporção da área do mapa que não concorda com a realidade), a natureza do erro (classes não mapeadas corretamente e com quais classes se confundem), magnitude do erro (o quão importante o erro é para o usuário) e fonte do erro (a razão da ocorrência do erro) (Figueiredo, 2006; Caten *et al.*, 2009a).

Fuks (1998) ressalta que a qualidade e a utilidade dos mapas digitais são resultantes da qualidade da informação e dos procedimentos utilizados, ambos intimamente associados à forma como os dados estão representados.

2.8. Mapeamento digital de solos no Brasil

O mapeamento de classes de solos empregando técnicas de MDS é recente no país, datando do início dos anos 2000 (Caten *et al.*, 2012). Segundo Caten *et al.*, (2012) o despertar mais recente dos cientistas do solo brasileiros para o MDS pode estar ligado a fatores como: disponibilização bem mais tardia de software e hardware no país; ao conservadorismo de muitos pedólogos que relutam em utilizar sistemas automatizados; a carência de pessoal qualificado para o emprego da tecnologia da informação na ciência do solo; a popularização

mais recente no Brasil de tecnologias como sistema de posicionamento global e sensoriamento remoto.

Entretanto, um número crescente de trabalhos em Pedometria e mapeamento digital de solos vem sendo realizados no Brasil. Segundo Caten *et al.*, (2012), em 2011 cinco trabalhos brasileiros foram publicados.

Grande parte dos estudos realizados no Brasil concentra-se no estado do Rio Grande do Sul. Isso pode ser atribuído à presença de dois grupos de pesquisa que desenvolvem atividades naquele Estado (Universidade Federal de Santa Maria e Universidade Federal do Rio Grande do Sul) (Caten *et al.*, 2012). Esse fato ressalta a importância de expandir as técnicas de MDS a outras regiões do país, visto que os vazios cartográficos em solos, segundo Mendonça Santos e Santos (2007), concentram-se principalmente nas regiões norte e noroeste do Brasil.

Várias iniciativas vêm sendo tomadas para ampliar e disseminar a aplicação do mapeamento digital de solos no Brasil. Em 2006, a Embrapa solos organizou no Rio de Janeiro, com o apoio da *International Union of Soil Sciences* e da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, o *2nd Global Workshop on Digital Soil Mapping*, que reuniu 75 pesquisadores de 17 países, para apresentar e discutir os avanços em mapeamento digital de solos. Uma seleção de artigos foi publicada como livro, intitulado *Digital Soil Mapping With Limited Data* (Hartemink *et al.*, 2008). Após o Workshop do Rio de Janeiro, um Consórcio Global para o Mapeamento Digital de Propriedades dos Solos foi criado, com representantes dos cinco continentes e coordenação do ISRIC - World Soil Information, (CNPq, 2012).

Em 2011, pesquisadores da Embrapa Solos promoveram a criação de uma rede de pesquisa para reunir profissionais atuantes na área. A Rede Brasileira de Pesquisa em Mapeamento Digital de Solos (RedeMDS), formada com recursos de edital CNPq/Embrapa, que reúne 58 membros de 25 instituições de ensino, pesquisa e extensão rural, pretende elaborar projetos de ação conjunta e integrada para o mapeamento digital em alta resolução dos solos do Brasil e gerar sinergia entre os pesquisadores brasileiros para promover o avanço da pesquisa em MDS (EMBRAPA, 2012).

2.9. Considerações Finais e Tendências Futuras para o Mapeamento Digital do Solo

No Brasil, a demanda pelo mapeamento de solos é constante, ressaltando a necessidade de detalhamento nas informações e dados para a produção dos mapas

pedológicos, requeridos para o desenvolvimento social econômico planejado aliado ao uso sustentável dos recursos naturais. Nesse contexto, o mapeamento tradicional do solo representa um processo lento e de custo elevado, que conseqüentemente, não permite a rápida realização/atualização dos levantamentos, a disponibilização de dados em escala adequada e o aumento da acurácia dos mapas de solos (Zhu *et al.*, 2001; McBratney *et al.*, 2003).

Considerando as demandas dos levantamentos de solos e a falta de informações sobre os solos em escala adequada, o desafio que se coloca no país é como definir uma nova abordagem para a cartografia dos solos de modo a inferir a distribuição espacial de classes e propriedades de solos para todo o território brasileiro.

Desta maneira, é mais que necessário o desenvolvimento de pesquisas para a adoção e sistematização de novas técnicas e métodos para tornar os levantamentos de solos mais rápidos, menos onerosos e mais quantitativos. Assim, estudos em Pedometria e Mapeamento Digital de Solos, que integram informações para predição de classes e atributos do solo são relevantes e oportunos.

O desenvolvimento de técnicas em MDS está fortemente relacionado à crescente disponibilização de dados auxiliares, como os modelos digitais elevação (MDE), que são muitas vezes os principais dados de entrada e dos quais são derivados os atributos de terreno empregados nos modelos.

No Brasil, a utilização de produtos e informações geradas através do sensoriamento orbital voltado para levantamentos planimétricos é realidade há mais de duas décadas. A maioria dos levantamentos é feita por aerofotogrametria, mas a disponibilização de MDEs na rede virtual, como os SRTM e ASTER, disponíveis para todo território nacional, contribuem para a aplicação desse tipo de dado (Barros, 2005).

Entretanto, Chagas *et al.*, (2010) alertam para o fato de não haver nenhum órgão nacional responsável pela normatização de metodologias voltadas para a criação de modelos digitais, elaboradas pelos próprios usuários, que carecem de atenção quanto às limitações como fonte de informação espacial. Também é necessário ressaltar que nem sempre existem MDEs disponíveis em escala adequada à realização de mapeamentos em detalhe. E ainda, os erros advindos dos MDEs podem ter grande influência durante o processo de modelagem e predição de classes/atributos, visto que interferem na qualidade do fator relevo, e, conseqüentemente, nos atributos de terreno a serem gerados (Caten, 2011).

Em relação às metodologias empregadas para o MDS discutidas nesse trabalho, é válido ressaltar que a aplicação da metodologia adequada está relacionada a fatores como as

características da área de estudo, tipos de dados de entrada, finalidade e resolução do mapeamento, configuração da pesquisa e o uso final das informações geradas. Portanto, uma técnica ou método não pode ser aplicado a qualquer situação sem a prévia consideração das necessidades específicas do levantamento e da adequação dos pressupostos inerentes à própria metodologia (McBratney *et al.*, 2000).

De forma geral, o MDS vem se consolidando, e cada vez mais sua aplicabilidade é demonstrada. Segundo Caten (2011) a abordagem de solos tradicional e a digital são complementares e necessitam serem desenvolvidas simultaneamente. O levantamento de solos convencional produz as informações que são utilizadas para treinar os modelos e prever classes e propriedades de solos em áreas não mapeadas. A abordagem automatizada permite que extensas regiões sejam previamente mapeadas, otimizando recursos humanos e financeiros no mapeamento convencional.

No Brasil, o mapeamento digital dos solos tem se afirmado com um número cada vez maior de artigos publicados em revistas científicas especializadas, bem como com a participação de pesquisadores brasileiros em publicações internacionais. Também, a criação da RedeMDS representa um grande avanço nos esforços para consolidar projetos em MDS.

Em face ao grande desafio de produzir informação sobre a distribuição espacial de classes e atributos de solos para todo o território brasileiro, o mapeamento digital de solos será um grande aliado. Mas, segundo Caten (2011), em virtude do curto período de atividades, a pesquisa em MDS brasileira ainda não é resultado de grupos consolidados nessa linha de trabalho, e até o presente momento, o emprego do MDS para o suprimento das atuais demandas em dados pedológicos ainda não é uma realidade.

Inicialmente, os trabalhos realizados são voltados à consolidação de metodologias digitais de mapeamento, como forma de confirmar que esta abordagem é capaz de gerar resultados similares ou melhores àqueles alcançados pela metodologia convencional de mapeamento. Uma vez consolidado, a aplicação do MDS passará de experimental para prática, podendo a partir daí se tornar uma ferramenta complementar ao mapeamento convencional, auxiliando a suprir as demandas de dados pedológicos.

Referências

- ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. 2003. Modelos de dinâmica urbana: conceitos, derivação de relações, calibração, exemplos. Curso “Modelagem ambiental e modelos dinâmicos de uso e cobertura do solo. In: Simp. Sensoriamento Remoto Belo Horizonte.
- ARROUAYS, D. ; DESLAIS, W.; BADEAU V. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use and Management*, v.17, 7-11.
- ASADI H, H.; HALE, M. 2001.A predictive GIS model for potential mapping of gold and base metal mineralization in Takab area, Iran. *Computers & Geosciences*, v. 27, p. 901-912.
- ATKINSON, P.M.; TATNALL, A.R.L. 1997. Neural networks in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, v.18, p.699-709.
- BAILEY, N.; CLEMENTS, T.; LEE, J.T.; THOMPSON, S. 2003. Modeling soil series data to facilitate targeted habitat restoration: a polytomous logistic regression approach. *Journal of Environmental Management*, Amsterdam, v. 67, p. 395-407.
- BARROS, R.S.; CRUZ, C.B.M.; REIS, R.B.; COSTA JR., N.A. 2005. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: Simp. Bras. Sensoriamento Remoto, p. 3997-4004.
- BISHOP, T.F.A.; McBRATNEY, A.B. 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. *Geoderma*, v.103, 149-160.
- BITTENCOURT, G. 1998. Inteligência artificial – Ferramentas e Teorias. Florianópolis, UFSC. 400p.
- BONHAM-CARTER, G.F. 1994. Geographic information systems for geoscientists – modeling with gis. Pergamon, 398 p.
- BOLENEUS, D.E.; RAINES, G.L.; CAUSEY, J.D.; BOOKSTROM, A.A.; FROST, T. P.; HYNDMAN, P.C. 2001. Assessment method for epithermal gold deposits in northeast Washington State using weights-of-evidence GIS modeling. Washington, D. C.: United States Geological Survey, p. 501-512.
- BONISCH, S.; LOPES ASSAD, M. L.; MONTEIRO A.M.V.; CÂMARA, G. 2004. Representação e propagação de incertezas em dados de solo. II – atributos numéricos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p 33-47.
- BRITES, R. S. 1996. Verificação de exatidão em classificação de imagens orbitais: efeitos de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 101 p.
- BUI, E. N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. 1999. Extracting soil landscape rules from previous soil surveys. *Australian Journal of Soil Research*, v.37, n.3, p.495-508.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties, I.The semivariogram and punctual kriging. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 31, p315-331.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. 1984. Optimal sampling strategies for mapping soil types, I.Distribution of boundary spacings. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 35, p. 641-654.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER R.; McBRATNEY A. B. 1981. Optimal interpolation and isarithmic mapping, IV.Sampling strategies. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 32, p. 643-659.

- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. 1998. Principles of geographical information systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. New York: Oxford University Press, 333p.
- BURROUGH, P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science, Oxford*, v. 40, p. 477-482.
- BURROUGH, P.A.; McDONNELL, R.A. 1998. Principles of geographic information systems. New York, Oxford University Press, 333p.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. 2001. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em Nov. 2012.
- CAMPLING, P.; GOBIN, A.; FEYER, J. 2002. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. *Soil Science Society of America Journal, Madison*, v. 66, p. 1390-1401
- CARRÉ, F.; McBRATNEY, A.B.; MAYR, T.; MONTANARELLA, L. 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM. *Geoderma, Amsterdam*, v. 142, p.69-79.
- CARVALHO JUNIOR, W. 2005. Classificação supervisionada de pedopaisagens do domínio dos mares de morros utilizando redes neurais artificiais. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 160 p.
- CARVALHO, C.C.N.; FRANCA-ROCHA, W.; SANTO, E.B.E. 2007. Predição de unidades de mapeamento digital de solo usando modelagem sob inferência fuzzy: estudo de caso em uma área na região de Mucugê-BA. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, p. 305-312.
- CATEN, A. 2008. Aplicação de componentes principais e regressões logísticas múltiplas em sistema de informações geográficas para a predição e o mapeamento digital de solos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, 128 p.
- CATEN, A.T.; DALMOLIN, R.S.D.; RUIZ, L.F.C.; SEBEM, E.; PEREIRA, R.S. 2009a. Mapeamento digital de solos através da aplicação de componentes principais em modelos logísticos. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, p. 7677-7684.
- CATEN, A. T.; DALMOLIN, R.S.D.; SEBEM, L.F.C.R.; PEREIRA, E. R. S. 2009b, Pedometria aplicada à predição de classes de solos utilizando de regressões logísticas múltiplas. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, Anais... Natal: INPE, CD-ROM.
- CATEN, A. 2011. Mapeamento digital de solos: metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, 108 p.
- CATEN, A.; DALMOLIN, R.S.D.; RUIZ, L.F.C. 2011. Mapeamento de solos a partir de uma área de referência. In: Sim. Bras. Sensoriamento Remoto, p.9073.
- CATEN, A.; DALMOLIN, R.S.D.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; GIASSEN, E. 2012. Mapeamento digital de classes de solos: características da abordagem brasileira. *Ciência Rural*, v.41, 5: 812-816.
- CHAGAS, C.S. 2006. Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio do mar de morros. Tese de Doutorado, Universidade Federa de Viçosa, 233 p.
- CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E. I.; ROCHA, M. F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; SOUZA NETO, N. C. 2010. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.218-226.
- CNPq. 2012. Diretório nacional dos grupos de pesquisa no Brasil. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/detalhegrupo.jsp?grupo=0092501I5BW6S0>>. Acesso em: Jan. 2013.

- COELHO, F.B. 2010. Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geométricas e sistemas de informações geográficas. Dissertação de Mestrado, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 95 p.
- CRIVELANTI, R.C.; COELHO, R.M.; ADAMI, S.F.; OLIVEIRA, S.R.M. 2009. Mineração de dados aplicada ao mapeamento digital de solos: folha Dois Córregos. In: XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Fortaleza.
- DEBELLA-GILO, M.; ETZELMULLER, B.; KLAKEGG, O. 2007. Digital Soil Mapping Using Digital Terrain Analysis and Statistical Modeling Integrated into GIS: Examples from Vestfold County, Norway. *Catena*, v. 77, p. 8-18.
- DODBOS, E.; MICHELI, E.; BAUMGARDNER, M.F.; BIEHL, L.; HELT, T. 2000. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional mapping. *Geoderma*, v.97, p.367-391.
- DOKUCHAEV, V.V. 1883. Russian Chernozem. In: KANER, N., Traduction, Israel Prog. for Sci. Trans., Jerusalem. 162p.
- EMBRAPA. 1995. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Rio de Janeiro, 101p.
- EMBRAPA. 2011. Mapa de solos do Brasil. Disponível em: < <http://www.cnps.embrapa.br/>>. Acesso em: Jan. 2013
- EMBRAPA. 2012. Mapeamento digital de solos se organiza no Brasil. Disponível em: < http://www.cnps.embrapa.br/noticias/banco_noticias/20111130.html>. Acesso em: Jan. 2013.
- FAO-UNESCO. 1988. Soil map of the world: Revised legend (with corrections and updates). World SoilResourcesReport 60, FAO, Rome.
- FARIAS, M.F. 2008. Integração de parâmetros morfométricos e interpretação de imagens orbitais para o auxílio no mapeamento de solos no parque nacional de Brasília. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Universidade de Brasília, 150 p.
- FIGUEIREDO, S.R. (2006). Mapeamento supervisionado de solos através do uso de regressões logísticas múltiplas e sistema de informações geográficas. Rio Grande do Sul: UFRS, Dissertação de Mestrado, Brazil, 93p.
- FLORINSKY, I.V.; EILERS, R.G.; MANNING, G.; FULLER, L.G. 2002. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environ. Modeling Software*, 17: 295-311.
- FUKS, S.D. 1998. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., eds. Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 434p.
- GONG, P.; HOWARD, P.J. 1990. The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*, v.60, p. 331-337.
- HANSEN; D.T. 2001. Describing GIS applications: spatial statistics and weight evidence extension to ArcView in the analysis of the distribution archaeology sites in Landscape. In: GISCAFE. Disponível em: <<http://www.giscale.com/TechPapers/Papers/paper054/>>. Acesso em: 11 de julho 2009.
- HARTEMINK, A.E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M.D.L. (Eds.). 2008. Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer, Netherlands, 445p.
- HENGL T. 2003. Pedometric mapping: bringing the gaps between conventional and pedometric approaches. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 214p.

- HENGL, T.; ROSSITER, D. G.; HUSNJAK, S. 2002. Mapping soil properties from an existing national soil data set using freely available ancillary data. In: World Congress of Soil Science, 17, Bangkok, Tailândia, 14-21.
- HOSMER, D.W. & LEMESHOW, S. 1989. Applied logistic regression. New York: Wiley: New York, USA. 392 p.
- HUDSON, B.D. 1992. The soil survey as paradigm-based science. Soil Science Society of America Journal. v.56, p. 836– 841.
- IBGE. 2007. Manual técnico de pedologia. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_pedologia.pdf>. Acessado em: Out. 2012.
- INGARGIOLA, G. 1996. Building Classification Models: ID3 and C4.5. Disponível em: <<http://www.cis.temple.edu/~ingargio/cis587/readings/id3-c45.html>>. Acesso em: 15 de agosto de 2011.
- JENNY, H. 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill. New York.
- KATINSKY, M. 1994. Fuzzy set modelling in Geographical Information Systems. Madsin Wisconsin – USA. Dissertação de Mestrado: University of Wisconsin. 43p.
- KEY, J.; MASLANIK, J.A. & SCHWEIGER A. J. 1989. Classification of merged AVHRR and SMMR artice data with neural networks. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.55, p.1331-1338.
- LAGACHERIE, P. 2008. Digital Soil Mapping: A State of the Art. In: HARTEMINK, A. E.; McBRATNEY, A.B., MENDONÇA-SANTOS M. L. (Eds) Digital Soil Mapping with Limited Data. Springer, p. 3-14.
- LAGACHERIE, P.; McBRATNEY, A.B.; VOLZ. A. Eds. 2007. Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Elsevier, Amsterdam. 596 p.
- LARK, R. M.; BECKETT, P. H. T. 1998. A Geostatistical descriptor of the spatial distribution of soil classes, and its use in predicting the purity of possible soil map units. Geoderma, Amsterdam, vol. 83, n. 3, p. 243-267.
- LEE, W.; BOHRA, N.C.; ALTSCHAEFFL, A.G.; WHITE, T.D. 1998. Resilient modulus of cohesive soils. ASCE. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, v. 123, n. 2, p. 131-136,
- LILLESAND, T.M. & KIEFER R. W. 1994. Remote sensing and image interpretation. 2.ed. Chichester: John Wiley & Sons. 750p.
- LÓPEZ, L.R. 2009. Pedologia Quantitativa: espectrometria VIS-NIR-SWIR e mapeamento digital de solos. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 171 p.
- MAPA. 2013. Zoneamento de risco climático. Política agrícola do Ministério da Agricultura e Pecuária, Brasil. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: 28 de abril de 2013.
- McBRATNEY, A. B.; DE GRUIJTER, J. J. A. 1992. Continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades. Journal of Soil Science, Oxford, v. 43, 1:159-175.
- McBRATNEY, A. B.; ODEH, I.O.A.; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S.; SHATAR, T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. Geoderma, 97: 293-327.
- McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA SANTOS, M.L.; MINASNY, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma, 117:3-52.
- McBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A. 1997. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77, 85-113.

- McBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. 1981. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland. *Geoderma*, v.26, p. 63-82.
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEMS ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and Human Well-Being*. Island Press, Washington, DC. 120 p.
- MENDONÇA-SANTOS, M. L.; SANTOS, H. G. 2003. Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, Documento 55, 19p.
- MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SANTOS, H.G. dos. 2007. The state of the art of brazilian soil mapping and prospects for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. *Digital soil mapping: an introductory perspective*. Amsterdam: Elsevier, Cap.3, p.39-54.
- MINASNY, B; MCBRATNEY, A.B.; CARRÉ, F. 2008. *Encyclopedia of Soil Science*. CRC Press, Flórida. 902 p.
- MIRANDA, J. I. 2005. *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas*. Brasília. Embrapa Informação Tecnológica, 421 p.
- MOORE, I. D.; TURNER, A. K.; WILSON, J. P.; JENSON, S. K.; BAND, L. E. 1993. GIS and land-surfacesubsurface process modeling. In: *Environmental Modeling with GIS*. Oxford, New York, pp. 196-230.
- MOREIRA, F. R. S.; ALMEIDA FILHO, R. A.; CÂMARA G. 2003. Modelamento de dados geológicos em pesquisa mineral segundo o teorema de Bayes. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte. P. 895-902
- MOREIRA SILVA, A. 1999. Integração de dados geológicos e geofísicos utilizando-se de uma nova técnica estatística para seleção de alvos para exploração mineral, aplicada ao Greenstone Belt Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero. Brasília: Instituto de Geociências – IG, Universidade de Brasília. 195 p. Tese de Doutorado em Geologia.
- NEUMANN, M.R.B; ROIG, H.L.; LACERDA, M.P.C.; ROLIM, L.R.; BOECHAT, C.; BORGES, T.D.; ARAÚJO, P.C.; SOUSA, R.Q.; CAMPOS, M.P.; SILVA, R.A.B. 2011. Aplicação de técnicas de regressão no mapeamento digital de solos da bacia do ribeirão do Gama, Distrito Federal. In: Simp. Bras. Sensoriamento Remoto, p. 9219.
- NEUMANN, M.R.B. 2012. Mapeamento digital de solos no Distrito Federal. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 124 p.
- ODEH, I.O.A.; McBRATNEY, A.B.; CHITTLEBOROUGH, D.J. 1990. Design of optimal sample spacings for mapping soil using fuzzy-k-means and regionalizes variable theory. *Geoderma*, vol. 47, p. 93-122.
- ODEH, I. O. A.; McBRATNEY, A.B. 2000. Using AVHRR images for spatial prediction of clay content in the lower Namoi valley of eastern Australia. *Geoderma*, Amsterdam 237-254.
- ODEH; I.O.A., CHITTLEBOROUGH, D.J.; MCBRATNEY A.B. (1991).Elucidation of soil and landform interrelationships by canonical ordination analysis. *Geoderma*, Amsterdam, v.49, p.1-32.
- PALM, C. A.; SANCHEZ P. A.; AHAMED S.; AWITI A.; ANNU A. 2007. *Soils: A Contemporary Perspective*. Annual Review of Environment and Resources. 32: 99-129
- RANZANI, G. 1969. *Manual de Levantamento de Solos*. São Paulo: Edgar Blucher.
- ROWELL, D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Essex, Inglaterra, Addison Wesley Longman, 350 p.

- ROJAS, E.H.M. 2004. Síntese Genética de Redes Neurais Artificiais ART2 na Classificação de Imagens ASTER para Mapeamento de Uso e Cobertura da Terra na Região Norte do Mato Grosso. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 124 p.
- SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O.A.; MCARTHUR, D. 2003. Predictive soil mapping: a review. *Progress in Physical Geography*. v.27, p. 171-197.
- SANCHEZ, P.A.; AHAMED, S.; CARRE, F.; HARTEMINK, A.E.; HEMPEL, J.; HUISING, J.; LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; MCKENZIE, N.J.; MENDONCA-SANTOS, M.D.; MINASNY, B.; MONTANARELLA, L.; OKOTH, P.; PALM, C.A.; SACHS, J.D.; SHEPHERD, K.D.; VAGEN, T.G.; VANLAUWE, B.; WALSH, M.G.; WINOWIECKI, L.A.; AND ZHANG, G.L. 2009. Digital soil map of the world. *Science*, vol. 325, p. 680–681.
- SILVEIRA, C.T. 2010. Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamentos de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 154 p.
- SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MANTOVANI, L. E.; SIRTOLI, A. R. A.; OKA-FIORI, C. 2008. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Scientia Agraria, Curitiba*, v.9, n.3, p.317-329.
- SKIDMORE, A.K.; TURNER, B.J; BRINKHOF, W.; KNOWLES E. 1997. Performance of a neural network: mapping forest using GIS and remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol 63, p.p. 501-514.
- THOMPSON, A. L.; GHIDEY, F.; REDMI, T. P., 2001. Raindrop energy effects on chemical and sediment transport. *Transactions of the ASAE, St. Joseph*, v.44, n.4, p.835-841.
- TURETTA, A. P. D.; PRADO, R. B.; SCHULER, A. E. 2010. Serviços Ambientais no Brasil: do conceito à prática. In: PRADO R. B., TURETTA A. P. D., ANDRADE A.G.(Org.). *Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais*. p. 239-253.
- VELDKAMP, A.; KOK, K.; KONING, G.H.J.; SCHOORL, J.M.; SONNEVELD, M.P.W.; VERBURG, P.H. 2001. Multi-scale approaches in agronomic research at landscape level. *Soil & Tillage Res.*, v.58, p.129-140.
- VILELA, M.F. Integração de técnicas de geoprocessamento e levantamento participativo de informações socioambientais: um subsídio à reforma agrária. Viçosa: UFV, 2002. 135p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- WEBSTER, R. 1984. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advances in Soil Science*, New York, v. 3, p. 1-70.
- ZHU, A. X. 2000. Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. *Water Resources Research*, v.36, p.663-677.
- ZHU, A.X. 1997. A similarity model for representing soil spatial information. *Geoderma* 77:217-242.
- ZHU, A.X.; HUDSON, B.; BURT J.E.; LUBICH, K.; SIMONSON, D. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1463-1472.
- ZHU, A.X.; YANG L.; LI B.; QIN C.; PEI T.; LIU, B. 2010a. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. *Geoderma*, 155: 164-174.
- ZHU, A.X.; QI F.; MOORE A.; BURT E.J. 2010b. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. *Geoderma*, 158: 199-206.

CAPÍTULO 3

Artigo B

3. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DA BACIA DO SARANDI

Resumo: A bacia do Sarandi foi selecionada para esse estudo, por se tratar de uma área piloto experimental do projeto Geocerrado. Essa bacia, com cerca de 30 km², está situada na Ecorregião do Planalto Central, localiza-se ao norte do Distrito Federal, em Planaltina, e abrange parte da área experimental da Embrapa Cerrados. O objetivo deste capítulo foi realizar a caracterização dos solos da bacia do Sarandi. Primeiramente, foi realizado um levantamento de perfis de solo localizados na área descritos na literatura. Em seguida, com subsídio da compartimentação geomorfológica da Bacia, pontos amostrais foram plotados, e procedeu-se o trabalho de campo. As amostras coletadas foram caracterizadas química e fisicamente, e classificadas até o terceiro nível categórico. Ao todo, foram levantados os seguintes dados: 13 perfis de solos com descrições morfológicas e caracterização química e física, 38 perfis complementares com caracterizações químicas e físicas e 24 pontos de observação com descrições dos solos e da paisagem. Foram encontradas nove classes de solo na bacia: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo, Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico, Plintossolo Háplico, Gleissolo Melânico e Gleissolo Háplico. A organização dessas classes de solo ocorre da seguinte maneira: Nas Chapadas, Latossolos Vermelhos Latossolos Vermelho Amarelo, Latossolos Amarelos e pequenas manchas de Gleissolos Melânicos; nas Frentes de Recuo Erosivo, Cambissolos Háplicos e Plintossolos Pétricos; nas Rampas de Colúvio, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Vermelhos, Plintossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos.

Palavras-chave: Bioma Cerrado, mapeamento de solos, Ecorregião Planalto Central, Projeto GeoCerrado,

3. CHARACTERIZATION OF SOILS IN THE SARANDI BASIN

Abstract: The Sarandi basin was chosen for this study due to the fact it is an experimental pilot area of the Geocerrado Project. The afore mentioned basin, which covers an area of circa 30 km², is situated in the Ecoregion of the “Planalto Central”, which by its turn, is located Northern Distrito Federal, in Planaltina, and covers part of the experimental area of Embrapa Cerrados. The main goal of this chapter was to accomplish the characterization of the soils found in the Sarandi basin. Initially, a profile of the soils found in the area, described in earlier literature, was done. Afterwards, counting on the subsidies of the geomorphological subdivision of the basin, sample points were plotted, and the field work was conducted. The collected samples were physically and chemically characterized, and classified up to the third categorical level. Altogether, the following data was collected: thirteen soil profiles with morphological descriptions, and chemical and physical characterization; thirty-eight complementary profiles with chemical and physical characterizations; and twenty-four observation points with descriptions of soils and landscapes. Nine classes of soil were found in the basin: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico, Plintossolo Pétrico, Plintossolo Háplico, Gleissolo Melânico, and Gleissolo Háplico. The organization of such classes occurs as follows: in the plateaus, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, and small stains of Gleissolos Melânicos; in the Fronts of Erosive Retreat, Cambissolos Háplicos and Plintossolos Pétricos; in the Colluvium Ramps, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho, Plintossolos Háplicos and Gleissolos Háplicos.

Key-words: Cerrado biome, soil mapping, Central Plateau Ecoregion, GeoCerrado Project.

3.1. Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, abrangendo cerca de 200 milhões de hectares e 11 estados brasileiros, sendo bastante heterogêneo em relação à biodiversidade, aos tipos de solos, geologia, clima e fitofisionomias (Silva & Bates, 2002; Silva *et al.*, 2006; Reatto *et al.* 2008 e Sano *et al.*, 2010). Esse bioma faz transição com os biomas Amazônia, Caatinga, Pantanal e Mata Atlântica. Devido a essa complexidade, o Cerrado foi organizado em 22 ecorregiões que agrupam áreas com características semelhantes (Arruda *et al.*, 2008).

A bacia do Sarandi está inserida na ecorregião do Planalto Central, localizado na região nuclear do bioma Cerrado (Arruda *et al.*, 2008). A bacia do Sarandi foi selecionada como a área piloto do projeto Geocerrado na ecorregião do Planalto Central, por apresentar características típicas e representativas desse bioma (Macedo, 1986).

Este trabalho está inserido no contexto do projeto Geocerrado da Embrapa Cerrados, que busca desenvolver um modelo geoambiental capaz de caracterizar o potencial de prestação de serviços ambientais em áreas representativas do Bioma Cerrado através da integração de dados temáticos referentes a solos, recursos hídricos, tipos de uso e ocupação (Embrapa, 2010).

O solo é uma variável geoambiental muito importante porque desempenha a função de suporte dos serviços ecossistêmicos, bem como, dos serviços ambientais. A intensa utilização do solo estabelecida na região do Cerrado justifica a necessidade da produção e disponibilização de mapas e de informações pedológicas que suportem as ações de planejamento e tomadas de decisão. Este capítulo tem por objetivo apresentar a caracterização dos solos da bacia do Sarandi, que serviu de subsídio para a elaboração dos mapas de solos semi-automático e digital que serão apresentados respectivamente, nos capítulos 4 e 5.

3.2. Materiais e Métodos

3.2.1. Descrição da Área de Estudo

A bacia do Sarandi possui cerca de 30 km². Localiza-se a norte do Distrito Federal, na região administrativa de Planaltina, e abrange parte da área do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (Embrapa Cerrados). O Rio Sarandi compõe a sub-bacia Mestre D'Armas, na Bacia do São Bartolomeu (Fonseca *et al.* 2010), (Figura 6).

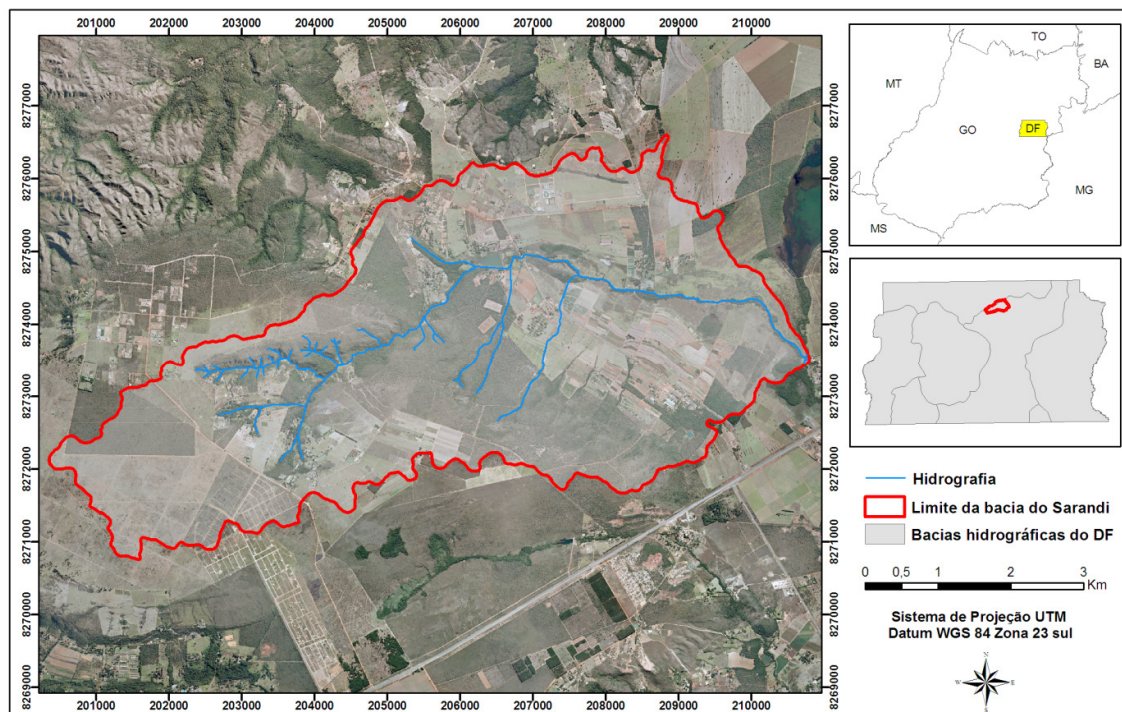


Figura 6- Localização da bacia experimental do Sarandi.

A vegetação natural da área da bacia é o Cerrado. Cerca de 40% da área ainda apresenta cobertura natural, principalmente na área compreendida pela reserva da Embrapa Cerrados. A fitofisionomia predominante é o Cerrado Sentido Restrito, podendo-se encontrar ainda Cerradão, Matas de Galeria, formações campestres e veredas (Ribeiro e Walter, 2006).

O clima no Distrito Federal, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo tropical, com alta precipitação pluviométrica no verão (entre os meses de novembro e janeiro), e baixa precipitação no inverno (entre os meses de junho e agosto) (Fonseca *et al.*, 2010). Anualmente a precipitação varia em torno de 1500 mm, concentrados entre setembro e abril. A média anual de temperatura é 20°C (Macedo, 1986).

3.2.1.1. Evolução da Paisagem

A origem da paisagem do Brasil central constitui um exemplo clássico de evolução policíclica de paisagem, que inclui formas mais jovens e remanescentes bem preservados de superfícies antigas (Motta *et al.*, 2002).

Martins *et al.* (2004) relataram que as porções mais elevadas do Planalto Central Brasileiro correspondem a remanescentes dos aplainamentos Sul-Americano e Velhas, que se desenvolveram respectivamente entre o Terciário Inferior e Médio e entre o Terciário Médio e

Superior. Nesse contexto, o histórico geomorfológico da área de estudo está diretamente ligado à evolução das superfícies de aplainamento.

Feuer (1956) relatou a ocorrência de três superfícies de erosão distintas na área do Distrito Federal, denominadas "primeira, segunda e terceira superfícies". A área da bacia do Sarandi divide-se entre a primeira e a segunda superfície.

A primeira superfície corresponde ao antigo peneplano produzido por denudação entre o Cretáceo e o Terciário médio, denominado Superfície Sul-Americana (King, 1956; Macedo & Bryant, 1987; Motta *et al.*, 2002). A superfície Sul Americana ocupa a parte mais elevada da paisagem. São chapadas, com relevo plano, declividade inferior a 3% e altitudes entre 1000 e 1200 m (Macedo & Bryant, 1987; Motta *et al.*, 2002). Essa superfície termina abruptamente em uma escarpa no limite com a segunda superfície, onde as bordas da chapada são recobertas em quase toda extensão por espessa camada de couraça laterítica (Motta *et al.*, 2002).

A segunda superfície é consequência de um soerguimento mais recente (Macedo & Bryant, 1987). Estende-se na forma de plano inclinado a partir das bordas da superfície Sul Americana em direção aos cursos d'água principais. Corresponde a um pediplano pleistocênico, de conformação suave, originado pela dissecação da superfície Sul Americana pelo ciclo de erosão Velhas (King, 1956; Motta *et al.*, 2002).

O modelo de evolução da paisagem do Planalto Central proposto por Motta (2002) defende que condições climáticas úmidas que sucederam a fase árida geradora da Superfície Sul Americana, propiciaram o aprofundamento dos vales e formação das coberturas lateríticas. Antes, porém, que toda a paisagem fosse dissecada, outro período seco se instalou, reduzindo a vegetação e propiciando o deslocamento de materiais desagregados, que depositados nas depressões, ocasionaram o entupimento dos vales, originando outra superfície de conformação suave. Entretanto, a crosta de material petroplúntico das bordas resistiu a esse processo erosivo, contribuindo para a manutenção das chapadas. Com a instalação de um novo período úmido, teve início outra fase de intemperismo químico, acentuando o aprofundamento das linhas de drenagem, retrabalhando as rochas subjacentes, e abrindo assim, novos vales.

3.2.1.2. Geologia, Geomorfologia e Solo

A bacia do Sarandi é composta por rochas do Grupo Paranoá. De acordo com Campos & Freitas Silva (1989), a litologia da bacia é composta por 75,13% Metarritimito

argiloso, 11,71 % Metarritimito arenoso, 11,75% de Quartzitos e em menor proporção 1,41% Psamo-pelito carbonatada, (Figura 7).

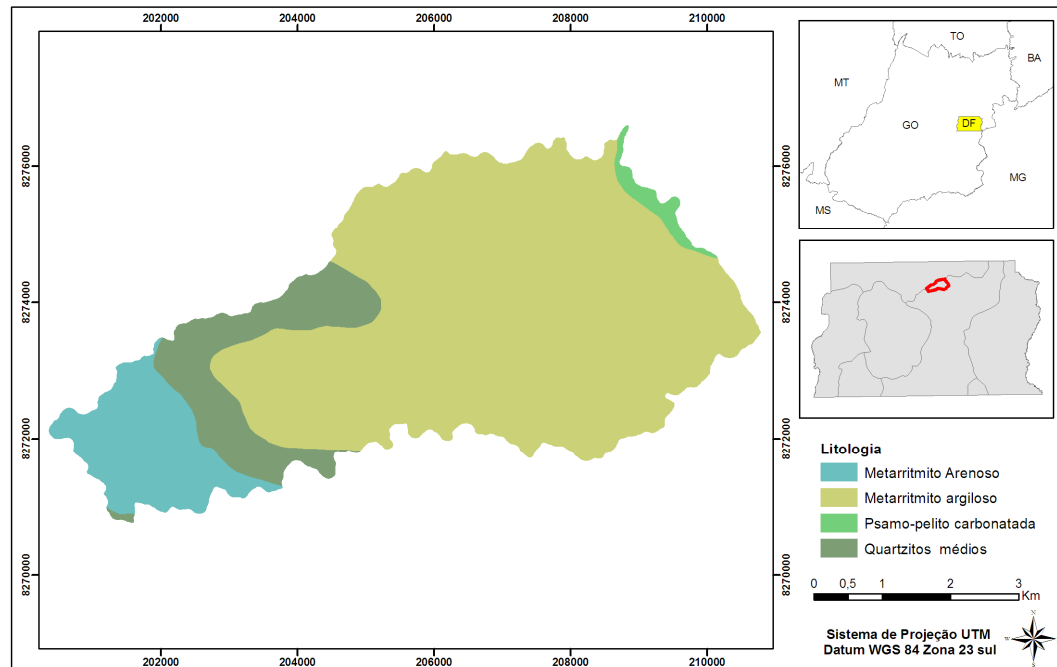


Figura 7 - Litologias da bacia do Sarandi. Fonte Adaptado de Campos &Freitas Silva(1989).

Em relação à Geomorfologia, a bacia do Sarandi está dividida em quatro compartimentos, correspondendo: 37,76 % Chapadas, 11,70% Frentes de Recuo Erosivo, 40,94% Rampas de Colúvio, e a 9,59% referente à Zona Hidromórfica, (Figura 8). As chapadas, posicionadas na superfície Sul Americana, são caracterizadas por relevo plano a suave - ondulado, com cotas altimétricas variando entre 1100 a 1250 metros. As chapadas estão associadas a solos profundos e muito desenvolvidos, como os Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo.

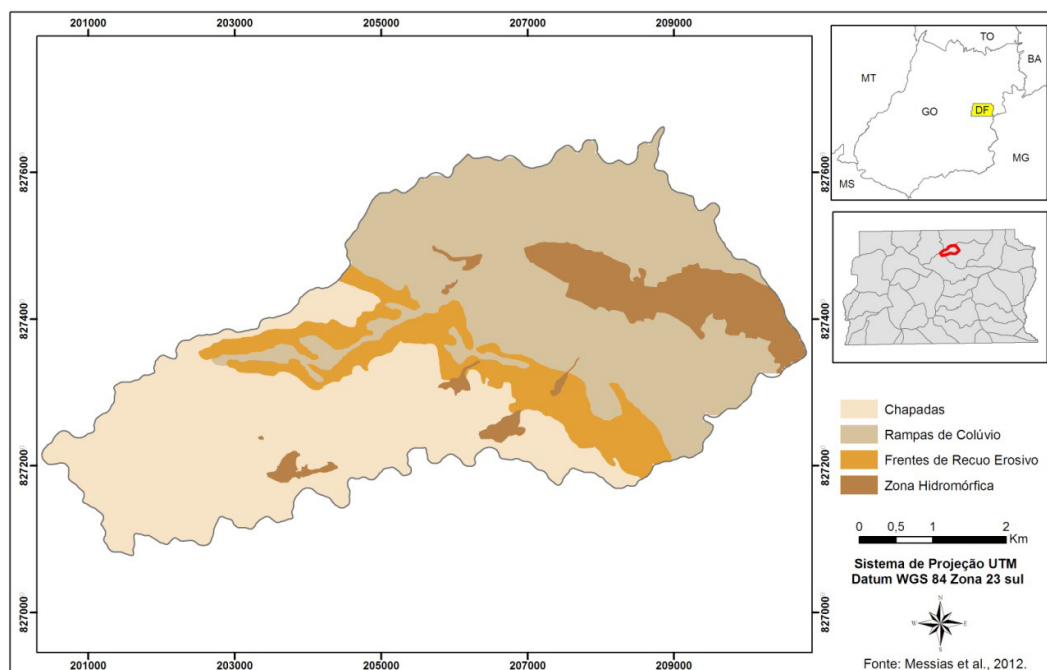


Figura 8 - Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Sarandi. Fonte: Adaptado de Messias *et al.* (2013).

As frentes de recuo erosivo constituem o limiar entre chapada e rampas de colúvio. Apresentam relevo acidentado, e escarpado em alguns pontos, acentuando a quebra de relevo entre a superfície Sul Americana e a Superfície Velhas. Esse compartimento é constituído por solos rasos, como Cambissolos e Plintossolos Pétricos.

As rampas de colúvio estão posicionadas na parte mais baixa da bacia, correspondendo à Superfície Velhas. A altitude desse compartimento varia entre 900 e 1000 metros. As rampas também são caracterizadas pelo relevo plano a suave - ondulado e com predominância de Latossolos Vermelhos até próximo ao leito do Rio Sarandi, onde predominam os solos hidromórficos do tipo Gleissolo.

3.2.1.3. Uso e Ocupação

A bacia do Sarandi é composta por áreas naturais e antrópicas. Em geral, na chapada predomina a agricultura de sequeiro; nas rampas de colúvio é desenvolvida agricultura irrigada; e as frentes de recuo são a porção mais preservada da bacia, abrangida pela reserva da Embrapa Cerrados (Figura 9).

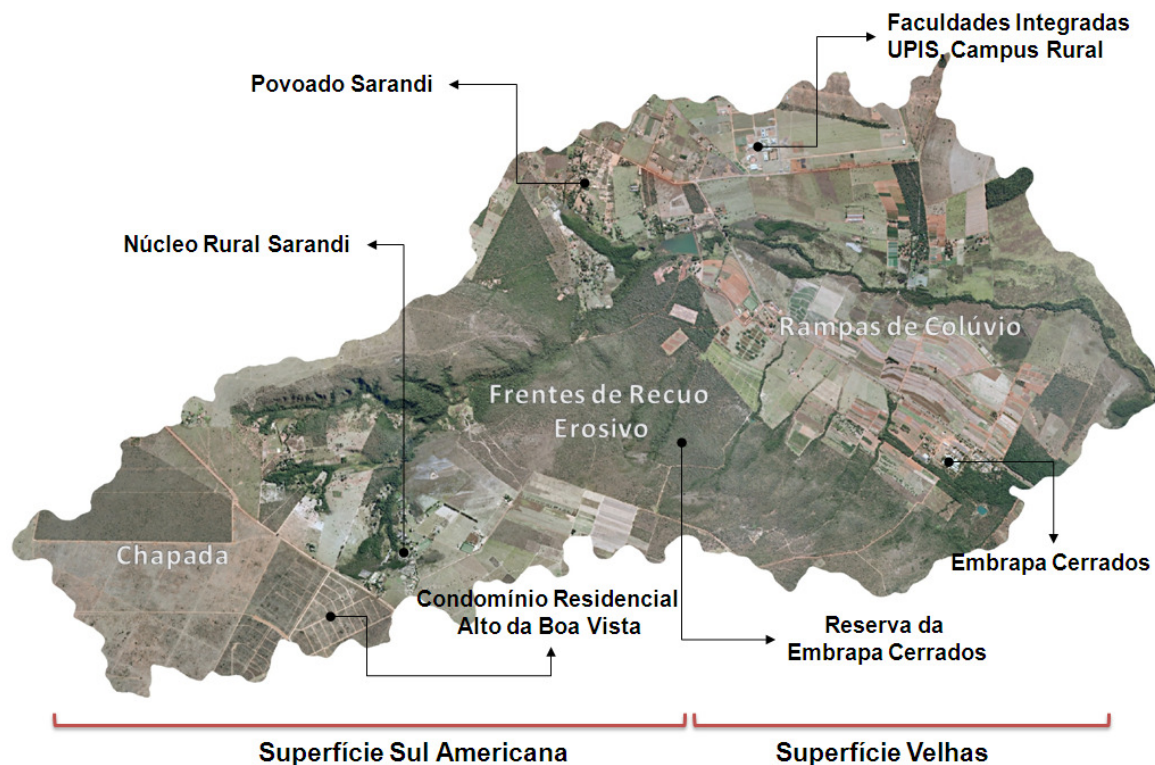


Figura 9 - Esquema representativo do uso do solo na bacia do Sarandi.

3.2.2. Metodologia

A seguir serão apresentados os procedimentos empregados para a elaboração do mapa de solos por metodologia semi-automática da bacia do Sarandi.

3.2.2.1. Levantamento de dados bibliográficos e planejamento do trabalho de campo

Na primeira etapa, foi realizado um levantamento bibliográfico de dados pedológicos da área de estudo, principalmente perfis de solo. Encontrou-se 13 perfis de solo espacializados na área da bacia, os quais constituíram a base para o planejamento dos trabalhos de campo.

Na fase do planejamento de campo foram alocados 50 pontos de coleta distribuídos de acordo com a compartimentação geomorfológica da bacia (Messias *et al.*, 2013). A esses pontos foi atribuída uma nomenclatura seqüencial, precedida da sigla SA (Sarandi).

3.2.2.2. Coleta e preparo das amostras

As coletas de amostras foram realizadas de acordo com a metodologia preconizada no Manual de Coleta e Descrição de Solos no Campo (Santos *et al.* 2005). Foram coletadas

amostras deformadas utilizando-se um trado holandês, em cinco profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm) por ponto.

Ainda em campo, foram realizadas análises descritivas da paisagem e do solo (Santos *et al.*, 2005), e leitura de cor pela caderneta de Munsell®. Os solos foram classificados preliminarmente por meio das características observadas em campo, até o segundo nível de classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2009).

Após a coleta, as amostras foram armazenadas, e preparadas para a caracterização química e física em TFSA (terra fina seca ao ar) (Embrapa, 1997). Após a secagem, foi utilizada uma peneira de 2mm para separar o calhaus da terra fina, que foi encaminhada aos laboratórios para análises químicas e físicas.

3.2.2.3. Análises químicas e físicas

As análises químicas foram realizadas de acordo com as recomendações do Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes (Silva, 2009). Foram caracterizados os seguintes elementos: pH em água, pH em CaCl, matéria orgânica, carbono, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, cálcio + magnésio, alumínio, acidez titulável (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por alumínio (m), e saturação por bases (V). A análise textural foi realizada de acordo com Embrapa (1997).

2.2.2.4. Classificação

A partir dos resultados das análises químicas, físicas e informações de campo foi elaborada uma tabela para a classificação definitiva do solo, de acordo com a chave de classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2009). Os solos foram classificados até o terceiro nível categórico, ordem, subordem e grande grupo.

3.3. Resultados e Discussões

3.3.1. Levantamento de dados

Foram obtidos três conjuntos de dados: Perfis, Sarandi Fase I e Pontos de Observação (Tabela 1).

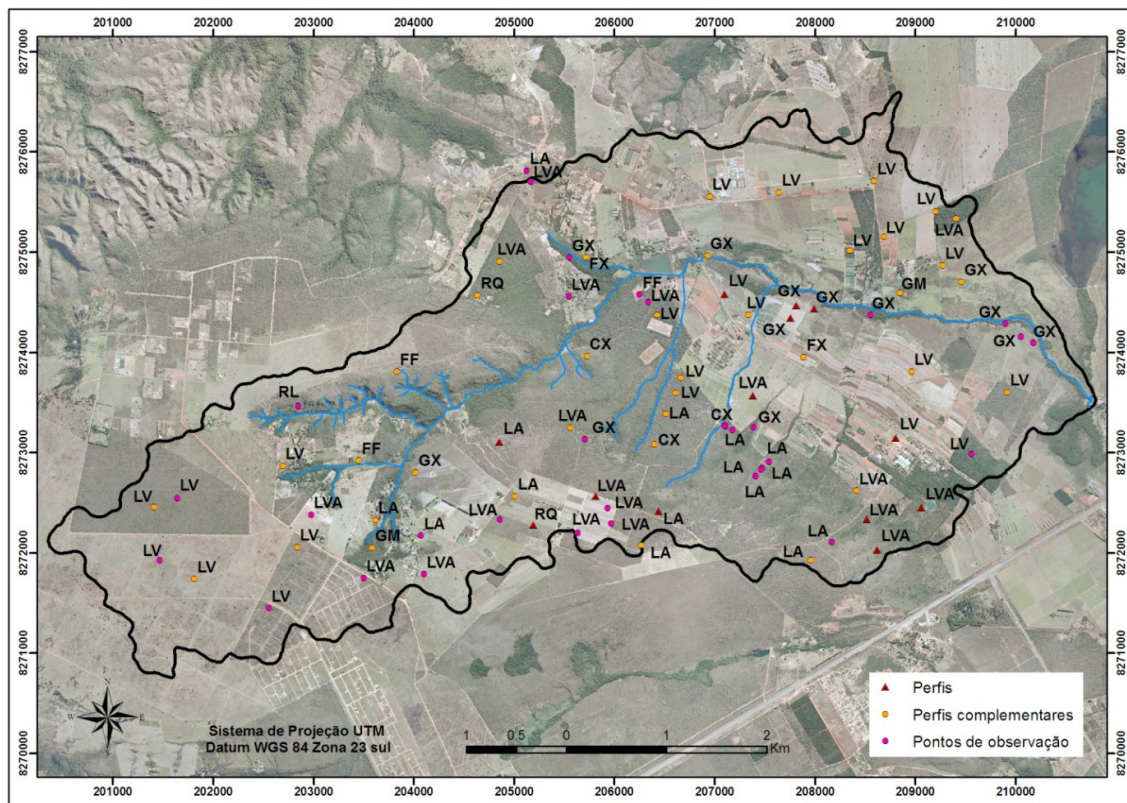
Tabela 1- Conjuntos de dados de solos obtidos na Bacia do Sarandi

Conjunto	Fonte	Tipo de Dados	Número de	Número de
----------	-------	---------------	-----------	-----------

Amostragem		perfis/pontos	Amostras	
Perfis	Levantamento Semidetalhado dos Solos de Áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal - Boletim Técnico nº 8 (Brasil 1967)	Descrição morfológica, física e química de perfis	6	33
	Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal – Boletim 53 (Brasil 1978)	Descrição morfológica, física e química de perfis	5	26
	Nature et propriétés de l'horizon diagnostic de Latosols du Plateau Central brésilien (Reatto, 2009)	Descrição morfológica, física e química de perfis	2	11
Sarandi Fase I	Trabalho de campo	Caracterização física e química de perfis complementares	38	180
Pontos de Observação	Visitas em campo	Reconhecimento de solo em campo.	33	—

O primeiro conjunto de dados, denominado “Perfis” é constituído por 13 perfis de solo levantados em bibliografia. O segundo conjunto de dados, denominado Sarandi Fase I, foi obtido por meio de coleta de amostras em campo, denominadas perfis complementares. Para a aquisição desses dados, a área da bacia foi percorrida com auxílio do mosaico de fotografias aéreas do Distrito Federal (SICAD, 2009) e de um GPS. Entre os 50 pontos de coleta definidos no planejamento do campo Sarandi Fase I, alguns foram realocados, substituídos ou definidos como “ponto de observação”. Ao todo, foram visitados 38 pontos de coleta, totalizando 180 amostras de solo. O terceiro conjunto de dados, constituído por 33 pontos de observação, foi construído por meio de visitas de campo, onde foram realizadas tradagens para reconhecimento da classe de solo, no entanto, sem a coleta de amostras.

O conjunto de dados geral apresentou uma boa distribuição, abrangendo praticamente toda a área da bacia. A distribuição dos pontos coletados está representada na Figura 10. No Anexo I (Tabela 2) será apresentada a descrição dos conjuntos de dados de solos da bacia do Sarandi.



3.3.2. Descrição dos solos

A seguir serão descritos os solos caracterizados na Bacia do Sarandi.

3.3.2.1. Latossolos

Latossolos são solos altamente intemperizados, resultantes da remoção de sílica e bases trocáveis do perfil. São solos constituídos por minerais secundários na fração argila e encontrados na forma de silicatos, como a caulinita, e na forma de óxidos, hidróxidos e oxiidróxidos de Fe e Al, como a hematita, a goethita e a gibbsita (Reatto *et al.*, 2000).

Em geral, são muito profundos, variam de fortemente a bem drenados, apresentam pouca diferenciação de horizontes e cores vivas, entre vermelho e amarelo (2,5 YR a 10 YR). Quimicamente, de forma geral, são solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos e baixa capacidade de troca de cátions (Oliveira, 2008; Embrapa, 2009).

Segundo Embrapa (2009), os Latossolos são típicos de regiões equatoriais e tropicais, distribuídos por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos e terraços fluviais antigos,

normalmente em relevo plano e suave - ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas.

A bacia do Sarandi é em sua maior parte composta por Latossolos, que ocorrem em áreas de baixa declividade, com relevos planos e suave-ondulados. Na área da bacia foram identificados os seguintes tipos de Latossolos: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo.

3.3.2.1.1. Latossolo Vermelho (LV)

Os Latossolos Vermelhos abrangem a maior parte da bacia do Sarandi. São solos de cor avermelhada, com matiz 2.5 YR, variando de textura média a muito argilosa, e com declividade inferior a 8%. Na Bacia do Sarandi foram identificados dois tipos de Latossolos Vermelhos. O primeiro está posicionado na parte mais elevada da bacia, nas chapadas, e correspondente à Superfície Sul Americana, com altitudes entre 1180 e 1250 metros. O segundo tipo de Latossolo Vermelho está posicionado nas rampas de colúvio correspondentes à Superfície Velhas, variando entre 1000 e 900 metros de altitude.

Os Latossolos Vermelhos na Bacia do Sarandi são distróficos, com pH em água variando em torno de 5, teor de matéria orgânica entre 0,66 a 3,68%, capacidade de troca de cátions variando entre 2,43 a 9,38 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases entre 0,3 a 53%, saturação por alumínio entre 0 a 98%, e atividade de argila baixa, entre 2 a 29 cmol_c/kg argila. O teor de argila varia entre 36% a 77%, (Tabela 1, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte diagnóstico Bw_1 , na profundidade entre 60 a 80 cm, os LVs apresentaram em valores médios: 63% de teor de argila; 3,72 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 1,26% de matéria orgânica; 25,83% de saturação por alumínio; 11,43% de saturação por bases e 6,42 cmol_c/kg argila de atividade de argila, (Tabela 3, Anexo II) e (Figura 11).



Figura 11 - Perfil de Latossolo Vermelho exposto em barranco e áreas de ocorrência de Latossolo Vermelho na bacia do Sarandi com vegetação Cerrado Sentido Restrito, sob cultura de soja e cultura de milho, respectivamente.

3.3.2.1.2. Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA)

São os Latossolos que apresentam matiz 5 YR, valores entre 3 a 5, e cromas entre 4 e 8. Ocorrem em áreas de relevo plano e suave ondulado na chapada e nas rampas de colúvio. No que se refere às características físicas apresentam textura média ou argilosa, com teores de argila entre 23 a 60%. Quanto aos aspectos químicos, apresentam pH em água em torno de 5, matéria orgânica entre 0,75 a 3,19%, capacidade de troca de cátions entre 2,93 a 4,96 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, saturação por bases entre 0,2 a 39%, saturação por alumínio entre 0 a 89%, e atividade de argila baixa, entre 5 a 28% (Tabela 2, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte diagnóstico Bw_1 , na profundidade entre 60 a 80 cm, os LVAs apresentaram em valores médios: 42% de teor de argila; 7,20 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ de CTC; 2,74% de matéria orgânica; 44% de saturação por alumínio; 32,82% de saturação por bases e 26,85 cmol_c/kg argila de atividade de argila (Tabela 4, Anexo II), (Figura 12).



Figura 12 - Áreas de ocorrência de Latossolo Vermelho Amarelo com vegetação campo limpo e cerrado sentido restrito.

3.3.2.1.3. Latossolo Amarelo (LA)

Os Latossolos Amarelos apresentam coloração amarelada, com matiz 7,5 YR ou mais amarelo. Na Bacia do Sarandi, entre os Latossolos, são os que apresentam declividade mais acentuada, posicionados entre os Latossolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos, em terrenos suave ondulados a ondulados (3 a 20% de declividade).

Apresentam textura média a muito argilosa, com teores de argila entre 15 a 61%. Quimicamente, apresentam pH em água em torno de 5, matéria orgânica entre 0,66 a 3,10%, capacidade de troca de cátions entre 1,99 a 8,58 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases entre 0,3 a 57%, saturação por alumínio entre 0 a 87%, e atividade de argila baixa, entre 4 a 27 cmol_c/kg argila. (Tabela 3, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte diagnóstico Bw_1 , na profundidade entre 60 a 80 cm, os LAs apresentaram em valores médios: 44% de teor de argila; 3,12 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 0,98% de matéria orgânica; 21,03% de saturação por alumínio; 13,01% de saturação por bases e 7,28 cmol_c/kg argila de atividade de argila (Tabela 5, Anexo II), (Figura 13)



Figura 13 - Áreas de ocorrência de Latossolo Amarelo.

3.3.2.2. Cambissolos

São solos que apresentam horizonte subsuperficial submetido a pouca alteração física e química, porém, normalmente suficiente para o desenvolvimento de cor e estrutura. Geralmente, apresentam minerais primários facilmente intemperizáveis e teores mais elevados de silte, indicando baixo grau de intemperização (Reatto *et al.*, 2000)

As características desse solo variam muito de um local para o outro, assim, a classe comporta solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho escuro, e de alta a baixa saturação por bases. Geralmente apresentam textura franco-arenosa ou mais argilosa, e teores uniformes de argila entre os horizontes (Oliveira, 2008; Embrapa, 2009). Na bacia do Sarandi, os Cambissolos ocupam a porção de relevo mais movimentado. O Cambissolo Háplico foi a única classe de Cambissolo caracterizado na bacia.

3.3.2.2.1. Cambissolo Háplico (CX)

Na bacia do Sarandi, os Cambissolos Háplicos estão localizados em relevos ondulados e forte ondulados, com declividade entre 8 e 30%, sendo solos muito rasos. Em relação às características físicas, apresentam coloração forte, com matiz variando entre 7,5 e 10 YR,

textura média a argilosa, com teores de argila entre 36 a 41%. No que se refere às características químicas, os Cambissolos Háplicos apresentam teores de matéria orgânica entre 2,36 a 2,50%, capacidade de troca de cátions entre 6,7 e 7,11 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, saturação por bases entre 3 e 7%, saturação por alumínio entre 72 e 86%, e atividade de argila baixa, entre 17 e 22 cmol_c/kg argila(Tabela 6, Anexo II), (Figura 14).



Figura 14- Detalhes na paisagem da bacia do Sarandi de Cambissolo Háplico.

3.3.2.3. Plintossolos

São solos minerais formados sob condições de restrição à percolação de água, sujeitos ao efeito temporário do excesso de umidade. De maneira geral, são imperfeitamente ou mal drenados, e se caracterizam fundamentalmente por apresentarem expressiva plintitização com ou sem petroplintita. A coloração pode ser bastante variável, predominando as cores pálidas, normalmente com mosqueados alaranjados a avermelhados, e os plintossolos bem drenados apresentam as cores avermelhadas na maior parte do perfil. Quimicamente, são solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases e atividade de argila(Embrapa, 2009).

Parte dos solos dessa classe tem ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e menos freqüentemente ondulado, em zonas geomórficas de depressão. Outra parte desses solos apresenta melhor drenagem e ocupa

posições mais elevadas. Encontram-se normalmente em bordas de platôs e áreas ligeiramente dissecadas de chapadas e chapadões das regiões central e norte do Brasil (Embrapa, 2009). Na bacia do Sarandi os Plintossolos Pétricos estão situados predominantemente nas frentes de recuo erosivo, precisamente nas bordas das Chapadas da Superfície Sul Americana. Os Plintossolos Hápticos estão situados predominantemente nas rampas de colúvio em áreas hidromórficas associadas aos Gleissolos.

3.3.2.3.1. Plintossolo Pétrico (FF)

Os Plintossolos Pétricos são bem drenados e encontram-se nas bordas da chapada e em áreas de ruptura de relevo na bacia do Sarandi, e estão relacionados às coberturas lateríticas formadas pela oscilação da umidade, que ocasionaram a formação de horizonte concrecionário, com presença de petroplintita.

Esses solos apresentam textura média a arenosa, com teores de argila entre 9 a 27%, coloração avermelhada, matizes 2,5 a 5 YR e presença de petroplintita em todos os horizontes. O teor de matéria orgânica varia entre 0,72 a 2,37%, a capacidade de troca de cátions entre 1,92 a 4,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, saturação por bases entre 4 a 41%, saturação por alumínio entre 0 a 58% e atividade de argila entre 7 a 32 cmol_c/kg argila (Tabela 7, Anexo II),(Figura 15).



Figura 15 - Perfil de Plintossolo Pétrico exposto em barranco e áreas de ocorrência de Plintossolo Pétrico na bacia do Sarandi.

3.3.2.3.2. Plintossolo Háplico (FX)

São solos minerais hidromórficos com séria restrição à percolação de água, encontrados em situações de alagamento temporário e escoamento lento. Na bacia do Sarandi estão posicionados em relevos suave ondulado. Para essa classe foi caracterizado apenas um ponto amostral devido à dificuldade de acesso.

Os Plintossolos Háplicos apresentam textura argilosa, com teor de argila médio de 50% ao longo do perfil, cor avermelhada (matiz 5 YR) e plintita amarelada (7.5 YR). Quimicamente, apresentam matéria orgânica em torno de 1,9%, capacidade de troca de cátions em média de $4,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases em torno de 25% e atividade de argila por volta de $8 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ argila (Tabela 6, Anexo II), (Figura 16).



Figura 16 - Área de ocorrência de Plintossolo Háplico na bacia do Sarandi e detalhe de plintita no horizonte diagnóstico.

3.3.2.4. Neossolos

São solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido a baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem, ou por influência dos demais fatores de formação do solo (Oliveira, 2008; Embrapa, 2009). Na bacia do Sarandi, os Neossolos são representados pelos Neossolos Quartzarênicos estão localizados na bacia sobre quartzito e na Superfície Sul Americana.

3.3.2.4.1. Neossolo Quartzarênico (RQ)

Geralmente são solos profundos (cerca de 2m), apresentando textura arenosa ou franco-arenosa, constituídos essencialmente de quartzo, com no máximo 15% de argila e seqüência de horizontes do tipo A-C (Reatto *et al.*, 2008). Na bacia do Sarandi, estão relacionados a sedimentos arenosos e alterações de rochas quartzíticas, normalmente em relevo plano ou suave ondulado.

Os Neossolos Quartzarênicos da Bacia do Sarandi apresentam teor médio de areia de 85% e matiz 5 YR. Quimicamente, apresentam matéria orgânica em torno de 1,45%, capacidade de troca de cátions em média de $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases em torno de 2% e saturação por alumínio por volta de 90% (Tabela 7, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte diagnóstico C₁, na profundidade entre 60 a 80 cm, os RQs apresentaram em valores: 87% de teor de areia; $4,38 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 1,03% de matéria orgânica; 95,05% de saturação por alumínio; 1,37% de saturação por bases e 39,81% de atividade de argila (Tabela 9, Anexo II), (Figura 17).



Figura 17 - Área de ocorrência de Neossolo Quartzarênico na bacia do Sarandi.

3.3.2.5. Gleissolos

São solos hidromórficos, que ocupam, geralmente, as depressões da paisagem, e encontram-se permanentemente ou periodicamente saturados por água. Variam entre imperfeitamente drenados a muito mal drenados. Caracterizam-se pela forte gleização, em decorrência do ambiente redutor, livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica. O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila (Reatto, 2000; Oliveira, 2008; Embrapa, 2009).

Na bacia do Sarandi os Gleissolos foram caracterizados em Gleissolo Melânicos e Gleissolos Hápticos, associados à relevos planos, com declividade abaixo de 3%.

3.3.2.5.1. Gleissolo Melânico (GM)

Caracteriza-se pela presença de horizonte A proeminente. Apresentam na bacia textura argilosa e muito argilosa, teores de argilosa entre 38 a 70% e cores de matiz 7,5 YR e cromas entre 0 e 2. Quimicamente, os Gleissolos Melânicos apresentam teores altos de matéria orgânica no horizonte A, capacidade de troca de cátions entre 8,13 a 13,76 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases entre 3 a 15%, saturação por alumínio entre 38 a 84% e atividade de argila entre 11 e 28 cmol_c/kg argila (Tabela 8, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte A proeminente, os GM's apresentam valores elevados de matéria orgânica, variando entre 4,8 e 6,7%, carbono orgânico entre 27,8 a 39,33 g/dm^3 , CTC entre 9,9 e 13,7 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases entre 3,6 e 15,77% e saturação por alumínio entre 38,5 e 82,8% (Tabela 10, Anexo II), (Figura 18).



Figura 18 - Áreas de ocorrência de Gleissolo Melânico na bacia do Sarandi e amostra do horizonte diagnóstico Cg com mosqueados amarelados.

3.3.2.5.2. Gleissolo Háptico (GX)

Os Gleissolos Hápticos, diferentemente dos Melânicos, apresentam horizonte A moderado. São solos de textura argilosa, teor de argila varia entre 20 e 66% e matiz de cor entre 7,5 a 10 YR. Quimicamente, apresentam teores de matéria orgânica entre 0,92 e 2,93%, capacidade de troca de cátions entre 2,76 a 9,40 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, saturação por bases entre 0,4 a 10%, saturação por alumínio entre 0 a 96% e atividade de argila entre 4 e 28 cmol_c/kg argila (Tabela 9, Anexo II).

Considerando apenas o horizonte diagnóstico Cg_1 , na profundidade entre 60 a 80cm, os GXs apresentam valores de: 45% de teor de argila; 4,33 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de CTC; 1,31% de matéria orgânica; 48,02% de saturação por alumínio; 5,83% de saturação por bases e 13,28 cmol_c/kg argila de atividade de argila (Tabela 11, Anexo II), (Figura 19).



Figura 19 - Áreas de ocorrência de Gleissolo Háplico na bacia do Sarandi.

3.4. Considerações Finais

Na bacia do Sarandi foram identificadas nove classes de solo correspondendo: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA), Latossolo Amarelo (LA), Cambissolo Háplico (CX), Neossolo Quartzarênico (RQ), Plintossolo Pétrico (FF), Plintossolo Háplico (FX), Gleissolo Melânico (GM) e Gleissolo Háplico (GX).

A organização dessas classes de solos na bacia do Sarandi pode ser visualizada na Figura 20, que representa esquematicamente o padrão de distribuição dos solos ao longo de um perfil topográfico nessa bacia.

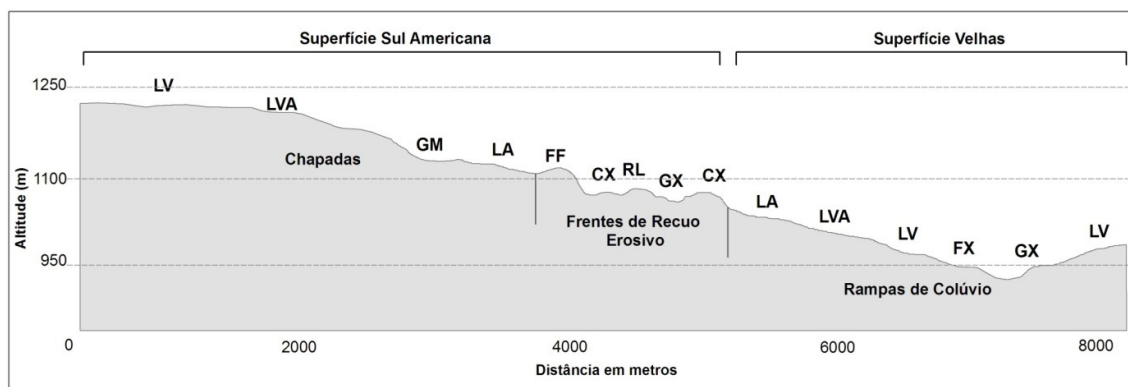


Figura 20 - Perfil de uma topossequência do padrão de organização dos solos na bacia do Sarandi.

Legenda: Latossolo Vermelho – LV, Latossolo Vermelho Amarelo – LVA, Gleissolo Melânico – GM, Latossolo Amarelo – LA, Plintossolo Pétrico – FF, Cambissolo Háplico – CX, Neossolo Litólico – RL, Gleissolo Háplico – GX, Cambissolo Háplico – CX, Latossolo Amarelo – LA, Latossolo Vermelho Amarelo – LVA, Latossolo Vermelho – LV, Plintossolo Háplico – FX, Gleissolo Háplico – GX e Latossolo Vermelho – LV.

Os Latossolos Vermelhos ocupam os topos da chapada, seguidos pelos Latossolos Vermelho Amarelo. Ainda nas chapadas ocorrem pequenas manchas de Gleissolos Melânicos, caracterizando as zonas hidromórficas com vegetação campo úmido e vereda associados aos impedimentos de drenagem devido às couraças lateríticas presentes nas frentes de recuo erosivo. Os Latossolos Amarelos ocorrem nos limiares entre chapadas e frentes de recuo, em áreas de declividade mais alta. Nas áreas de frente de recuo erosivo, de alta declividade são encontrados Cambissolos Háplicos associados à Plintossolos Pétricos (nas bordas). Na ruptura do relevo entre a Superfície Velhas e Sul Americana ocorrem Neossolos Litólicos associados à Plintossolos Pétricos. As rampas de colúvio são compostas por Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Vermelhos e por uma zona hidromórfica, constituída por Plintossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos.

Referências

- ARRUDA, M. B. 2008. Ecorregiões, unidades de conservação e representatividade ecológica do bioma Cerrado. In: SANO, M. S.; ALMEIDA, S. M.; RIBEIRO, J. F. (eds.). Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados, Planaltina, p. 230-272.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisas e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. 1967. Levantamento semidetalhado dos solos de áreas do Ministério da Agricultura no Distrito Federal. Rio de Janeiro. Boletim Técnico 8, 127 p.
- CAMPOS, J.E.G.; FREITAS-SILVA, F.H. 1999. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRH, p
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 1978. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, Boletim Técnico 53, 455 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. 1997. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2009. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412p.
- FEUER R. 1956. Na exploratory investigation of soils and agricultural potential of the soils of the future Federal District in the Cerrado Plateau of Brazil. Ph. D. diss. Cornell Univ. Ithaca , New York, 16(3)1307.
- FONSECA C. P., GOMES A.C.C., FIGUEIREDO G.M.L., JOVELI J.C., SOARES L.C., TOLEDO S.P. 2010. Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. Ambiente & Água, 5:43-56.
- KING L.C. 1956. Geomorfologia do Brasil Central. Rev. Bras.Geografia, v. 18, 2: 147- 265.
- MACEDO J. 1986. Morphology, mineralogy, and genesis of hydrosequence of oxisols in Brazil. Tese de Mestrado, Faculty of the Graduate School, Cornell University, 73 p.
- MACEDO J., BRYANT R. B. 1987. Morphology, mineralogy and genesis of a hydrosequence of oxisols in Brazil. Soil Science Society of America Journal, 51: 690-698.
- MESSIAS A., REATTO A., COUTO Jr A. F., MARTINS E. S., SOUZA J. P. S., PRADO M. (em preparação) 2013. Caracterização geomorfológica da bacia do Sarandi, escala 1:30.000. (submetido para publicação). Brasília, Boletim de Pesquisa (Aceito ainda sem data de publicação).
- MOTTA P.M.F., FILHO C.A., KER J.C., PEREIRA N.R., CARVALHO JUNIOR W., BLANCANEUX P. 2002. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 37: 869-878.
- OLIVEIRA, J.B. 2008. Pedologia Aplicada. FEALQ, Piracicaba, 592 p.
- REATTO A. 2009. Nature et propriétés de l'horizon diagnostic de Latosols du Plateau Central brésilien. Tese de Doutorado, École Doctorale Sciences et Technologies, Université D'Orléans, 212 p.
- REATTO A., CORREIA J.R.; SPERA S.T.; CHAGAS C.S.; MARTINS E.S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY M.J.S.; ASSAD M.L.C.L. 2000. Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Rio Jardim-DF, escala 1:50.000. Boletim de Pesquisa nº 18, 63 p.

- REATTO A, CORREIA J. R., SPERA S. T., MARTINS E. S. 2008. Solos do Bioma Cerrado: Aspectos pedológicos. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. & Ribeiro, J. F. (Eds.). Cerrado: Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, p. 107 – 149.
- RIBEIRO J. F., WALTER B. M. T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO M. S., ALMEIDA S. M., RIBEIRO J. F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados, Planaltina, p. 152-212.
- SANO E.E., ROSA R., BRITO J.L.S., FERREIRA L.G. 2010. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166: 113–124.
- SANTOS R.D., LEMOS R.C., SANTOS H.G., KER J.C., ANJOS L.H.C. 2005. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 100p.
- SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. 2002. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *Bioscience*, 52: 225-233.
- SILVA J.F., FARIÑAS M.R., FELSILI J.M., KLINK C.A. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*, 33: 536-548.
- SILVA, F. C. (2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 624 p.

Anexo I

Tabela 2 - Perfis, perfis complementares e pontos de observação caracterizados na bacia do Sarandi.

Conjuntos de Dados	Tipo	Nome	Coordenadas UTM		Altitude	Classificação	Classificação do Solo			
			WGS 84, zona 23			Textural	Ordem	Subordem	Grande Grupo	Horizonte A
Perfis	P	L3	204863	8273125	1207	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	L4	206451	8272438	1161	Média	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	03	207391	8273589	940	Argilosa	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	04	209074	8272472	990	Argilosa	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	08	205201	8272299	1040	Arenosa	Neossolo	Quartzarênico	Órtico	Moderado
Perfis	P	11	208006	8274458	910	Argilosa	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Perfis	P	13	207826	8274486	910	Argilosa	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Perfis	P	14	207768	8274362	820	Argilosa	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Perfis	P	P31	208819	8273169	950	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Perfis	P	P1	208632	8272051	1030	Argilosa	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	P33	208528	8272354	1040	Média	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	P26	205824	8272584	1200	Argilosa	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Perfis	P	PC 55	207109	8274600	1010	Média	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA03	205017	8272587	1098	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA04	206411	8273107	1102	Argilosa	Cambissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA05	206525	8273408	1054	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA06	206620	8273619	1044	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA07	206671	8273767	1048	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA08	207895	8273973	901	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Eutrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA09	208860	8274614	968	Argilosa	Gleissolo	Melânico	Tb Distrófico	Proeminente
Sarandi Fase I	PC	SA11	209286	8274888	977	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA12	209420	8275355	1007	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA13	209215	8275431	1001	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado

Sarandi Fase I	PC	SA14	208700	8275176	993	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA15	208603	8275731	1012	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA17	207651	8275618	1000	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA19	206940	8274985	994	Média	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA20	205737	8273984	1028	Média	Cambissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA21	205729	8274973	1012	Argilosa	Plintossolo	Háplico	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA22	206959	8275578	1007	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA23	204864	8274930	1051	Média	Latossolo	Vermelho Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA24	204645	8274593	1073	Arenosa	Neossolo	Quartzarênico	Órtico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA26	205824	8272584	1165	Arenosa	Plintossolo	Pétrico	Concrecionário	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA27	201421	8272479	1222	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA28	201821	8271761	1228	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA29	203627	8272349	1173	Argilosa	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA30	202846	8272075	1200	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA32	203595	8272071	1190	Muito argilosa	Gleissolo	Melânico	Tb Distrófico	Proeminente
Sarandi Fase I	PC	SA33	203458	8272939	1148	Média	Plintossolo	Pétrico	Concrecionário	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA34	202703	8272888	1179	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA36	204027	8272822	1130	Média	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA37	205573	8273271	1147	Média	Latossolo	Vermelho-Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA38	209472	8274727	974	Muito argilosa	Gleissolo	Háplico	Tb Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA39	208975	8273830	981	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA43	208424	8272640	1040	Média	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA44	206436	8274395	1027	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA45	207348	8274292	1005	Argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA46	208359	8275036	1011	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA47	209928	8273624	946	Muito argilosa	Latossolo	Vermelho	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA48	206277	8272099	1174	Arenosa	Plintossolo	Háplico	Distrófico	Moderado
Sarandi Fase I	PC	SA49	207967	8271946	1115	Média	Latossolo	Amarelo	Distrófico	Moderado

Pontos de Observação	PO	SA01	202917	8271269	1223	Argilosa	Latossolo	Vermelho	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	SA31	204068	8272162	1200	Argilosa	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	01	202985	8272403	1187	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	02	205175	8275728	1038	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	03	205137	8275836	1026	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	04	205557	8274580	1019	Média	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	05	305453	8274853	1026	Média	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	06	206263	8274602	1028	Média	Plintossolo	Pétrico	Concrecionário	Moderado
Pontos de Observação	PO	07	206350	8274525	1014	Média	Plintossolo	Pétrico	Concrecionário	Moderado
Pontos de Observação	PO	08	208178	8272129	1078	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	09	207550	8272928	1060	Média	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	10	207487	8272868	1072	Média	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	11	207473	8272851	1075	Média	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	12	207419	8272788	1082	Argilosa	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	13	207186	8273251	1057	Média	Latossolo	Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	14	207123	8273284	1056	Média	Cambissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	15	207109	8273290	1058	Média	Cambissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	16	208562	8274393	974	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	17	205718	8273155	1147	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	18	205560	8274969	1018	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	19	207399	8273276	1037	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	20	204113	8271807	1194	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	21	204868	8272356	1181	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	22	203512	8271770	1201	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	23	201649	8272566	1215	Argilosa	Latossolo	Vermelho	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	24	201475	8271948	1233	Argilosa	Latossolo	Vermelho	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	25	205647	8272218	1178	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	26	205943	8272468	1171	Média	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado

Pontos de Observação	PO	27	205981	8272314	1172	Argilosa	Latossolo	Vermelho Amarelo	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	28	209574	8273007	998	Argilosa	Latossolo	Vermelho	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	29	209913	8274308	968	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	30	210191	8274118	960	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	31	210064	8274182	960	Argilosa	Gleissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	32	204443	8273236	1120	Argilosa	Cambissolo	Háplico	–	Moderado
Pontos de Observação	PO	33	206014	8273786	1081	Argilosa	Cambissolo	Háplico	–	Moderado

P = Perfis; PC = Perfis complementares; PO = Pontos de observação.

Anexo II

Tabela 3 - Caracterização física e química dos Latossolos Vermelhos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO	C g dm ³	Pmg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m	V	Atividade de Argila
		%	%	%	%	%				%			-----Cmol, dm ³ -----						%	%	
0-20	média	56	13	6	24	0,25	5,29	4,66	-0,62	2,74	15,90	8,44	1,56	0,10	5,53	1,65	2,16	7,18	34,79	24,79	13,37
	mínimo	38	0	2	13	0,00	4,59	4,05	-0,91	2,07	12,00	0,14	0,07	0,02	2,07	0,09	0,41	4,88	0,00	1,74	6,98
	máximo	72	28	18	37	0,54	6,26	5,56	-0,08	3,68	21,33	83,03	4,13	0,36	11,50	4,18	4,18	11,75	89,22	66,92	26,09
20-40	média	59	13	6	22	0,22	5,38	4,70	-0,68	2,06	11,95	1,39	0,94	0,06	4,30	1,01	1,33	5,31	28,11	18,92	9,63
	mínimo	36	4	2	11	0,08	4,72	4,15	-1,04	1,26	7,33	0,06	0,04	0,00	2,27	0,05	0,05	3,07	0,00	1,31	4,30
	máximo	74	21	17	38	0,38	6,16	5,49	-0,36	2,99	17,33	5,23	3,15	0,23	7,87	3,20	3,20	9,21	91,73	53,59	25,58
40-60	média	61	13	5	21	0,21	5,41	4,86	-0,54	1,52	8,84	0,77	0,55	0,04	3,73	0,59	0,80	4,33	25,57	13,50	7,64
	mínimo	40	5	2	10	0,10	4,81	4,18	-1,07	1,01	5,83	0,06	0,02	0,00	2,32	0,02	0,05	2,42	0,00	0,31	3,41
	máximo	77	23	17	38	0,41	6,37	5,60	-0,08	2,04	11,83	3,49	2,32	0,23	8,65	2,37	2,37	9,38	97,74	50,53	23,46
60-80	média	63	11	5	22	0,17	5,39	4,96	-0,43	1,26	7,33	0,60	0,38	0,03	3,31	0,41	0,58	3,72	25,83	11,43	6,41
	mínimo	41	0	0	11	0,00	4,83	4,17	-0,95	0,80	4,67	0,06	0,02	0,00	1,96	0,02	0,06	2,43	0,00	0,49	3,42
	máximo	75	19	16	35	0,32	6,13	5,60	0,07	1,81	10,50	3,10	1,13	0,20	7,31	1,17	1,92	7,69	94,66	29,22	18,76
80-100	média	63	11	5	21	0,18	5,42	5,12	-0,30	1,11	6,41	0,69	0,28	0,03	3,06	0,31	0,43	3,37	14,32	9,66	5,84
	mínimo	41	3	2	12	0,05	4,84	4,20	-0,83	0,66	3,83	0,06	0,01	0,00	1,73	0,01	0,01	2,17	0,00	0,41	2,82
	máximo	77	21	16	36	0,38	6,32	5,77	0,37	1,70	9,83	3,41	1,04	0,25	7,16	1,05	1,66	7,50	96,36	28,81	18,30

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 3 perfis (Brasil, 1967; Brasil, 1978) e 17 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 4 - Caracterização física e química dos Latossolos Vermelho Amarelos na Bacia do Sarandi*.

Prof.		A	S	AG	AF	S/A	pH	pH		MO	C g	Pmg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m	V	Atividade
(cm)	Parâmetro	%	%	%	%	%	H ₂ O	CaCl ₂	Δ pH	%	dm ³		-----Cmol _c dm ³ -----						%	%	de Argila
0-20	média	27	8	26	40	0,28	5,36	4,59	-0,77	2,74	15,92	0,82	2,46	0,11	4,62	2,58	3,21	7,20	44,07	32,82	26,85
	mínimo	23	3	22	34	0,13	4,69	4,12	-0,96	2,30	13,33	0,52	0,13	0,04	2,93	0,17	1,43	6,48	0,00	2,62	25,53
	máximo	31	13	29	45	0,42	6,02	5,06	-0,57	3,19	18,50	1,13	4,80	0,19	6,31	4,99	4,99	7,91	88,13	63,03	28,17
20-40	média	41	5	16	40	0,09	5,29	4,56	-0,73	1,71	9,92	0,29	1,04	0,04	3,88	1,08	1,42	4,96	43,84	20,95	14,79
	mínimo	23	1	6	28	0,04	4,74	4,26	-0,97	1,70	9,83	0,29	0,08	0,02	3,12	0,10	0,78	4,75	0,00	2,01	8,94
	máximo	58	8	25	51	0,14	5,83	4,86	-0,48	1,72	10,00	0,29	2,01	0,06	4,65	2,07	2,07	5,18	87,68	39,90	20,63
40-60	média	43	4	17	37	0,08	5,28	4,48	-0,80	1,35	7,83	0,44	0,48	0,02	3,87	0,50	0,80	4,37	44,55	11,79	12,51
	mínimo	25	1	6	27	0,04	4,91	4,28	-0,97	1,18	6,83	0,22	0,06	0,01	3,32	0,07	0,67	4,25	0,00	1,64	7,09
	máximo	60	7	27	47	0,12	5,65	4,68	-0,63	1,52	8,83	0,67	0,90	0,04	4,41	0,93	0,93	4,48	89,10	21,95	17,94
60-80	média	42	6	16	37	0,11	5,26	4,64	-0,62	0,96	5,58	1,24	0,16	0,01	3,22	0,17	0,32	3,39	43,89	5,60	10,50
	mínimo	24	1	5	26	0,04	4,92	4,41	-0,72	0,75	4,33	0,67	0,04	0,00	2,63	0,04	0,30	2,93	0,00	1,09	4,96
	máximo	59	10	27	48	0,17	5,59	4,87	-0,51	1,18	6,83	1,81	0,28	0,02	3,81	0,30	0,34	3,85	87,78	10,11	16,03
80-100	média	42	5	3	51	0,10	5,11	4,62	-0,50	1,01	5,83	0,67	0,22	0,01	3,12	0,23	0,37	3,36	44,85	7,02	9,60
	mínimo	25	1	0	27	0,04	5,00	4,49	-0,51	0,80	4,67	0,14	0,03	0,00	2,89	0,03	0,30	3,33	0,00	0,92	5,65
	máximo	59	9	5	74	0,15	5,22	4,74	-0,48	1,21	7,00	1,20	0,42	0,02	3,35	0,44	0,44	3,39	89,69	13,13	13,54

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= Capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 5 perfis (Brasil, 1967; Brasil, 1978) e 2 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 5 - Caracterização física e química dos Latossolos Amarelos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH	pH		MO	C g	P	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m	V	Atividade
		%	%	%	%	%	H ₂ O	CaCl ₂	Δ pH	%	dm ³	mg.kg ⁻¹	-----Cmol _c dm ³ -----						%	%	de Argila
0-20	média	38	11	10	42	0	5,35	4,50	-0,84	2,43	14,12	2,31	1,34	0,12	5,15	1,46	2,09	6,61	44,20	23,01	18,66
	mínimo	15	0	2	24	0	4,98	4,04	-1,02	1,64	9,50	0,37	0,07	0,05	2,58	0,12	0,73	4,13	0,00	1,55	11,37
	máximo	59	22	16	62	1	5,91	5,05	-0,72	3,10	18,00	10,48	4,78	0,30	10,03	5,08	5,08	10,68	87,58	58,44	27,91
20-40	média	38	10	11	41	0	5,39	4,53	-0,85	2,04	11,86	1,21	1,19	0,08	4,32	1,27	1,72	5,59	46,44	19,94	15,76
	mínimo	21	4	2	25	0	4,91	4,07	-1,06	1,35	7,83	0,22	0,04	0,02	2,32	0,06	0,24	3,18	0,00	1,38	7,95
	máximo	57	17	17	56	0	5,89	4,96	-0,65	3,05	17,67	4,70	4,79	0,21	6,79	4,96	4,96	8,58	85,01	57,89	27,56
40-60	média	42	10	10	38	0	5,41	4,62	-0,79	1,42	8,21	0,67	0,71	0,05	3,40	0,76	1,00	4,16	23,75	14,69	10,21
	mínimo	21	3	2	25	0	5,06	4,16	-1,04	0,92	5,33	0,06	0,02	0,01	2,27	0,03	0,03	2,48	0,00	0,96	6,35
	máximo	59	16	19	54	0	6,02	5,15	-0,63	2,15	12,50	1,51	3,50	0,19	5,68	3,57	3,57	6,44	86,67	55,51	16,05
60-80	média	44	10	9	36	0	5,51	4,91	-0,61	0,98	5,67	0,33	0,51	0,03	2,59	0,53	0,63	3,12	21,03	13,01	7,28
	mínimo	24	3	2	22	0	5,18	4,39	-0,92	0,72	4,17	0,00	0,02	0,00	1,96	0,02	0,02	2,06	0,00	0,60	5,36
	máximo	60	16	14	52	0	6,14	5,45	-0,25	1,15	6,67	0,60	2,75	0,12	4,10	2,78	2,78	4,96	77,62	56,08	12,16
80-100	média	46	10	8	36	0	5,48	5,07	-0,41	0,96	5,57	0,24	0,46	0,02	2,41	0,48	0,50	2,89	7,91	12,66	6,57
	mínimo	24	3	2	23	0	5,13	4,51	-0,76	0,66	3,83	0,00	0,01	0,00	1,78	0,01	0,01	1,99	0,00	0,37	4,05
	máximo	61	14	14	51	0	5,95	5,91	-0,04	1,58	9,17	0,75	2,45	0,07	3,43	2,49	2,49	4,86	55,40	51,19	10,80

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 2 perfis (Reatto, 2010) e 8 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 6 - Caracterização física e química dos Cambissolos Háplicos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO	C g dm ³	P mg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m %	V %	Atividade de Argila
		%	%	%	%	%							-----Cmol _c dm ³ -----								
0-20	média	36	28	7	31	0,815	4,85	4,05	-0,80	2,43	14,08	1,17	0,26	0,12	6,52	0,38	1,82	6,90	79,38	5,59	19,83
	mínimo	30	23	6	29	0,56	4,71	4,01	-0,90	2,36	13,67	1,13	0,16	0,08	6,18	0,24	1,73	6,70	72,70	3,39	17,33
	máximo	41	32	7	32	1,07	4,99	4,09	-0,70	2,50	14,50	1,20	0,36	0,16	6,86	0,52	1,91	7,11	86,07	7,79	22,34

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 2 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 7 - Caracterização física e química dos Plintossolos Pétricos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO %	C g dm ³	P mg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m %	V %	Atividade de Argila
		%	%	%	%	%							-----Cmol _c dm ³ -----								
0-20	média	22	9	14	56	0,37	5,57	4,61	-0,96	2,37	13,75	1,09	1,29	0,07	3,28	1,36	1,54	4,64	16,60	28,77	26,09
	mínimo	12	4	12	39	0,33	5,40	4,27	-1,13	1,90	11,00	0,22	0,63	0,05	2,83	0,72	1,08	4,45	0,00	16,27	15,08
	máximo	32	13	16	72	0,41	5,73	4,94	-0,79	2,84	16,50	1,96	1,94	0,09	3,73	1,99	1,99	4,83	33,20	41,26	37,10
20-40	média	19	8	21	53	0,395	5,23	4,42	-0,81	1,47	8,50	0,67	0,19	0,04	3,05	0,22	0,46	3,27	29,33	6,39	21,36
	mínimo	12	4	12	33	0,33	5,20	4,22	-1,03	1,26	7,33	0,37	0,10	0,01	2,52	0,11	0,11	2,63	0,00	4,14	10,13
	máximo	26	12	29	72	0,46	5,25	4,62	-0,58	1,67	9,67	0,98	0,27	0,06	3,57	0,34	0,82	3,91	58,66	8,65	32,60
40-60	média	18	8	23	51	0,485	5,27	4,56	-0,71	0,85	4,92	0,75	0,13	0,02	2,18	0,15	0,34	2,33	33,86	6,34	18,73
	mínimo	9	5	22	38	0,41	5,16	4,26	-0,90	0,72	4,17	0,29	0,11	0,01	1,80	0,12	0,12	1,92	0,00	6,06	7,11
	máximo	27	11	24	64	0,56	5,37	4,86	-0,51	0,98	5,67	1,20	0,15	0,03	2,55	0,18	0,56	2,73	67,73	6,63	30,36

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 2 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 8 - Tabela 6. Caracterização física e química do perfil de Plintossolo Háplico na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	A %	S %	AG %	AF %	S/A %	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO %	C g dm ³	P mg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+ Al	CTC	m %	V %	Atividade de Argila
												-----Cmol _c dm ³ -----								
0-20	51	19	5	25	0,37	5,37	4,54	-0,83	2,79	16,17	1,13	1,28	0,13	4,41	1,41	1,41	5,83	0,00	24,28	
20-40	52	19	4	25	0,37	5,46	4,68	-0,78	2,21	12,83	0,29	1,10	0,09	3,85	1,18	1,18	5,03	0,00	23,51	9,67
40-60	56	15	4	25	0,27	5,59	4,82	-0,77	1,67	9,67	0,06	0,85	0,05	3,18	0,90	0,90	4,08	0,00	21,97	7,28
60-80	58	13	5	24	0,22	5,57	4,65	-0,92	2,18	12,67	1,05	1,70	0,05	2,83	1,75	1,75	4,58	0,00	38,17	7,90
80-100	57	15	4	24	0,26	5,54	5,26	-0,28	0,89	5,17	0,22	0,49	0,03	2,50	0,52	0,52	3,02	0,00	17,22	5,29

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados de 1 perfil complementar Sarandi Fase I.

Tabela 9 - Caracterização física e química do perfil de Neossolo Quartzarênico na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	A %	S %	AG %	AF %	S/A %	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO %	C g dm ³	P mg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m%	V%	Atividade de Argila
0-20	11	4	19	66	0,36	4,81	4,05	-0,76	2,30	13,33	1,13	0,24	0,09	6,79	0,33	1,78	7,12	81,42	4,64	64,76
20-40	11	3	20	66	0,27	4,87	4,13	-0,74	1,70	9,83	0,82	0,10	0,04	5,56	0,14	1,50	5,70	90,70	2,45	51,82
40-60	11	4	19	66	0,36	4,76	4,17	-0,59	1,38	8,00	0,75	0,06	0,03	5,06	0,09	1,31	5,15	93,34	1,69	46,78
60-80	11	2	19	68	0,18	4,77	4,18	-0,59	1,03	6,00	1,05	0,05	0,01	4,32	0,06	1,21	4,38	95,05	1,37	39,81
80-100	12	3	18	67	0,25	5,00	4,22	-0,78	0,83	4,83	1,05	0,05	0,01	3,81	0,06	0,99	3,87	93,79	1,59	32,23

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados de 1 perfil complementar Sarandi Fase I.

Tabela 10 - Caracterização física e química dos Gleissolos Melânicos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO	C g dm ³	P mg.kg ⁻¹	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m %	V %	Atividade de Argila
		%	%	%	%	%							-----Cmol _c dm ³ -----								
0-20	média	53	21	5	21	0,43	5,04	4,24	-0,80	5,62	32,61	10,68	0,83	0,12	10,76	0,96	2,77	11,72	66,56	8,18	22,93
	mínimo	38	16	3	18	0,25	4,68	4,10	-1,06	4,80	27,83	1,58	0,27	0,09	9,62	0,36	2,10	9,97	38,57	3,60	16,91
	máximo	63	27	7	28	0,71	5,47	4,41	-0,58	6,78	39,33	28,12	1,69	0,17	13,05	1,80	3,27	13,76	82,88	15,77	30,04
20-40	média	57	17	3	24	0,34	5,12	4,27	-0,86	3,68	21,33	6,53	0,39	0,08	9,59	0,47	2,23	10,06	78,95	4,73	18,59
	mínimo	43	11	3	16	0,16	4,72	4,19	-1,18	2,90	16,83	1,36	0,29	0,07	8,84	0,38	2,18	9,39	74,61	3,55	15,33
	máximo	70	22	3	32	0,51	5,52	4,34	-0,53	4,45	25,83	11,70	0,49	0,09	10,35	0,55	2,28	10,73	83,29	5,90	21,84
40-60	média	63	16	3	28	0,32	5,25	4,28	-0,75	3,13	18,17	7,85	0,36	0,07	8,90	0,42	2,20	9,26	83,72	4,68	17,34
	mínimo	48	11	2	16	0,16	4,97	4,24	-1,00	1,75	10,17	0,37	0,22	0,04	7,87	0,26	1,70	8,13	83,08	3,18	11,61
	máximo	70	22	3	36	0,51	5,52	4,34	-0,53	4,45	25,83	11,70	0,49	0,09	10,35	0,55	2,61	10,73	84,78	5,90	21,84

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 2 perfis complementares Sarandi Fase I.

Tabela 11 - Caracterização física e química dos Gleissolos Háplicos na bacia do Sarandi*.

Prof. (cm)	Parâmetro	A	S	AG	AF	S/A	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Δ pH	MO %	C g dm ³	P mg.kg- 1	Ca+Mg	K	H+Al	SB	SB+Al	CTC	m %	V %	Atividade de Argila
		%	%	%	%	%							-----Cmol _c dm ³ -----								
0-20	média	41	12	11	36	0,31	5,24	4,32	-0,92	2,75	15,94	0,72	0,26	0,05	6,80	0,32	1,34	7,12	74,41	4,34	20,52
	mínimo	20	5	5	20	0,23	5,10	4,17	-0,93	2,44	14,17	0,37	0,14	0,03	5,62	0,16	0,87	5,78	59,67	2,85	10,92
	máximo	61	18	22	53	0,44	5,32	4,40	-0,91	2,93	17,00	1,13	0,34	0,10	8,47	0,44	1,82	8,91	87,57	5,28	28,92
20-40	média	38	12	11	39	0,31	4,97	4,33	-0,64	1,99	11,55	0,70	0,14	0,02	5,74	0,15	1,34	5,89	81,35	3,19	17,81
	mínimo	22	2	5	20	0,09	4,74	4,16	-0,84	1,49	8,67	0,52	0,06	0,00	3,81	0,07	0,68	3,88	55,59	0,87	7,34
	máximo	60	20	22	54	0,61	5,16	4,45	-0,36	2,67	15,50	0,98	0,28	0,02	9,32	0,30	2,51	9,40	96,75	6,90	28,48
40-60	média	45	14	5	38	0,34	5,29	4,37	-0,92	1,80	10,42	1,58	0,13	0,01	5,28	0,15	1,06	5,42	80,73	2,97	13,93
	mínimo	31	13	4	25	0,22	5,03	4,32	-1,13	1,61	9,33	0,29	0,05	0,00	4,50	0,05	0,69	4,75	64,95	0,82	8,19
	máximo	58	14	5	50	0,45	5,54	4,41	-0,71	1,98	11,50	2,88	0,22	0,02	6,05	0,24	1,43	6,10	96,50	5,11	19,68
60-80	média	45	12	5	39	0,35	5,30	4,70	-0,60	1,31	7,58	2,84	0,17	0,01	4,14	0,19	0,90	4,33	48,02	5,83	13,28
	mínimo	26	10	4	23	0,16	4,94	4,34	-0,60	1,26	7,33	0,06	0,06	0,00	2,66	0,06	0,32	2,98	0,00	1,03	4,73
	máximo	63	14	6	54	0,54	5,66	5,06	-0,60	1,35	7,83	5,61	0,29	0,03	5,62	0,32	1,48	5,68	96,04	10,63	21,84
80-100	média	44	10	6	41	0,30	5,33	4,72	-0,62	1,12	6,50	3,79	0,11	0,01	4,71	0,12	1,04	4,83	49,15	4,00	17,76
	mínimo	22	9	4	21	0,14	4,93	4,31	-0,62	0,92	5,33	0,52	0,03	0,00	2,55	0,03	0,21	2,76	0,00	0,46	4,18
	máximo	66	10	7	61	0,45	5,73	5,12	-0,61	1,32	7,67	7,06	0,19	0,02	6,86	0,21	1,87	6,90	98,31	7,54	31,35

A: teor de argila; S= teor de silte; AG= teor de areia grossa; AF= teor de areia fina; S/A= relação silte/argila; MO = matéria orgânica; C = carbono orgânico; P = fósforo; Ca+Mg = soma de cálcio e magnésio; K= potássio; H+Al= acidez titulável; SB: soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; m= saturação por alumínio; v= saturação por bases.

*Resultados compatibilizados de 3 perfis (Brasil, 1967) e 3 perfis complementares Sarandi Fase I.

CAPÍTULO 4

Artigo C

4. MAPEAMENTO PEDOLÓGICO DA BACIA DO SARANDI – DF, EM ESCALA 1:30.000, POR MEIO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS: UMA ABORDAGEM SEMI-AUTOMÁTICA

Resumo: A bacia do Sarandi foi selecionada para esse estudo, por se tratar de uma área piloto experimental do projeto Geocerrado. Essa bacia, com cerca de 30 km², está situada na Ecorregião do Planalto Central, localizada ao norte do Distrito Federal, em Planaltina, e abrange parte da área experimental da Embrapa Cerrados. O objetivo do trabalho foi gerar o mapa pedológico da bacia do Sarandiem escala 1:30.000, por meio da análise de parâmetros morfométricos do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata/INPE) com resolução espacial reamostrada para 30 metros e interpretação de fotografias aéreas com resolução espacial de 10 metros (Terracap-DF). O mapeamento foi realizado de acordo com os seguintes procedimentos: levantamento dos dados pedológicos; delimitação das áreas hidromórficas por interpretação de fotografias aéreas; compartimentação de relevo por meio da composição colorida das variáveis altimetria (R), declividade (G) e curvatura horizontal (B); elaboração de mapa e legenda de solos preliminares com subsídio da compartimentação de relevo e pontos validados em campo; elaboração e ajustes do mapa e legenda final por meio da interpretação de fotografias aéreas de alta resolução, interpretação dos dados laboratoriais de física e química e validação em campo. Foram mapeadas 23 unidades pedológicas, distribuídas em sete classes de solos: Latossolo Vermelho (42,07%), Latossolo Vermelho-Amarelo (22,46%), Latossolo Amarelo (15,09%), Cambissolo Háplico (9,83%), Neossolo Quartzarênico (0,07%), Gleissolo Melânico (0,52%) e Gleissolo Háplico (9,92%). Conclui-se que a metodologia semi-automática possibilitou a confecção do mapa de solos e legenda detalhada da bacia do Sarandi, DF, em escala 1:30.000. A técnica de associação dos dados do sensor SRTM com a interpretação das fotografias aéreas de alta resolução foi necessária, porque os dados da compartimentação do relevo gerados pela composição colorida não foram suficientes para separar as áreas hidromórficas. Portanto, para mapeamentos em escala de detalhe recomenda-se essa abordagem metodológica.

Palavras-Chave: Gestão Ambiental, Ordenamento Territorial, Gestão de Bacias Hidrográficas, Bioma Cerrado, Projeto GeoCerrado

4. PEDOLOGICAL MAPPING OF THE SARANDI - DF BASIN, IN SCALE OF 1:30000, VIA MORPHOMETRIC PARAMETERS: A SEMIAUTOMATIC APPROACH

Abstract: The Sarandi basin was chosen for this study due to the fact it is an experimental pilot area of the Geocerrado Project. The afore mentioned basin, which covers an area of circa 30 km², is situated in the Ecoregion of the Planalto Central, which by its turn, is located Northern Distrito Federal, in Planaltina, and covers part of the experimental area of Embrapa Cerrados. The goal of this work was to develop the pedological map of the Sarandi basin, in scale of 1:30000, via analysis of morphometric parameters from the Geomorphometric Database of Brazil (Topodata/INPE) with spatial resolution of thirty meters and interpretation of air photos with spatial resolution of ten meters (Terracap-DF). The mapping process was done in accordance with the following procedures: pedological data collection; delimitation of hydromorphic areas by interpreting air photos; subdivision of geographic relief considering the colorful composition of the following variables: altimetry (R), slope (G), horizontal curvature (B); elaboration of map and description of preliminary soils with subsidies of geographic relief subdivision and validated spots in field; elaboration of adjustments of the final map and descriptions by interpreting high resolution air photos, physical and chemical laboratory data and by validation in field. Twenty-three pedological units were mapped, distributed in seven soil classes: Latossolo Vermelho (42.07%), Latossolo Vermelho Amarelo (22.46%), Latossolo Amarelo (15.09%), Cambissolo Háplico (9.83%), Neossolo Quartzarênico (0.07%), Gleissolo Melânico (0.52%), and Gleissolo Háplico (9.92%). The semiautomatic methodology made the development of the soils mapping and detailed description of the Sarandi basin, DF, to be possible in a scale of 1:30000. The data association technique of the SRTM sensor with high resolution air photos interpretation was needed, due to the fact that the geographical relief subdivision data generated by the colorful composition was not sufficient to separate the hydromorphic areas. Therefore, for mapping processes in detailed scale, such methodological approach is recommended.

Key words: Environmental Management, Planning, Watershed Management, Cerrado Biome, GeoCerrado Project

4.1. Introdução

O mapeamento convencional de solos vem sendo criticado ao longo do tempo por seu caráter qualitativo, pela demora na execução e os altos custos no processo de produção dos mapas tradicionais de solo. Em resposta a estas críticas, nos últimos 30 anos, novas abordagens vêm sendo desenvolvidas objetivando melhorar a precisão e qualidade do mapeamento do solo e seus atributos (McBratney *et al.* 2000, McBratney *et al.* 2003, Mendonça-Santos & Santos 2003).

O relevo é um dos principais fatores de formação do solo, e exerce grande influência sobre sua gênese e a distribuição (Jenny, 1941). Segundo Goosen (1968), o relevo apresenta forte relação com os limites das unidades de mapeamento de solos, e assim, possibilita a distinção das classes pedológicas por meio da observação em imagens.

Dessa forma, a compartimentação geomorfológica tem sido amplamente aplicada como subsídio para mapeamentos pedológicos, possibilitando a otimização dos trabalhos de campo e a precisão na delimitação das unidades de mapeamento (Hermuche, 2002; Panquestor, 2002; Borges, 2007).

A dificuldade em se estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade do relevo tem proporcionado o desenvolvimento de inúmeros métodos para sua descrição e análise. Dentre os procedimentos destaca-se a análise morfométrica do relevo pelo uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), (Evans, 1984; Evans e McClean, 1995; Borges *et al.*, 2007).

A morfometria refere-se ao estudo do relevo feito sob uma abordagem numérica, baseada na mensuração de características geométricas da configuração tridimensional da superfície do terreno (Evans, 1972; Florenzano, 2008; Valeriano & Albuquerque, 2010). Os estudos morfométricos requerem um trabalho de análise de dados topográficos, que, geralmente, abrangem alguma forma de processamento das cotas altimétricas e dão origem às variáveis morfométricas (Valeriano & Albuquerque, 2010).

Segundo Valeriano & Albuquerque (2010), as variáveis morfométricas se referem estritamente às características geométricas da superfície do terreno, e são distinguidas como locais e não-locais. De forma generalizada, as variáveis morfométricas locais são obtidas a partir da altimetria, com derivações em torno de cada ponto analisado, como a própria altimetria (derivação de ordem zero), a declividade e orientação de vertentes (derivações de 1ª ordem) e curvaturas vertical e horizontal (derivações de 2ª ordem). As variáveis não locais se

baseiam na análise de diferentes elementos do terreno relacionada ao padrão definido pela distribuição de variáveis locais (Meijerink, 1988; Valeriano & Albuquerque, 2010).

A crescente disponibilidade de dados altimétricos advindos principalmente de modelos digitais de elevação (MDE) contribuiu fortemente para o crescimento da aplicação da morfometria. O emprego de atributos morfométricos provenientes dos MDEs permite compreender a organização da paisagem e inferir sobre o comportamento de outros parâmetros, como as características climáticas (Daly, 1994; Hutchinson *et al.*, 1983), os atributos dos solos (Bell *et al.*, 1994; Chaplot *et al.*, 2000, Gessler *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 1988; Moore *et al.*, 1993) e a distribuição da vegetação e organização de habitats (Gottfried *et al.*, 1988; Guisan *et al.*, 1998; Hill, 1991; Jelaska *et al.*, 2003).

A análise morfométrica constitui uma importante ferramenta de estudo de bacias hidrográficas. Os conjuntos de informações gerados por dados morfométricos possibilitam determinar com melhor precisão as unidades geomorfológicas e pedológicas (Yamada, 1999; Miliaresis, 2001; Borges, 2007). Na região do Brasil Central os atributos morfométricos têm sido amplamente utilizados para a compartimentação geomorfológica e pedológica (Hermuche *et al.*, 2002; Panquestor *et al.*, 2002; Hermuche *et al.*, 2003; Leal *et al.*, 2003; Oliveira *et al.*, 2005; Borges *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2010).

A análise do relevo por meio de parâmetros morfométricos, aplicada ao mapeamento pedológico, é uma ferramenta de subsídio ao planejamento dos trabalhos de campo, otimizando tempo e os recursos aplicados, uma vez que possibilita a distinção de possíveis unidades de mapeamento pedológico. Além disso, a compartimentação de relevo também pode auxiliar na delimitação das unidades de mapeamento, uma vez que essas forem detectadas (Hermuche, 2002; Panquestor *et al.*, 2002; Lima *et al.*, 2009).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi gerar um mapa pedológico da bacia do Sarandi, em escala 1:30.000, com subsídio da compartimentação de relevo obtida por meio da análise de parâmetros morfométricos, interpretação de fotografias aéreas e dados de perfis de solos.

4.2. Materiais e Métodos

4.2.1. Área de Estudo

A bacia do Sarandi possui cerca de 30 km². Localiza-se a norte do Distrito Federal, na região administrativa de Planaltina, e abrange parte da área do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado (Embrapa Cerrados). O Rio Sarandi compõe a sub-bacia Mestre D'Armas, na Bacia do São Bartolomeu (Fonseca *et al.* 2010), (Figura 21).

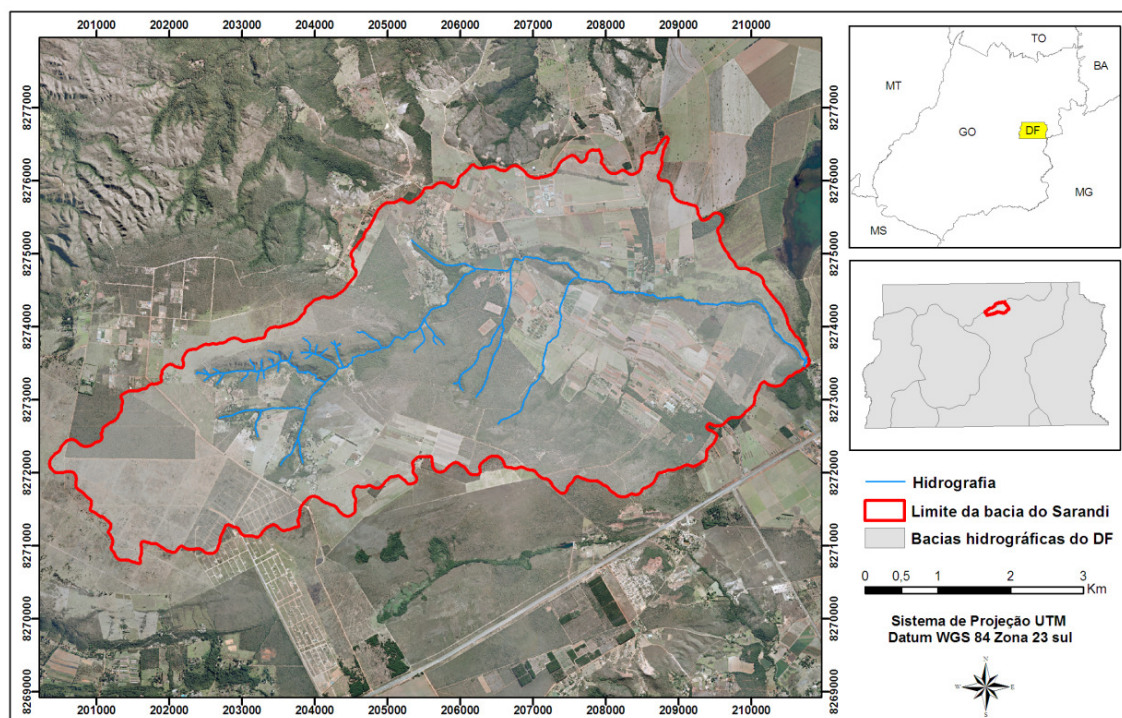


Figura 21 - Localização da bacia experimental do Sarandi – DF.

A vegetação natural da área da bacia é o Cerrado. Cerca de 40% da área ainda apresenta cobertura natural, principalmente na área compreendida pela reserva da Embrapa Cerrados. A fitofisionomia predominante é o Cerrado Sentido Restrito, podendo-se encontrar ainda Cerradão, matas de galeria, formações campestres e veredas (Ribeiro e Walter, 2006).

O clima da bacia, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo tropical, com alta precipitação pluviométrica no verão (entre os meses de novembro e janeiro), e baixa precipitação no inverno (entre os meses de junho e agosto). Anualmente a precipitação varia em torno de 1.500 mm concentrados entre setembro e abril. A média anual de temperatura é 20°C (Macedo, 1986; Fonseca *et al.*, 2010).

A bacia do Sarandi é predominantemente composta por Metarritimito argiloso, Metarritimito arenoso e Psamo-pelito carbonatada, do Grupo Paranoá. (Campos &Freitas Silva, 1988).

Em relação à Geomorfologia, a bacia do Sarandi pode ser dividida em quatro compartimentos principais: as chapadas, caracterizadas por relevo plano a suave - ondulado, com cotas altimétricas variando entre 1200 a 1100 metros; as frentes de recuo erosivo, que representam as bordas das chapadas com relevo acidentado e escarpado em alguns pontos, acentuando a quebra do relevo; as rampas de colúvio, de conformidade suave e com altitudes entre 800 e 900 metros e as áreas hidromórficas próximas as áreas de drenagem (Messias *et al.*, 2013).

A bacia do Sarandi é composta por áreas naturais e antrópicas. Em geral, na chapada predomina a agricultura de sequeiro; nas rampas de colúvio é desenvolvida agricultura irrigada; e as frentes de recuo são a porção mais preservada da bacia, abrangida pela reserva da Embrapa Cerrados.

4.2.2. Metodologia

Os procedimentos metodológicos empregados no mapeamento estão apresentados de forma sucinta na Figura 22:

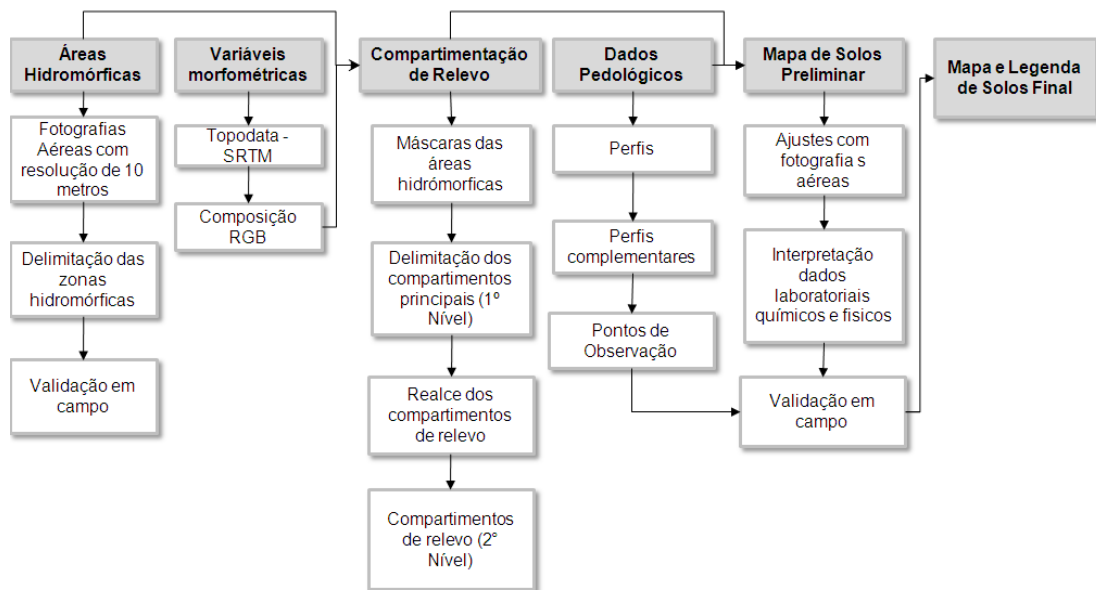


Figura 22 - Procedimentos realizados para a confecção do mapa de solos e legenda detalhada da bacia do Sarandi.

4.2.2.1. Construção da base de dados pedológicos

A base de dados utilizada para a elaboração do mapa pedológico é composta por três conjuntos de dados. O primeiro, denominado “Perfis” é constituído por 13 perfis de solo levantados em bibliografia.

O segundo conjunto de dados, denominado Sarandi Fase I (SA), foi obtido por meio de coleta de amostras em campo. Os pontos amostrais foram alocados de acordo com a compartimentação geomorfológica da bacia (Messias *et al.*, 2013) e a área foi percorrida com auxílio do mosaico de fotografias aéreas do Distrito Federal (SICAD, 2009) e de um GPS. Ao todo, foram visitados 38 pontos de coleta, totalizando 180 amostras de solo.

O terceiro conjunto de dados, constituído por 33 pontos de observação, foi obtido por meio de visitas de campo, onde foram realizadas amostragens para reconhecimento da classe solo, no entanto, sem caracterização químico-física.

Os procedimentos para a aquisição e a descrição detalhada dos dados são abordados no Capítulo 3.

4.2.2.2. Compartimentação de relevo por meio de análise de parâmetros morfométricos

Os procedimentos empregados na compartimentação do relevo da bacia do Sarandi estão sintetizados na Figura 23:

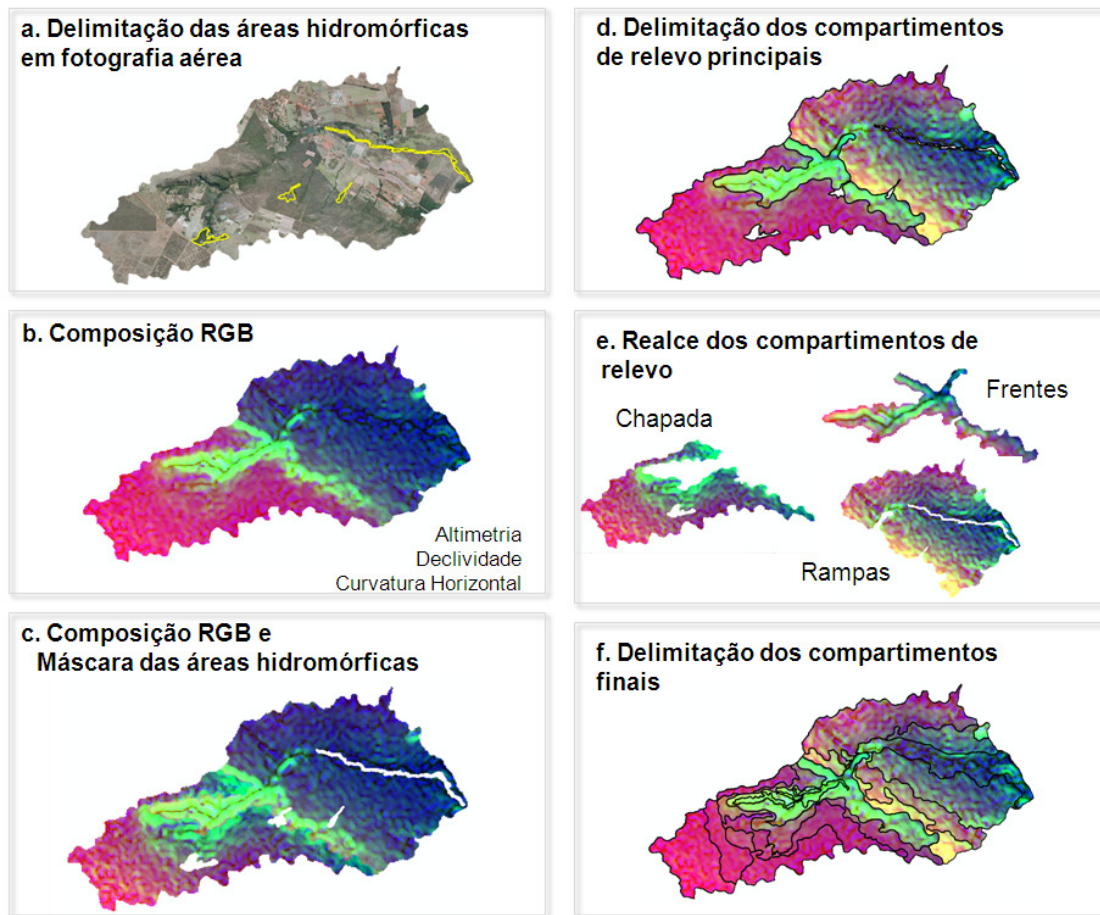


Figura 23 - Procedimentos empregados na compartimentação geomorfológica da bacia do Sarandi.

Na Figura 23a está apresentada a delimitação das áreas hidromórficas realizada pela fotointerpretação de fotografias aéreas de alta resolução 1:10.000 da Terracap-DF. Essas áreas foram validadas em campo. Subsequente nas Figuras 23b, 23c, 23d, 23e e 23f estão apresentadas a compartimentação do relevo utilizando o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata/INPE) com dados de altimetria, declividade, orientação de vertente e curvaturas vertical e horizontal.

Os dados do projeto Topodata são derivados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e reamostrados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (aproximadamente 90 metros) para 1 arco-segundo (aproximadamente 30 metros), (Valeriano & Albuquerque, 2010). Os dados Topodata foram selecionados para esse estudo por motivos de padronização da base de dados na bacia do Sarandi, disponibilidade gratuita e abrangência nacional. Foram

adquiridas as seguintes variáveis: altimetria, declividade, direção de vertentes, curvatura horizontal e curvatura vertical (Quadro2).

Quadro 2 - Variáveis morfométricas utilizadas no estudo e suas respectivas definições.

Variável Morfométrica	Conceito	Como é estimada	Unidade de medida
Altimetria	Registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo.	Imageamento por radar (SRTM)	Metros
Declividade	Ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal.	Proporção entre desníveis altimétricos entre pixels vizinhos e suas respectivas distâncias horizontais.	Graus, 0 a 90° ou porcentagem, 0 ao infinito.
Direção de vertentes	É uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial.	Operações trigonométricas sobre as componentes ortogonais da declividade.	Ângulo azimutal expresso em graus, 0° a 360°
Curvatura horizontal	Expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. Refere-se ao caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo.	Mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal, ao longo das curvas de nível.	Ângulo por distância
Curvatura vertical	Expressa o formato da vertente quando observada em perfil. Refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil. Apresentam valores positivos, se côncavo, e negativos, se convexos.	Observação de dois segmentos consecutivos de vertente ao longo de uma linha de fluxo. Tal condição requer a observação de três pixels sequenciais.	Ângulo por distância

Fonte: Florenzano, 2008; Valeriano, 2008; Valeriano e Albuquerque, 2010 e Soares Neto 2011.

A partir dos dados morfométricos foram geradas três composições coloridas (imagens RGB), combinando as variáveis de relevo. Nessas composições coloridas, as variáveis altimetria e declividade são constantes, e estão relacionadas, respectivamente, aos canais vermelho e verde. Enquanto que no canal azul, alternaram-se as variáveis: orientação de vertente e curvaturas vertical e horizontal. As composições foram comparadas e apenas uma foi selecionada para a realização da compartimentação de relevo.

No caso da bacia experimental do Sarandi, a composição que melhor realçou o relevo foi: altimetria no canal do vermelho (R); declividade no canal do verde (G); e curvatura horizontal no canal do azul (B). Nessa composição, as regiões predominantemente vermelhas representam as altitudes mais elevadas e áreas planas, as regiões verdes representam áreas com alta declividade e as azuis realçaram os canais da hidrografia (Figura 24).

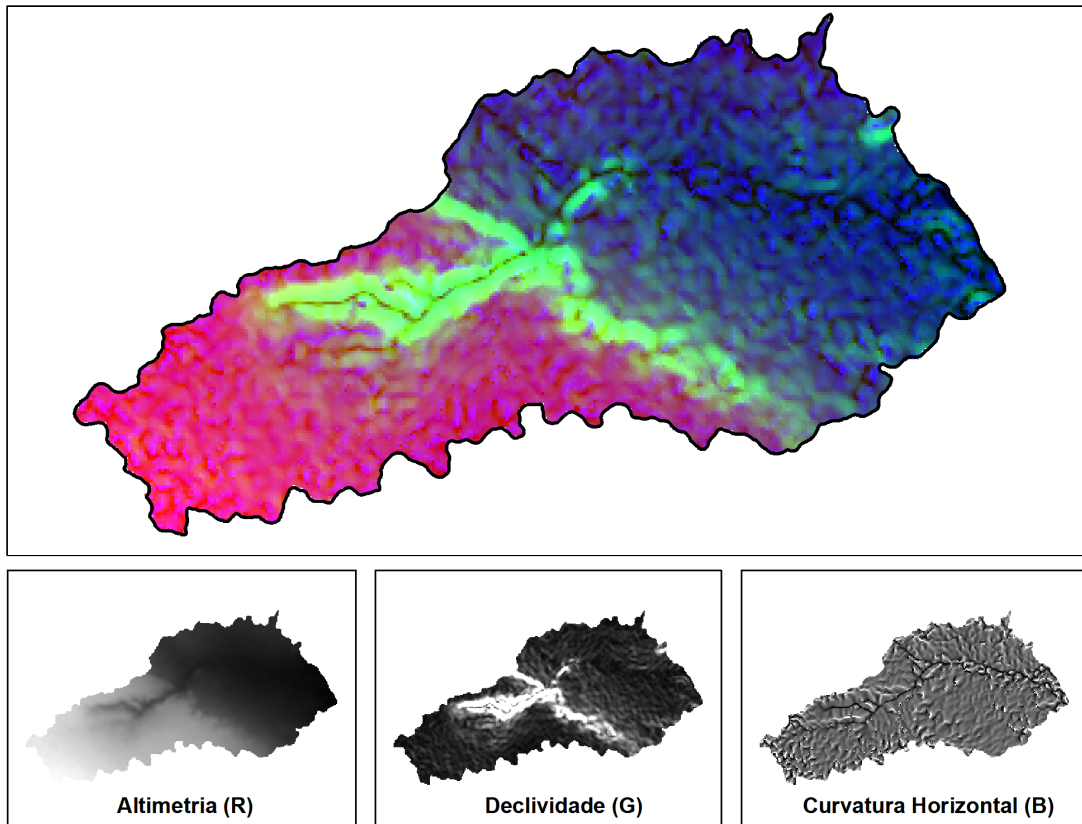


Figura 24 - Composição colorida da bacia do Sarandi com os atributos morfométricos: altimetria (R), declividade (G), e curvatura horizontal (B).

As composições coloridas com atributos morfométricos são uma forma de sintetizar, em uma única imagem, uma grande quantidade de informação. Além disso, possibilitam a distinção das unidades de relevo por meio das variações tonais e texturais (Hermuche *et al.*, 2002; Panquestor *et al.*, 2004; Borges *et al.*, 2007, Lima *et al.*, 2009)

Em testes realizados, verificou-se que as composições coloridas não foram eficientes na identificação das áreas hidromórficas da bacia. Por isso, antes da realização da compartimentação de relevo, as áreas hidromórficas foram delimitadas por meio da fotointerpretação de um mosaico de fotografias aéreas com resolução espacial de 10 metros (Terracap, 2009) e validadas em campo. Em seguida, foi feita uma máscara na composição RGB com os polígonos de áreas hidromórficas, para que essas áreas não interferissem no realce histográfico das feições de relevo que ainda não haviam sido delimitadas na composição colorida.

A compartimentação do relevo foi realizada a partir da interpretação visual da composição colorida, onde, primeiramente, foram delimitados três compartimentos principais:

chapada, frentes de recuo erosivo e rampas de colúvio. Em seguida, novas composições coloridas foram geradas, com os mesmos atributos (altimetria declividade e curvatura horizontal), para cada um dos três compartimentos principais de relevo, proporcionando um maior realce nas feições. Em cada unidade de relevo, foram identificados e delimitados novos compartimentos, alcançando-se o nível de detalhe desejado. Aos novos compartimentos foi atribuída a nomenclatura do compartimento principal, seguida de uma numeração sequencial. Nesse nível, foram delimitados 21 compartimentos: Chapadas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9; Frentes 1, 2, 3, 4; e Rampas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 (Figura 25).

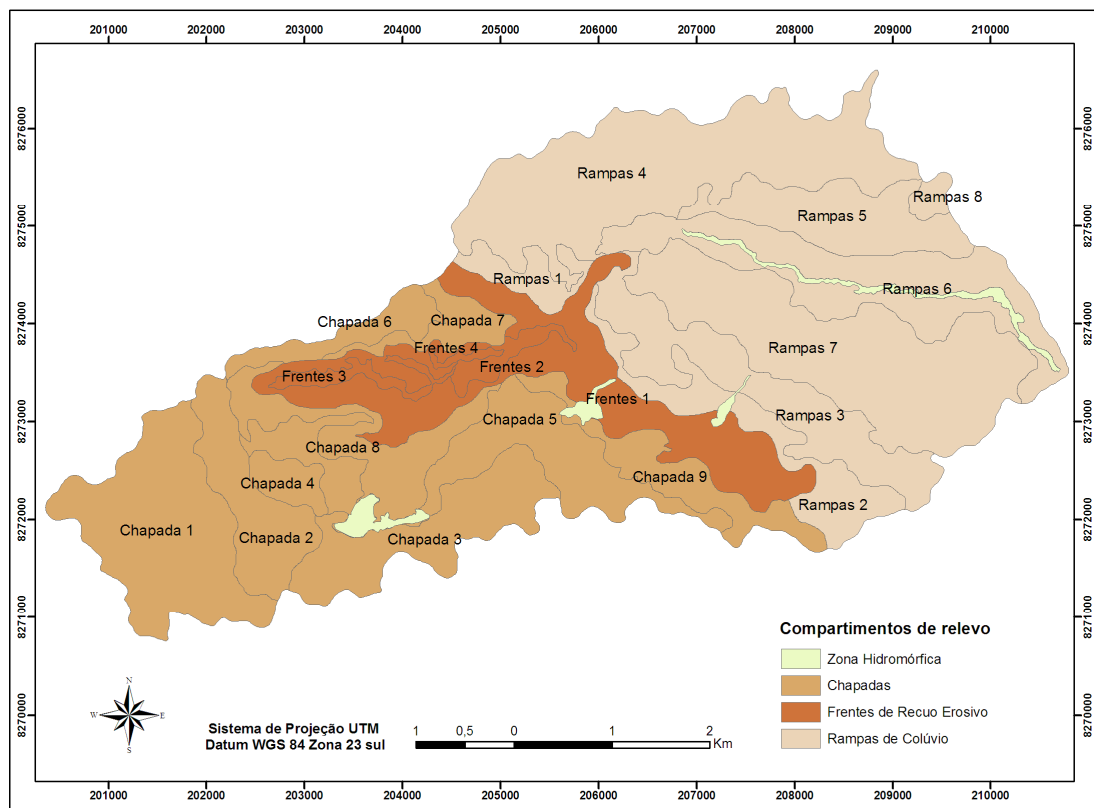


Figura 25 - Compartimentação de relevo da bacia do Sarandi.

4.2.2.3. Construção do mapa e legenda de solos

Foi elaborado um mapa preliminar da bacia, onde a delimitação das unidades de mapeamento foi embasada na compartimentação do relevo. Os perfis e os perfis complementares coletados em campo, ainda sem os resultados analíticos de química e física definitivos, foram plotados sobre a compartimentação de relevo e cada polígono foi

classificado com a classe de solo correspondente, respeitando também, o mapa pedológico do Distrito Federal, em escala 1:100.000.

Em seguida, os limites das unidades do mapa preliminar foram ajustados, com o auxílio da interpretação visual das fotografias aéreas de alta resolução, o que permitiu a visualização e delimitação de classes de solo, bem como, a diferenciação das classes de vegetação.

Para os ajustes finais do mapa e da legenda de solos da bacia do Sarandi foram utilizados os perfis e os perfis complementares com a interpretação dos dados laboratoriais de física e química de solos. Por fim, foi realizado um novo trabalho de campo, onde os pontos de observação visitados contribuíram para a identificação das zonas de transição entre algumas classes de solo e para o ajuste final dos limites entre as unidades de mapeamento.

Para a elaboração da legenda utilizou-se os dados químicos, físicos e informações de campo dos perfis e perfis complementares que constituíram a base de dados pedológicos. Os perfis e pontos amostrais foram classificados até o terceiro nível do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2009). As unidades de mapeamento de mesma classe de solo com classes texturais, de relevo ou vegetação distintas foram diferenciadas na legenda por uma numeração seqüencial.

4.3. Resultados

Com a metodologia aplicada foi possível gerar a compartimentação do relevo em 1º nível, com três compartimentos, e em 2º nível, com 22 compartimentos. Esses compartimentos, associados aos dados de perfis e pontos de solo, tanto de perfis complementares quanto de pontos de observações, permitiram elaborar o mapa pedológico e a legenda detalhada da bacia do Sarandi.

Foram gerados dois mapas pedológicos. No primeiro mapa, com legenda simplificada, foi possível identificar sete classes de solo: Latossolo Vermelho (42,07%), Latossolo Vermelho-Amarelo (22,46%), Latossolo Amarelo (15,09%), Cambissolo Háplico (9,83%), Neossolo Quartzarênico (0,07%), Gleissolo Melânico (0,52%) e Gleissolo Háplico (9,92%), (Figura 26).

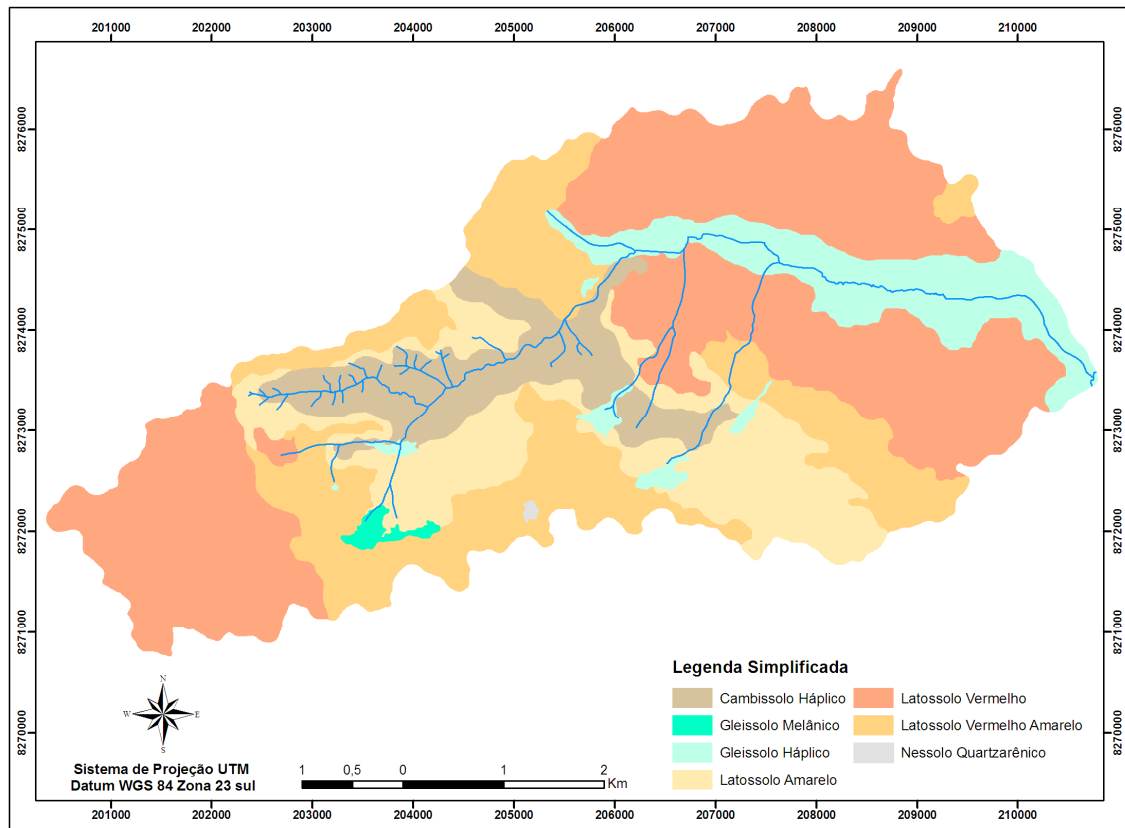


Figura 26 - Mapa de solos da bacia do Sarandi com legenda simplificada em escala 1:30.000.

No segundo mapa, (Figura 27), foram identificadas 23 unidades de mapeamento, classificadas até o terceiro nível categórico (Embrapa, 2009), descritas no Quadro 3.

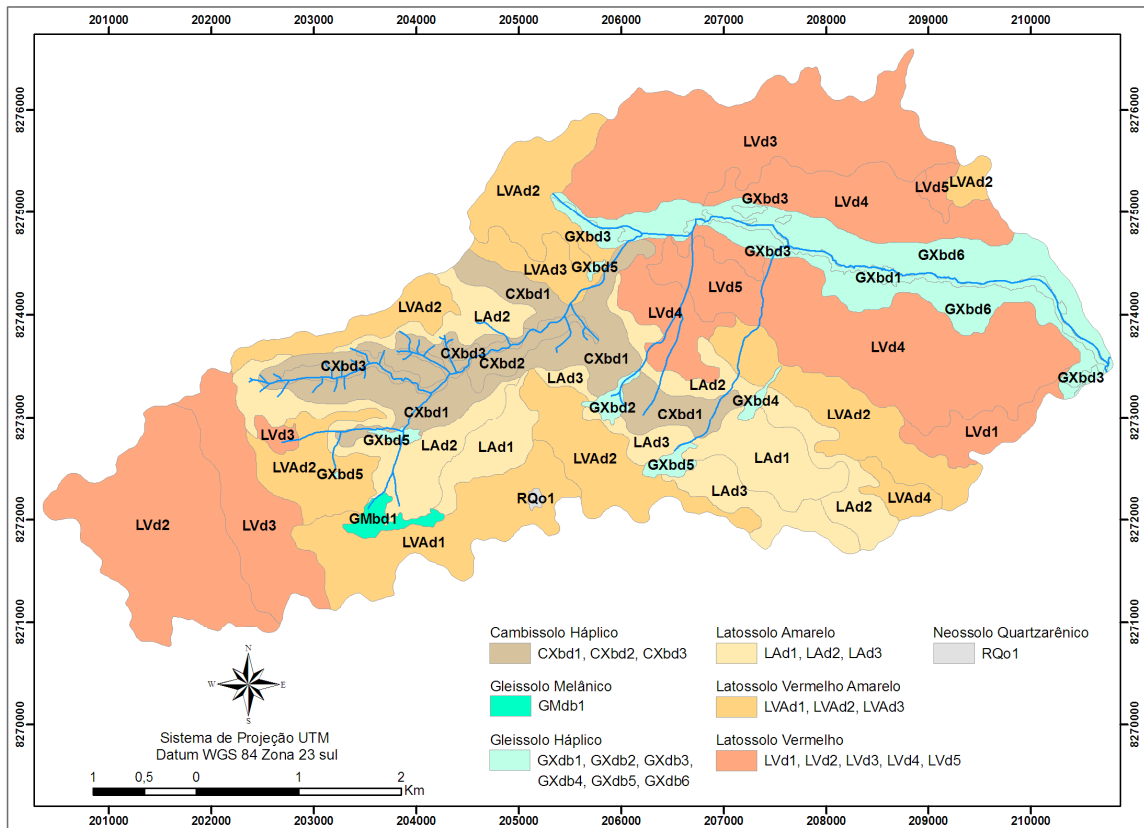


Figura 27 - Mapa de Solos da Bacia do Sarandi com legenda detalhada em escala 1:30.000.

Quadro 3 - Legenda do mapa de solos da bacia do Sarandi.

LATOSSOLO VERMELHO	
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO distrófico A moderado textura muito argilosa fase cerradão relevo plano
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO distrófico A moderado textura muito argilosa fase cerrado típico relevo plano
LVd3	LATOSSOLO VERMELHO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo plano
LVd4	LATOSSOLO VERMELHO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo suave – ondulado
LVd5	LATOSSOLO VERMELHO distrófico A moderado textura média fase cerrado típico relevo suave – ondulado
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO	
LVAd1	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo plano
LVAd2	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo suave – ondulado
LVAd3	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo ondulado
LVAd4	LATOSSOLO VERMELHO AMARELO distrófico A moderado textura média fase cerrado típico relevo suave – ondulado
LATOSSOLO AMARELO	
LAd1	LATOSSOLO AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo suave – ondulado
LAd2	LATOSSOLO AMARELO distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo ondulado

Lad3	LATOSSOLO AMARELO distrófico A moderado textura média cerrado típico relevo ondulado
CAMBISSOLO HÁPLICO	
CXbd1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase cerrado típico relevo ondulado (80%) + PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário A moderado textura média fase cerrado típico relevo ondulado (20%)
CXbd2	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura média fase cerrado denso relevo forte ondulado (80%) + PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário A moderado textura média fase cerrado denso relevo ondulado (20%)
CXbd3	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura média fase cerrado denso relevo forte ondulado (50%) + PLINTOSSOLO PÉTRICO concrecionário A moderado textura média fase cerrado denso relevo ondulado (30%) + NEOSSOLO LITÓLICO distrófico A moderado textura argilosa fase mata de galeria relevo forte ondulado (20%)
NEOSSOLO QUARTZARÊNICO	
RQo1	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico A moderado fase cerrado típico relevo suave ondulado
GLEISSOLO MELÂNICO	
GMbd1	GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico A proeminente textura argilosa fase campo de várzea relevo suave - ondulado
GLEISSOLO HÁPLICO	
GXbd1	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase mata de galeria relevo plano.
GXbd2	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase mata de galeria relevo suave - ondulado.
GXbd3	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase campo de várzea relevo plano.
GXbd4	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase vereda relevo suave - ondulado.
GXbd5	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase campo limpo úmido relevo suave - ondulado.
GXbd3	GLEISSOLO HÁPLICO Tb distrófico A moderado textura argilosa fase campo limpo úmido relevo plano (60%) + GLEISSOLO MELÂNICO Tb Distrófico A proeminente textura argilosa fase campo limpo úmido relevo plano (25%) + PLINTOSSOLO HÁPLICO distrófico A moderado textura argilosa fase campo limpo úmido relevo plano (15%).

A compartimentação de relevo não permitiu a distinção das classes Gleissolos e Plintossolos, que foram delimitados por meio da interpretação visual de uma fotografia aérea. Entretanto, a metodologia empregada facilita a identificação e a delimitação das unidades de mapeamento, diminuindo os esforços empregados no mapeamento. Ainda, proporcionou a integração de dados da paisagem e a compreensão da organização e distribuição dos solos segundo as relações solo-relevo.

Vale considerar, que a proposta metodológica aqui apresentada constitui um mapeamento semi-tradicional, uma vez que se baseia em procedimentos da metodologia tradicional, como a fotointerpretação, a delimitação de polígonos e ajustes baseados em verificações de campo. Entretanto, o emprego de atributos morfométricos, que permite o realce dos padrões de relevo e a utilização de imagens de alta resolução, permitiu a distinção das unidades de mapeamento, com avanços metodológicos que embasaram a confecção do mapa.

4.4. Conclusões

Conclui-se que a metodologia semi-automática utilizando a associação dos dados do SRTM, para a compartimentação do relevo pela técnica da composição colorida e da interpretação de fotografias aéreas possibilitou a confecção do mapa de solos e legenda detalhada da bacia do Sarandí, DF, em escala 1:30.000. Entretanto, é válido ressaltar que:

- A técnica de associação dos dados do sensor com a interpretação das fotografias aéreas de alta resolução foi necessária, porque os dados da compartimentação do relevo gerados pela composição colorida não apresentaram resolução suficiente para separar as áreas hidromórficas. Portanto, para mapeamentos em escala de detalhe recomenda-se essa abordagem metodológica.

- A proposta metodológica semi-automática apresentada pode também ser considerada como uma metodologia semi-tradicional, que associa técnicas automáticas para distinção das classes (compartimentação de relevo baseado no processamento de imagens morfométricas) a procedimentos perceptivos de interpretação e delimitação de polígonos, como na metodologia tradicional de mapeamento de solos.

Referências

- BELL J.C., CUNNINGHAM R.L., HAVENS M.W. 1994. Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model. *Soil Science Society of America Journal*, 58:464–470.
- BORGES M.E.S.; CARVALHO JUNIOR O.A.; MARTINS E.S.; ARCOVERDE G.F.B; GOMES R.A.T. 2007. Emprego do processamento digital de parâmetros morfométricos no mapeamento geomorfológico da bacia do Rio Preto. *Espaço e Geografia*, v.10, 2: 401-429.
- CASTRO K.B., MARTINS E.S., GOMES M.P., REATTO A., LOPES C.A., PASSO D.P., LIMA L.A.S., CARDOSO W.S., CARVALHO JUNIOR O.A., GOMES R.A.T. 2010. Caracterização geomorfológica do município de Luís Eduardo Magalhães, Oeste Baiano, escala 1:100.000. Embrapa Cerrados, Planaltina, Boletim de pesquisa nº 288, 33p.
- CHAPLOT V., WALTER C., CURMI P. 2000. Improving soil hydromorphy prediction according to DEM resolution and available pedological data. *Geoderma*, 97: 405–422.
- DALY C., NEILSON R.P., PHILLIPS D.L. 1994. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. *Journal of Applied. Meteorology*, 33: 140–158.
- EVANS L.S. 1984. Correlation structures and factor analysis in the investigation of data dimensionality: statical properties of the Wessex land surface. In: *International Symposium on Spatial Data Handling '84*, 1:98-116.
- CAMPOS J.E.G., FREITAS-SILVA F.H. 1999. Geologia do Distrito Federal. In: *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRH.
- FLORENZANO T. G (Org.). 2008. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 320p.
- FONSECA C. P., GOMES A.C.C., FIGUEIREDO G.M.L., JOVELI J.C., SOARES L.C., TOLEDO S.P. 2010. Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. *Ambiente & Água*, 5:43-56.
- GESSLER P.E., MOORE A.W., MCKENZIE N.J., RYAN P.J., 1995. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9: 421–432.
- GOOSEN D. 1968. Interpretacion de fotos aereas y su importancia em levantamiento de suelos. *Boletim sobre Suelos* nº 6 . Organizacion Naciones Unidas y para la Agricultura y la Alimentacion, Roma, p. 1-56.
- GOTTFRIED M., PAULI, H. GRABHERR G. 1998. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone. *Arctic and Alpine Research*, v. 30, 3:207–221.
- GUISAN A., THEURILLAT J.P., KIENAST F. 1998. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 9: 65–74.
- HERMUCHE P. M., GUIMARÃES R.F., CARVALHO A.P.F., MARTINS E.S., FUKSS.D., CARVALHO JUNIOR O. A., SANTOS N.B.F. & REATTO A. 2002. Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas. Embrapa Cerrados, Planaltina, Documento nº 68, 25 p.
- HERMUCHE P.M., ANDRADE A.C., GUIMARÃES R.F., LEAL L.R., CARVALHO JUNIOR O.A. & MARTINS E.S. 2003. Compartimentação geomorfológica em escala regional da bacia do rio Paranã. *Geoderma*, 113:372-381.

- HILL M.O. 1991. Patterns of species distribution in Britain elucidated by canonical correspondence analysis. *Journal of Biogeography*, 18: 247–255.
- HUTCHINSON M.F. & BISCHOF R.J. 1983. A new method for estimating the spatial distribution of mean seasonal and annual rainfall applied to Hunter Valley, New South Wales. *Australian Meteorological Magazine*, 31: 179–184.
- JELASKA S.D., ANTONIĆ O., NIKOLIĆ T., HRSAK V., MISKO P., KRIZAN J. 2003. Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM based variables - a case study for Medvednica Nature Park, Croatia. *Ecological Modelling*, 170: 333–343.
- JENNY H. 1941. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. McGraw-Hill Book Company Inc. 271p.
- LIMA L.A.S., MARTINS E.S., REATTO A., CASTRO K.B., SOUZA V.V, CARVALHO JUNIOR O.A. 2009. Compartimentação geomorfológica e suas relações com solos na bacia do Alto Rio Preto, GO. Embrapa Cerrados, Planaltina, Boletim de Pesquisa nº 255, 24 p.
- LIMA L.A.S., MARTINS E.S., GOMES M.P., REATTO A., LOPES C.A., PASSO D.P., CASTRO K.B, CARDOSO W.S., CARVALHO JUNIOR O.A., GOMES R.A.T. 2010. Caracterização geomorfológica do município de Riachão das Neves, Oeste Baiano, escala 1:100.000. Embrapa Cerrados, Planaltina, Boletim de Pesquisa nº 295, 35p.
- LEAL L.R., ANDRADE A.C., PANQUESTOR E.K., RAMOS V.M., GUIMARÃES R.F., MARTINS, E.S. & CARVALHO JUNIOR O.A. 2003. Definição de unidades geomorfológicas a partir de imagens de dados morfométricos na bacia do Rio Grande (BA). In: Simp. Bras. Sensoriamento Remoto, p. 2055-2062.
- LEE K.-S., LEE G.B., TYLER E.J. 1988. Thematic Mapper and digital elevation modeling of soil characteristics in hilly terrain. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 1104–1107.
- MEIJERINK A. M. J. 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. *ITC Journal*, 1 :23-44.
- MESSIAS A., REATTO A., COUTO Jr A. F., MARTINS E. S., SOUZA J. P. S., PRADO M. (em preparação) 2013. Caracterização geomorfológica da bacia do Sarandi, escala 1:30.000. (submetido para publicação). Brasília, Boletim de Pesquisa (Aceito ainda sem data de publicação).
- MILIARESIS G.C. 2001. Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. *Computers & Geosciences*, 27: 775–786
- MOORE I.D., GESSLER P.E., NIELSEN G.A., PETERSEN G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443- 452.
- OLIVEIRA B.M.L., RAMOS V.M., CARVALHO JUNIOR O.A., GUIMARÃES R.F., BETTIOL G.M., GOMES R.A.T., MARTINS E.S. & REATTO A. 2005. Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico na bacia do Ribeirão da Pedreira - DF. In: Simp. Bras. Sensoriamento Remoto, p. 3167-3174.
- PANQUESTOR E. K., CARVALHO JUNIOR O.A., LEAL L.R., ANDRADE A.C., MARTINS E.S. & GUIMARÃES R.F. 2002. Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da bacia do rio Corrente (BA). *Espaço e Geografia*, v. 5, 1: 87-99.

- RIBEIRO J. F., WALTER B. M. T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO M. S., ALMEIDA S. M., RIBEIRO J. F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados, Planaltina, p. 152-212.
- SOARES NETO G.B. 2011. Contribuições metodológicas para a determinação de dados morfométricos e elaboração de cartografia geomorfológica digital: bacia Sonhém – DF. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 56p.
- YAMADA, S. 1999. Mountain ordering, a method for classifying mountains based on their morphometry. *Earth Surfaces and Landforms*, 24: 653–660.
- VALERIANO, M. M. 2008. TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE, São Jose dos Campos, 71 p.
- VALERIANO M.M., ALBUQUERQUE P.C.G. 2010. TOPODATA: processamento dos dados SRTM. INPE, São Jose dos Campos, 77p.

CAPÍTULO 5

Artigo D

5. MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS DA BACIA DO SARANDI POR MEIO DE LÓGICA FUZZY

Resumo: A bacia do Sarandi foi selecionada para esse estudo, por se tratar de uma área piloto experimental do projeto Geocerrado. Essa bacia, com cerca de 30 km², está situada na Ecorregião do Planalto Central, localizada ao norte do Distrito Federal, em Planaltina, e abrange parte da área experimental da Embrapa Cerrados. O objetivo do trabalho foi gerar o mapa pedológico da bacia do Sarandi empregando Lógica *Fuzzy* e variáveis morfométricas do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata/INPE) com resolução espacial reamostrada para 30 metros. O mapeamento foi realizado de acordo com os seguintes procedimentos: levantamento dos dados pedológicos; construção das funções de pertinência; geração dos mapas de pertinência das variáveis morfométricas em relação às classes de solo; integração dos mapas de pertinência por meio dos operadores *fuzzy* para obtenção dos mapas de possibilidade *fuzzy* de ocorrência de classe de solo; integração dos mapas de possibilidades de classe de solo para gerar o mapa digital de solos. Foram mapeadas 5 classes de solo: Latossolo Vermelho (43,76%), Latossolo Vermelho Amarelo (21,25%), Latossolo Amarelo (18,85%), Cambissolo Háplico (8,29%) e Gleissolo Háplico (5,75%). O mapa apresentou índices de acurácia geral de 63,64% e Kappa de 55,41%. Conclui-se que a metodologia baseada em Lógica *Fuzzy* possibilitou a confecção do mapa de solos, identificando as classes de solo compatíveis com o mapeamento semi-automático em escala de 1:30.000 e eliminou a parte subjetiva do especialista no processo de delimitação das unidades do mapa de solos.

Palavras-Chave: Gestão Ambiental, Ordenamento Territorial, Gestão de Bacias Hidrográficas, Bioma Cerrado, Projeto GeoCerrado.

5. DIGITAL SOIL MAPPING IN THE SARANDI BASIN, EMPLOYING FUZZY LOGIC

Abstract: The Sarandi basin was chosen for this study due to the fact it is an experimental pilot area of the Geocerrado Project. The afore mentioned basin, which covers an area of circa 30 km², is situated in the Ecoregion of the Planalto Central, which by its turn, is located Northern Distrito Federal, in Planaltina, and covers part of the experimental area of Embrapa Cerrados. The goal of this work was to generate a pedological map of the Sarandi basin employing fuzzy logic and morphometric variables of the Geomorphometric Database of Brazil (Topodata/INPE) with spatial resolution of thirty meters. The mapping process was conducted in accordance with the following procedures: pedological data collection; establishment of concerning functions; bringing concerning morphometrical variables maps related to the soil classes; integration of the concerning maps via fuzzy operators to achieve the soil class occurrence fuzzy possibility maps; integration of the soil class possibility maps to obtain the digital map of soils. Five classes of soils were mapped: Latosolo Vermelho (43.76%), Latosolo Vermelho Amarelo (21.25%), Latossolo Amarelo (18.85%), Cambissolo Háplico (8.29%) and Gleissolo Háplico (5.75%). The map presented rates of general accuracy of 63.64% and Kappa of 55.41%. As a result, the methodology based on fuzzy logic enabled the confection of the map of soils, identifying the soil classes compatible with the semiautomatic mapping in scale of 1:30.000 and ruled out the specialist's subjectivity in the soil map units' delimitation process.

Key words: Environmental Management, Planning, Watershed Management, Cerrado Biome, GeoCerrado Project

5.1. Introdução

O mapeamento convencional de solo vem sendo criticado ao longo do tempo por seu caráter qualitativo (McBratney & Webster, 1981; Minasny *et al.*, 2008). Além disso, o tempo despendido e os altos custos no processo de produção dos mapas dificultam a obtenção das informações pedológicas. Em resposta a essas críticas, nos últimos 30 anos, abordagens quantitativas vêm sendo desenvolvidas objetivando melhorar a precisão e qualidade do mapeamento do solo e seus atributos (McBratney *et al.* 2000, McBratney *et al.*, 2003, Mendonça-Santos & Santos 2003).

As novas abordagens para o mapeamento dos solos, em seu conjunto denominadas Pedometria, são baseadas em modelos numéricos ou estatísticos que integram as variáveis ambientais preditivas com o objetivo de determinar o tipo de solo ou as suas características, em ambiente de Sistemas Geográficos de Informações aplicados (McBratney *et al.* 2000, Mendonça-Santos & Santos 2003).

Nesse sentido, a teoria dos conjuntos *Fuzzy* tem sido amplamente utilizada para o mapeamento de classes e propriedades do solo (Chang & Burrough, 1987; Burrough, 1989; Zhu *et al.*, 1997; Zhu *et al.*, 2001; Carvalho *et al.*, 2009; Zhu *et al.*, 2010a; Zhu *et al.*, 2010b). O desenvolvimento de técnicas digitais de mapeamento de solo baseado em lógica *fuzzy* tem atraído atenção devido à capacidade de capturar e representar a natureza contínua de variação espacial do solo. (McBratney & Odeh 1997, Zhu *et al.*, 1997, Fuks, 1998; McBratney *et al.* 2000, Zhu *et al.* 2001, McBratney *et al.* 2003, Mendonça-Santos & Santos 2003, e Zhu *et al.* 2010).

A Lógica *Fuzzy* é um procedimento alternativo à lógica Booleana, proposta por Zadeh (1965), que apresenta um critério classificatório para lidar sistemas que se caracterizam pela generalidade, ambigüidade e imprecisão. Enquanto os conjuntos tratados pela lógica booleana permitem apenas o uso de funções de associação binária, que identificam os elementos pertinentes ou não pertinentes a uma classe, a lógica *fuzzy* admite também a possibilidade de uma associação parcial, isto é, elementos que são parcialmente pertinentes a uma ou mais classes (Fuks, 1998).

Nos mapeamentos convencionais os tipos de solo são espacialmente representados por um conjunto de polígonos, cujos limites são rígidos e definidos pelo pedólogo baseado na sua experiência. Entretanto, é sabido que as propriedades do solo apresentam em geral uma variação espacial contínua e freqüentemente graduais. A aplicação da Lógica *Fuzzy* para mapeamento possibilita a definição de classes sem o estabelecimento de limites rígidos, mais

adequados às mudanças graduais que ocorrem no solo (Fuks, 1998; McBratney *et al.*, 2003; Mendonça-Santos & Santos, 2003).

Nos mapeamentos realizados por meio da Lógica *Fuzzy* é possível determinar e mapear distribuições de possibilidade de acordo com algum critério classificatório para várias características do solo, como classes taxonômicas e propriedades. É importante ressaltar que medidas de possibilidade estão relacionadas a conjuntos com limites imprecisos, enquanto medidas de probabilidade se relacionam com conjuntos de limites precisos (Zadeh, 1990; Fuks, 1998).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi aplicar a técnica de Lógica *Fuzzy* para gerar um mapa de solos da Bacia do Rio Sarandi, Distrito Federal, com a utilização de sistemas de informações geográficas e variáveis morfométricas.

5.2. Materiais e Métodos

5.2.1. Área de Estudo

A bacia do Sarandi possui cerca de 30 km². Localiza-se a Norte do Distrito Federal, na região administrativa de Planaltina, e abrange parte da área do Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado, Embrapa Cerrados. O Rio Sarandi compõe a sub-bacia Mestre D'Armas, na Bacia do São Bartolomeu (Fonseca *et al.* 2010), (Figura 28).

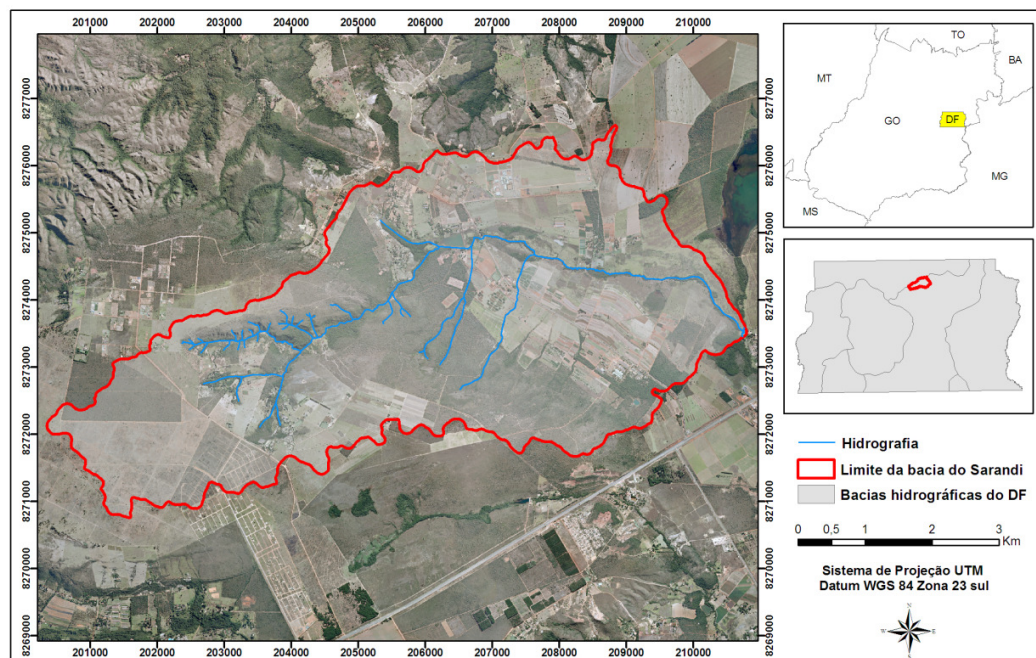


Figura 28 - Localização da bacia experimental do Sarandi – DF.

Cerca de 40% da área da bacia do Sarandi ainda apresenta cobertura natural, principalmente na área compreendida pela reserva da Embrapa Cerrados. A fitofisionomia predominante é o Cerrado Sentido Restrito, podendo-se encontrar ainda Cerradão, matas de galeria, formações campestres e veredas (Ribeiro e Walter, 2006).

O clima da bacia de acordo com a classificação de Köppen é do tipo tropical com alta precipitação pluviométrica no verão (entre os meses de novembro e janeiro), e baixa precipitação no inverno (entre os meses de junho e agosto). Anualmente a precipitação varia em torno de 1.500 mm concentrados entre setembro e abril. A média anual de temperatura é 20°C (Macedo, 1986; Fonseca *et al.*, 2010).

A bacia do Sarandi é predominantemente composta por Metarritimito argiloso, Metarritimito arenoso e Psamo-pelito carbonatada, do Grupo Paranoá. (Campos & Freitas Silva, 1988).

Em relação à Geomorfologia, a bacia do Sarandi pode ser dividida em quatro compartimentos principais: as chapadas, caracterizadas por relevo plano a suave - ondulado, com cotas altimétricas variando entre 1200 a 1100 metros; as frentes de recuo erosivo, que representam as bordas das chapadas com relevo acidentado e escarpado em alguns pontos, acentuando a quebra do relevo; as rampas de colúvio, de conformidade suave e com altitudes entre 800 e 900 metros e as áreas hidromórficas próximas as áreas de drenagem (Messias *et al.*, 2013).

A bacia do Sarandi é composta por áreas naturais e antrópicas. Em geral, na chapada predomina a agricultura de sequeiro; nas rampas de colúvio é desenvolvida agricultura irrigada; e as frentes de recuo são a porção mais preservada da bacia, abrangida pela reserva da Embrapa Cerrados

5.2.2. Metodologia

Os procedimentos empregados no mapeamento estão descritos de forma sintética na Figura 29:

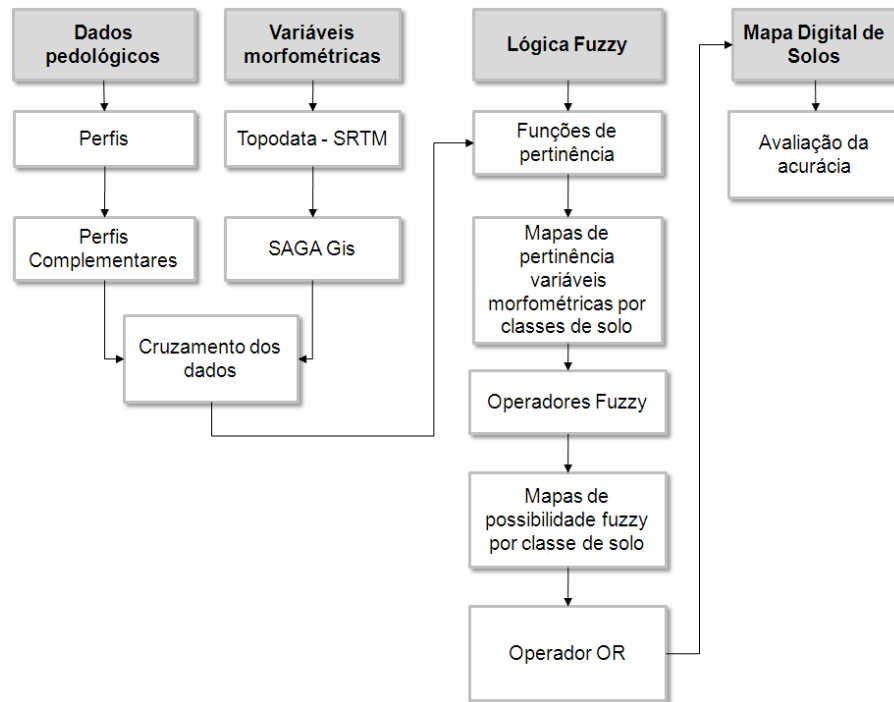


Figura 29 - Procedimentos empregados para o mapeamento de solos na bacia do Sarandi utilizando Lógica *Fuzzy*

5.2.2.1. Construção da base de dados pedológicos

A base de dados utilizada para a elaboração do mapa pedológico é composta por três conjuntos de dados. O primeiro, denominado “Perfis” é constituído por 13 perfis de solo levantados em bibliografia.

O segundo conjunto de dados, denominado Sarandi Fase I (SA), foi obtido por meio de coleta de amostras em campo. Os pontos amostrais foram alocados de acordo com a compartimentação geomorfológica da bacia (Messias *et al.*, 2013) e a área foi percorrida com auxílio do mosaico de fotografias aéreas do Distrito Federal (SICAD, 2009) e de um GPS. Ao todo, foram visitados 38 pontos de coleta, totalizando 180 amostras de solo.

O terceiro conjunto de dados, constituído por 33 pontos de observação, foi obtido por meio de visitas de campo, onde foram realizadas amostragens para reconhecimento da classe solo, no entanto, sem caracterização químico-física.

Os procedimentos para a aquisição e a descrição detalhada dos dados são abordados no Capítulo 3.

5.2.2.2. Aquisição das variáveis morfométricas

Foram obtidas as variáveis morfométricas locais: altimetria, declividade, orientação de vertente e curvaturas vertical e horizontal, do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (Topodata/INPE). Os dados do projeto Topodata são derivados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e reamostrados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (aproximadamente 90 metros) para 1 arco-segundo (aproximadamente 30 metros) (Valeriano & Albuquerque, 2010). Os dados Topodata foram selecionados para esse estudo por motivos de padronização da base de dados, disponibilidade gratuita e abrangência nacional. Os métodos empregados para a obtenção de cada variável estão relatados em Valeriano & Albuquerque (2010).

Em virtude dos resultados apresentados no Capítulo 4, relativos ao mapeamento pedológico semi-automático da bacia do Sarandi por meio de atributos morfométricos, onde não foi possível identificação de áreas hidromórficas, neste trabalho, novas variáveis foram incluídas buscando a sua discriminação.

As novas variáveis foram geradas a partir do MDE (variável Altimetria, obtida do TOPODATA) pelo software SAGA GIS 2.0 (*System for Automated Geoscientific Analyse*), disponível para download gratuito no site do projeto (<http://sourceforge.net/projects/saga-gis>). Foram geradas seis novas variáveis: Índice de Umidade Topográfico, Fator LS, Declividade Relativa, Área de Contribuição, Fluxo Acumulado e Índice de Convergência. Após a realização de alguns testes, verificou-se que apenas duas variáveis apresentaram relevância na distinção de classes de solo, Índice de Umidade Topográfico e Fator LS.

O Índice de Umidade Topográfico (TWI) é aplicado para a separação dos solos com caráter hidromórfico, que ocorrem em relevo plano, e de outras classes de solos que ocorrem em áreas planas e suave onduladas (Moore et. al., 1993; Sitoli, 2008; Prates, 2010; Zhu *et al.*, 2010). O Fator Topográfico (LS Factor) auxilia na caracterização do fluxo de escoamento superficial ao longo das vertentes (Silva, 2003). O Quadro 4 apresenta a descrição de cada variável adquirida.

Quadro 4 - Variáveis morfométricas

Variável Morfométrica	Conceito	Como é estimada	Unidade de medida
Altimetria (MDE)	Registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude do relevo.	Imageamento por radar (SRTM)	Metros

Declividade	Ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal.	Proporção entre desníveis altimétricos entre pixels vizinhos e suas respectivas distâncias horizontais.	Graus, 0 a 90° ou porcentagem, 0 ao infinito.
Direção de vertentes	É uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial.	Operações trigonométricas sobre as componentes ortogonais da declividade.	Ângulo azimutal expresso em graus, 0° a 360°
Curvatura horizontal	Expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. Refere-se ao caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo.	Mudança da orientação de vertentes em relação à distância horizontal, ao longo das curvas de nível.	Ângulo por distância
Curvatura vertical	Expressa o formato da vertente quando observada em perfil. Refere-se ao caráter convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil. Apresentam valores positivos, se côncavo, e negativos, se convexos.	Observação de dois segmentos consecutivos de vertente ao longo de uma linha de fluxo. Tal condição requer a observação de três pixels sequenciais.	Ângulo por distância
Índice de Umidade Topográfico (TWI)	Distribuição espacial de zonas de saturação superficial e conteúdo de água nas paisagens.	Função da declividade e da área de contribuição por unidade de largura ortogonal à direção do fluxo	Adimensional
Fator Topográfico – LS Factor	Razão entre o comprimento das vertentes (L) e a declividade (S).	Produto dos fatores L e S, calculados em função da declividade, direção de fluxo e quantidade de fluxo acumulado por pixel.	Adimensional

Fonte: Florenzano, 2008; Sirtoli, 2008; Valeriano, 2008; Valeriano e Albuquerque, 2010; Silva, 2003; Soares Neto; 2011.

5.2.2.3. Lógica *Fuzzy*

Os procedimentos em Lógica *Fuzzy* foram executados pela extensão Arc SDM (Spatial Data Modeller) para ArcGis 9.3 (Sawatzky *et al.*, 2009). O Arc SDM é uma coleção de ferramentas de geoprocessamento para a produção de mapas preditivos, desenvolvido por meio de uma cooperação entre os Serviços Geológicos dos Estados Unidos, Canadá e Finlândia, ESRI e Universidade de Campinas. A extensão é gratuita e está disponível na página do Instituto de Geociências da Universidade de Campinas (http://www.ige.unicamp.br/sdm/default_e.htm).

A Figura 30 apresenta de forma sintética processo de aplicação da Lógica *Fuzzy* para gerar o mapa digital de solos.

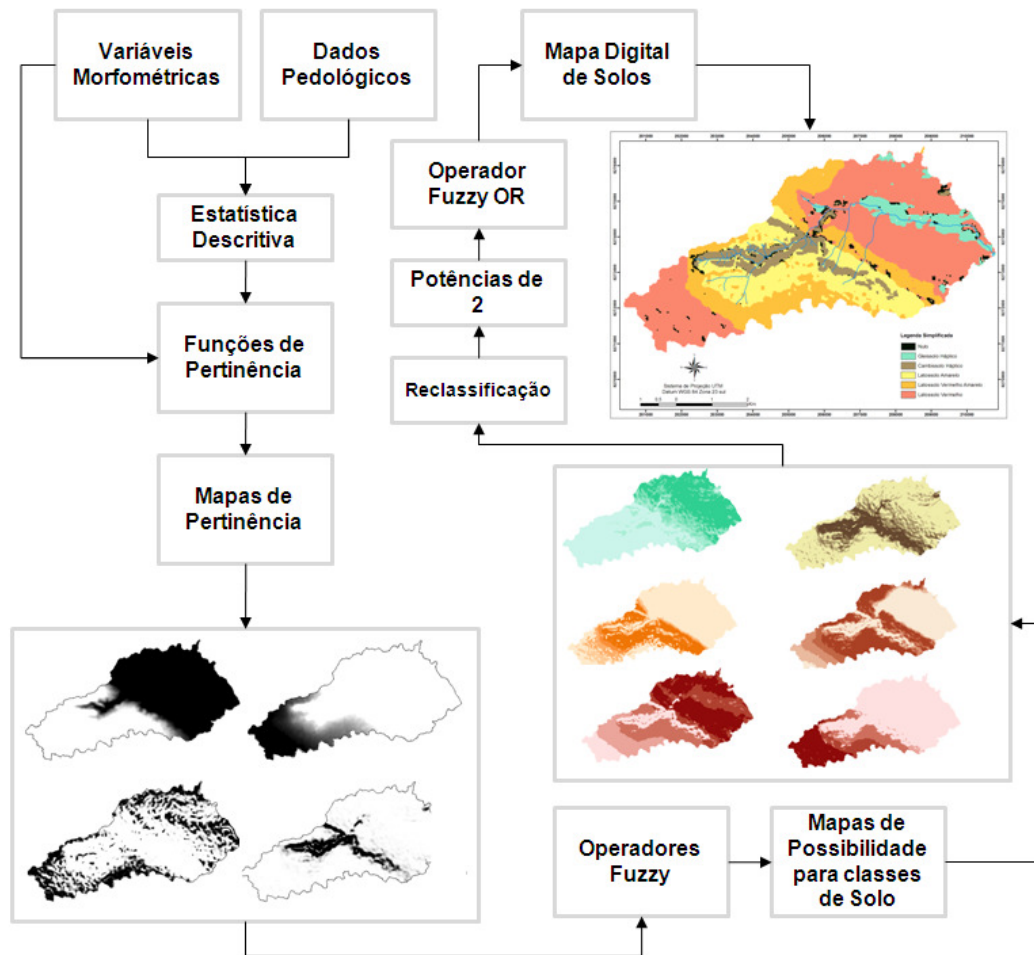


Figura 30 - Aplicação de Lógica *Fuzzy* para o mapeamento digital de solos na bacia do Sarandi

Primeiramente, foram gerados mapas raster de pertinência das variáveis morfométricas em relação à classe de solo por meio de funções de pertinência. As funções de pertinência determinam se o elemento avaliado pertence ou não a um conjunto de análise, dado o valor de um atributo. O valor de pertinência é um numero entre 0 e 1, assumindo o valor 1 quando o elemento analisado pertence totalmente ao conjunto de análise, o valor 0 quando não pertence, e um valor entre 0 e 1 quando a pertinência é parcial. As funções são construídas fornecendo-se o intervalo de valores da variável morfométrica em que ocorre a classe de solo.

Para determinar esses intervalos e gerar as funções de pertinência foi realizada a estatística descritiva do conjunto de dados pedológicos amostrais da bacia (perfis e perfis complementares), descritos no Capítulo 3. Os dados pedológicos foram separados por classe de solo (até o 2º nível de classificação), e para cada perfil foram extraídos os valores das

variáveis morfométricas. Foi realizada a estatística descritiva desses dados, partir da qual se obteve os valores de média, mínimo e máximo.

As funções e os mapas de pertinência são gerados em um mesmo processo pela ferramenta *Fuzzy Membership*. Como parâmetros, são requeridos a forma da função, o *midpoint*, e o *spread*. A forma da função pode ser *Gaussian*, *Large*, *Linear*, *Near*, *Small*, *MS Large* ou *MS Small*; o *midpoint* refere-se ao valor da variável que tem pertinência 0,5 para a classe de solo; o *spread* define se a curva da função será abrupta ou suave, ou seja, o tamanho do intervalo de dados. A função linear não requer o parâmetro *midpoint*, e sim os valores máximo (pertinência 1) e mínimo (pertinência 0).

Foi gerado um raster de pertinência de cada variável morfométrica em relação a cada classe de solo. A forma da função foi escolhida de acordo com as variáveis morfométrica e os intervalos de valores em que as classes de solo ocorriam. A dificuldade do processo está em selecionar a melhor forma de função para identificar a ocorrência das classes de solo em cada variável, assim várias formas de funções foram testadas.

Essa etapa refere-se ao processo denominado “fuzzificação dos dados”, em que são atribuídos por meio das funções de pertinência, pesos entre 0 e 1 para os valores das variáveis morfométricas. Esses “pesos” representam a possibilidade de ocorrência de determinado solo de acordo com o valor da variável morfométrica. Assim, quanto maior a pertinência, maior a possibilidade de ocorrência do solo.

Em seguida, os mapas de pertinência foram integrados por meio dos operadores *fuzzy* And, Product e Gamma, gerando um mapa de possibilidade *fuzzy* para cada classe de solo. Os operadores *fuzzy* relacionam a um conjunto de valores *fuzzy* (mapas de pertinência) um único valor, integrando vários planos de informação (Fuks, 1998).

Para gerar o mapa digital de solos foi necessário integrar os mapas de possibilidades de classes de solo, atribuindo a cada pixel, a classe de solo que apresentasse o maior valor de pertinência. Os mapas de possibilidades foram reclassificados seguindo o seguinte critério: se o valor de pertinência for maior ou igual a 0,8 será atribuído o valor 1; se o valor de pertinência for menor que 0,8 será atribuído o valor 0. Em seguida, cada mapa foi multiplicado por uma seqüência de potências de 2, em que o valor zero corresponde a ausência de ocorrência de determinada classe. Essa técnica permitiu que as classes de solo pudessem ser expressas no mapa final com valores que pudessem ser reconhecidos, evitando ambigüidades que poderiam levar a interpretações errôneas. O operador OR foi utilizado para integrar os mapas de possibilidade e gerar o mapa digital de solos.

5.2.2.4. Validação

Para validação dos resultados foram utilizados métodos estatísticos multinominais de se medir a acurácia, derivados de uma matriz de confusão (Congalton & Green, 1993, Lillesand & Kieffer, 1994). A matriz de erros ou de confusão identificou o erro global da classificação para cada classe de solo, mostrando também como se deram as confusões entre as classes.

Por meio da matriz de confusão obteve-se os seguintes parâmetros: acurácia geral (AG), que é a medida geral de adequação do modelo preditivo; acurácia do usuário (AU), que mede o quanto um usuário ao observar o mapa irá encontrar no campo a classe mapeada; acurácia do produtor (AP), que é o valor de concordância entre o campo e o estimado; e a acurácia pelo coeficiente Kappa de Cohen, que mensura a concordância entre dados previstos e a verdade de campo (Cohen, 1960; Rossiter, 2004; Bilich, 2012).

5.3. Resultados

No mapeamento digital de solos baseado em lógica *fuzzy* foram identificadas as seguintes classes de solo: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Amarelo, Cambissolo Háplico e Gleissolo Háplico. A classe Latossolo Vermelho foi dividida em LV Chapada e LV Depressão, considerando a posição que ocupam na paisagem, que implica em valores diferentes para algumas variáveis morfométricas.

5.3.1. Funções e mapas de pertinência

A partir dos valores obtidos na análise estatística dos pontos e perfis de solos, foi gerada uma tabela com os valores de média, máximo e mínimo de cada variável para cada classe de solo (Tabela 12). Estes dados foram utilizados para determinação do intervalo de valores das variáveis morfométricas em que ocorrem as classes de solo.

Tabela 12 - Parâmetros empregados para a construção das funções de pertinência - valores das variáveis morfométricas por classe de solo.

Solo	Parâmetro	Altimetria	Declividade	Curvatura Horizontal	Curvatura Vertical	LS Factor	TWI
LV Chapada	Média	1210,455	4,800	0,200	0,861	0,455	7,359
	Mínimo	1181,690	3,406	-0,100	0,623	0,322	7,103
	Máximo	1232,710	6,805	0,800	0,966	0,728	7,549
LV Depressão	Média	1008,109	4,990	-0,258	0,475	0,573	6,739
	Mínimo	976,084	2,257	-2,067	0,120	0,254	6,342
	Máximo	1052,670	9,276	0,300	0,952	1,674	7,341
LVA	Média	1061,364	7,378	0,033	0,834	0,840	6,087

	Mínimo	994,705	2,837	-0,900	0,131	0,283	4,674
	Máximo	1167,840	13,062	0,367	1,000	1,288	7,117
LA	Média	1120,215	5,855	-0,086	0,745	0,770	6,598
	Mínimo	997,494	3,595	-0,333	0,179	0,345	5,360
	Máximo	1173,840	8,873	0,167	1,000	1,523	7,497
CX	Média	1073,865	23,772	-0,033	0,524	3,570	4,947
	Mínimo	1039,390	18,706	-0,267	0,228	2,258	4,820
	Máximo	1108,340	28,838	0,200	0,819	4,883	5,074
GX	Média	981,520	4,090	-0,311	0,046	0,496	7,638
	Mínimo	968,953	2,770	-1,600	0,001	0,090	7,305
	Máximo	993,723	5,435	0,400	0,093	0,728	8,028

Legenda: LV – Latossolo Vermelho; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LA – Latossolo Amarelo; CX – Cambissolo Háplico; RQ – Neossolo Quartzarênico; GX – Gleissolo Háplico; MDE – Modelo Digital de Elevação; LS Factor – Fator Topográfico; TWI – Índice de Umidade Topográfica.

As formas das funções para gerar os mapas de pertinência foram Gaussian, Linear, Large e Small, selecionadas de acordo com testes onde várias formas de funções foram testadas até que o intervalo desejado fosse captado.

O Quadro 5 apresenta os operadores utilizados na elaboração de cada mapa de possibilidade *fuzzy* para classe de solo.

Quadro 5 - Mapas *fuzzy* de classes de solo

Classe de solo	Operador <i>Fuzzy</i>	Mapas de pertinência
LV Chapada	And	Declividade, MDE e Curvatura Vertical
LV Depressão	And	Declividade, MDE e TWI
LVA	Product	Declividade, MDE1 e MDE 2
LA	And	Declividade, MDE1, MDE2 e LS Factor
CX	Product	Declividade, MDE e LS Factor
GX	Gamma	Declividade, MDE e TWI

Legenda: LV – Latossolo Vermelho; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LA – Latossolo Amarelo; CX – Cambissolo Háplico; RQ – Neossolo Quartzarênico; GX – Gleissolo Háplico; MDE – Modelo Digital de Elevação; LS Factor – Fator Topográfico; TWI – Índice de Umidade Topográfica.

Uma das limitações do processo de mapeamento se deve ao fato de que as formas de funções disponíveis na extensão Arc SDM não são suficientes para descrever a pertinência das variáveis morfométricas em relação às classes de solo. Devido a esse fato, foi necessário gerar dois mapas de pertinência da variável MDE para as classes LVA e LV, visto que apenas um mapa não captaria o intervalo de ocorrência dessas classes.

Na Figura 31 são apresentados os mapas de possibilidade *fuzzy* para classes de solo e os mapas de pertinência que foram integrados para sua composição.

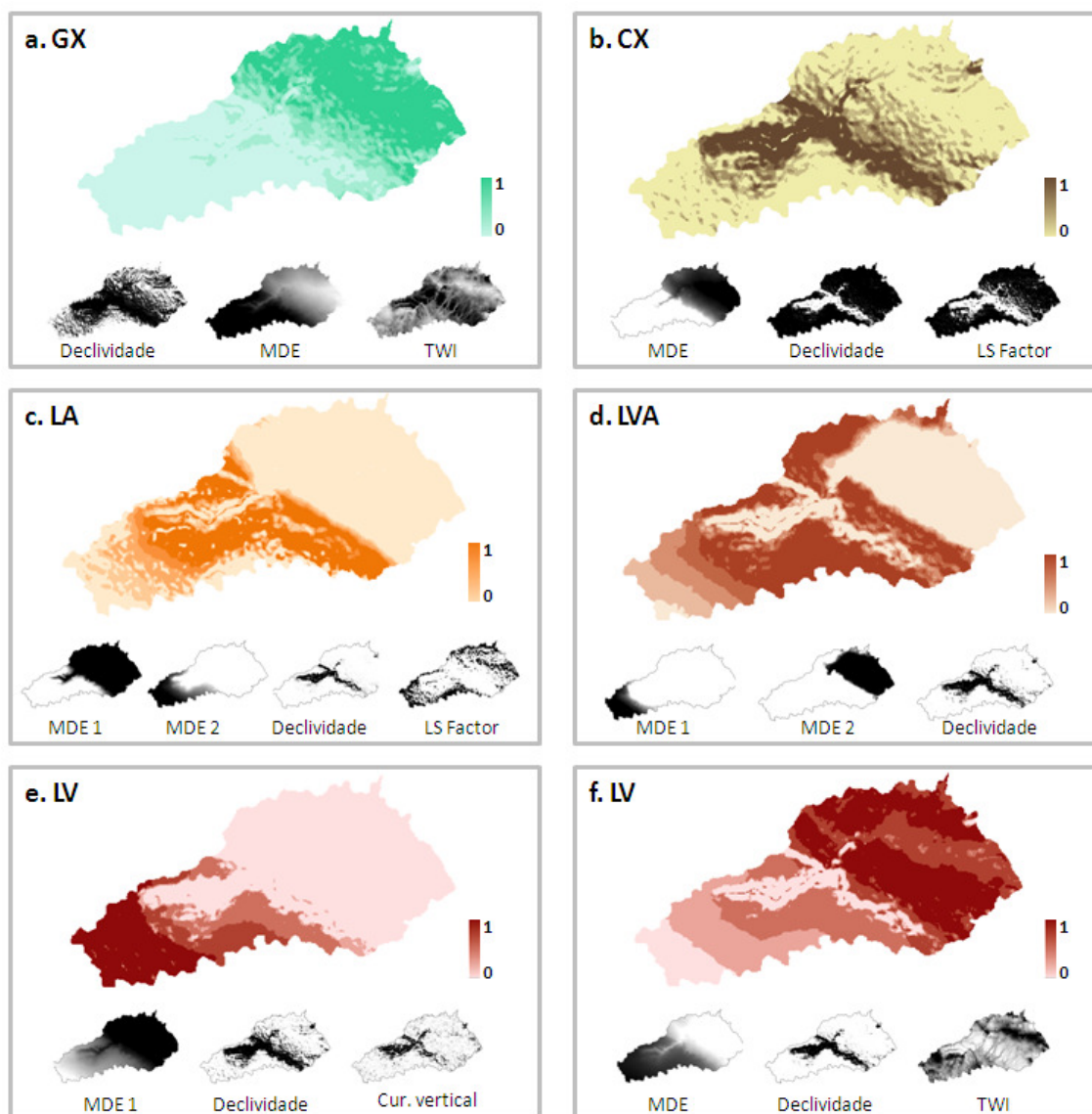


Figura 31 - Mapas de possibilidades *fuzzy* para classes de solos e mapas de pertinência solo/variável morfométrica

Legenda: GX – Gleissolo Háplico; CX – Cambissolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LV – Latossolo Vermelho Chapada; MDE – Modelo Digital de Elevação; TWI – Índice Topográfico de Umidade.

5.3.2. Mapa digital de solos e validação

O mapa digital de solos foi gerado a partir da integração dos mapas de possibilidade *fuzzy* de cada classes de solo, até o segundo nível categórico de classificação (Embrapa,

2009). Foram identificadas as classes: Latossolo Vermelho (43,76%), Latossolo Vermelho Amarelo (21,25%), Latossolo Amarelo (18,85%), Cambissolo Háplico (8,29%) e Gleissolo Háplico (5,75%). No processo de integração dos mapas de possibilidade *fuzzy* para gerar o mapa digital, foram identificados vazios, áreas às quais não foi atribuída nenhuma classe de solo (valor nulo – 2,1%) (Figura 32).

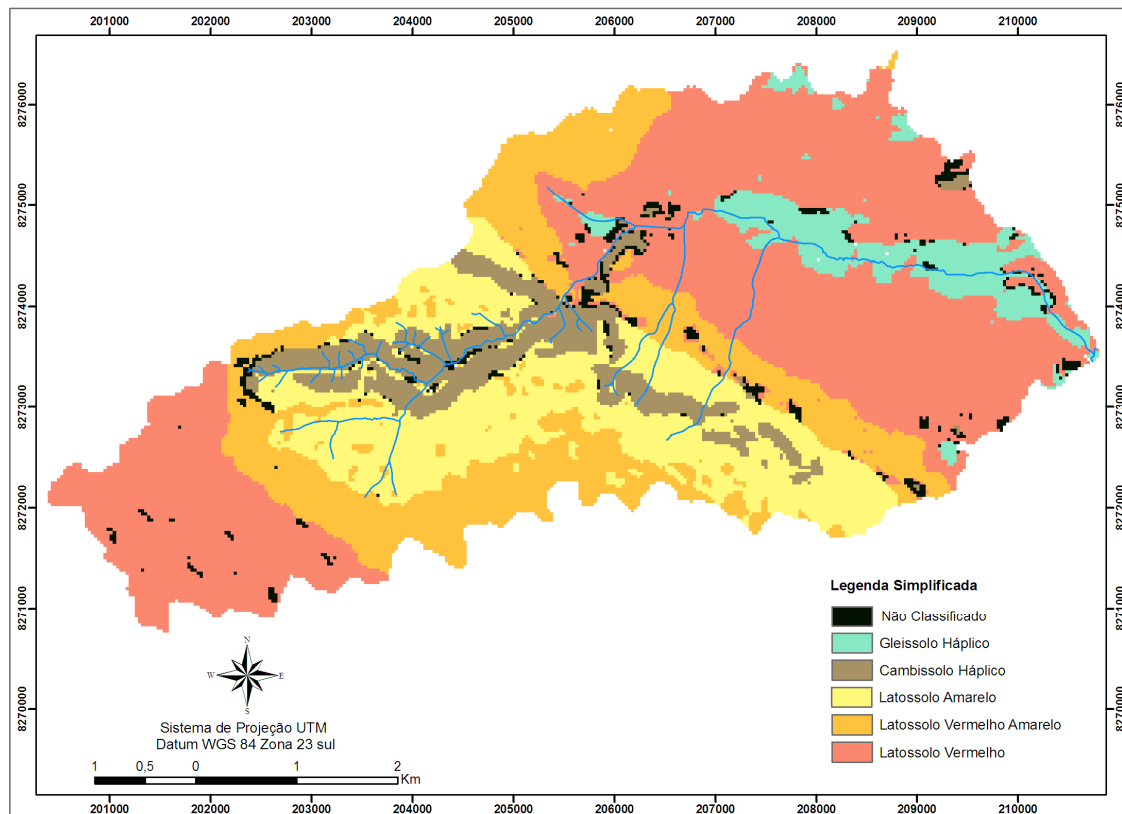


Figura 32 - Mapa digital de solos da bacia do Sarandi

De acordo os resultados da Validação baseada no mapa semi-automático realizado no Capítulo 4 como verdade de campo (Tabela 16), verificou-se que a acurácia global (AG) apresentou resultado satisfatório, 73,81%, e o índice Kappa, 63,96%. Os melhores resultados foram obtidos para as classes Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo, que apresentaram respectivamente 85,56% e 77,23% para AU. O Gleissolo Háplico foi a classe que apresentou o menor valor para AU, 46,56%.

Tabela 13 - Matriz de confusão e índices de acurácia do mapeamento para baseados no Mapa Semi-automático.

Mapa Semi-automático (km ²)	Mapa Fuzzy (km ²)									AU (%)
	Nulo	GX	CX	LV	LVA	LA	GM	RQ	Total	
Nulo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	*
GX	0,17	1,42	0,07	1,17	0,02	0,19	0,00	0,00	3,06	46,56
CX	0,15	0,00	2,13	0,04	0,04	0,68	0,00	0,00	3,05	69,98
LV	0,11	0,33	0,01	11,01	1,27	0,14	0,00	0,00	12,87	85,56
LVA	0,10	0,01	0,04	1,09	4,44	1,12	0,00	0,00	6,81	65,23
LA	0,14	0,00	0,29	0,06	0,57	3,60	0,00	0,00	4,67	77,23
GM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,16	*
RQ	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	*
Total	0,69	1,76	2,53	13,38	6,52	5,76	0,00	0,00	30,64	
AP (%)	*	80,67	84,12	82,31	68,16	62,60	*	*		

Kappa: 63,96%

AG: 73,81%

Legenda: Legenda: CX – Cambissolo Háplico; GM – Gleissolo Melânico; GX – Gleissolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LV – Latossolo Vermelho Chapada; RQ – Neossolo Quartzarênico; AU – Acurácia do Usuário; AP – Acurácia do produtor; AG – Acurácia Geral.

Para a Validação que utilizou os pontos de observação apresentados no Capítulo 3, o índice Kappa foi de 55,41% e a AG 63,64% (Tabela 14). As classes que apresentaram melhor resultado foram Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo, com valores respectivos de 100% e 86% para AU. A classe que apresentou menor AU foi Gleissolo Háplico, 29%.

Tabela 14 - Matriz de confusão e índices de acurácia do mapeamento para validação baseada nos Pontos de Observação.

Pontos de Validação	Mapa Fuzzy									AU (%)
	Nulo	GX	CX	LV	LVA	LA	FF	RQ	Total	
Nulo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*
GX	1	2	0	2	1	1	0	0	7	29
CX	0	0	2	0	0	2	0	0	4	50
LV	0	0	0	4	0	0	0	0	4	100
LVA	0	0	0	2	7	0	0	0	9	78
LA	0	0	1	0	0	6	0	0	7	86
FF	0	0	1	0	0	0	0	0	1	*
RQ	0	0	1	0	0	0	0	0	1	*
Total	1	2	5	8	8	9	0	0	33	
AP (%)		100,00	40,00	50,00	87,50	66,67	*	*		
Kappa: 55,41%										
AG: 66,64%										

Legenda: Legenda: CX – Cambissolo Háplico; FF – Plintossolo Pétrico; GM – Gleissolo Melânico; GX – Gleissolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LV – Latossolo Vermelho Chapada; RQ – Neossolo Quartzarênico; AU – Acurácia do Usuário; AP – Acurácia do produtor; AG – Acurácia Geral.

Apesar do mapeamento *Fuzzy* para a bacia do Sarandi apresentar grande correlação com o mapeamento semi-automático e índices satisfatórios de acurácia, deve-se considerar que o caso da bacia do Sarandi apresenta particularidades, devido ao fato de ser uma bacia experimental, monitorada e com grande quantidade de dados pedológicos (perfis e perfis complementares) levantados no âmbito do projeto Geocerrado.

Em comparação ao mapeamento semi-automático apresentado no Capítulo 4, o Mapa *Fuzzy* apresentou semelhanças em relação às áreas das classes de solo mapeadas, como pode ser observado na Tabela 15. As classes que apresentaram maior diferença de áreas entre os dois mapeamentos foram Gleissolo Háplico e Latossolo Amarelo.

Tabela 15 - Comparação entre áreas mapeadas - Mapa Semi-automático e Mapa *Fuzzy*

Classe de Solo	Mapa Semi-automático (%)	Mapa <i>Fuzzy</i> (%)
Não classificado	0,00	2,10
GM	0,52	0,00
GX	9,92	5,75
CX	9,83	8,29
LA	15,09	18,85
LVA	22,46	21,25
LV	42,07	43,76
RQ	0,07	0,00

Legenda: CX – Cambissolo Háplico; GM – Gleissolo Melânico; GX – Gleissolo Háplico; LA – Latossolo Amarelo; LVA – Latossolo Vermelho Amarelo; LV – Latossolo Vermelho Chapada; RQ – Neossolo Quartzarênico.

As classes de solo Gleissolo Melânico (GM), Neossolo Litólico (RL) Neossolo Quartzarênico (RQ), Plintossolo Pétrico (FF) e Plintossolo Háplico (FX), presentes na área de estudo, não foram identificadas. Isso pode ter ocorrido devido à resolução do MDE utilizado (30 metros) que não permitiu a distinção das unidades de mapeamento menores, e também devido as variáveis morfométricas utilizadas.

Em comparação, no mapeamento semi-automático, apresentado no Capítulo 4, essas classes também não foram identificadas na compartimentação de relevo que subsidiou o

mapeamento. Apenas as classes Gleissolo Melânico (0,52%) e Neossolo Quartzarênico (0,07%) foram mapeadas, e com base na interpretação da fotografia aérea de resolução de 10 metros. As classes Plintossolo Pétrico e Plintossolo Háptico foram associadas a outras classes de solo, pois não foi possível delimitá-las.

Também se deve considerar que o mapeamento semi-automático foi ajustado por meio de pontos de observação e visitas em campo com subsídio de uma imagem de alta resolução espacial (10 metros), enquanto para o mapeamento *Fuzzy* não foi realizada a etapa de ajustamento.

No presente estudo foram utilizadas apenas variáveis morfométricas (atributos de relevo) a fim de realizar uma comparação com a metodologia apresentada no Capítulo 4, que emprega a compartimentação de relevo como subsídio ao mapeamento. Zhu *et al.*, (2010) realizou com sucesso o mapeamento de solos com Lógica *Fuzzy* para uma bacia hidrográfica na China, com área de 54 km² utilizando apenas as variáveis declividade, curvaturas e índice de umidade topográfico, considerando que esses seriam as principais variáveis controladoras da distribuição dos solos e alcançando um índice de 76% de acurácia. Por outro lado, a adição de outras variáveis ambientais como geologia e vegetação pode aumentar a acurácia do mapeamento e contribuir para a melhor identificação das classes de solo, como apresentado por Carvalho *et al.* (2009), para o mapeamento pedológico na bacia do Mucugê utilizando Lógica *Fuzzy*.

Apesar de a Lógica *Fuzzy* fornecer a variação gradual da possibilidade de ocorrência da classe de solo, existe a dificuldade em representar essa variação no mapa final de classes de solo, que normalmente são apresentados com limites rígidos, assim como nos mapas tradicionais. Entretanto, mesmo no mapa final com classes de limites discretos foi possível identificar áreas para as quais nenhum valor para classe de solo foi atribuído (Não classificado). Essas áreas podem representar as transições e misturas entre as classes, e ainda, as classes de solos ocorrentes na área que não foram identificadas no mapa *fuzzy*.

A aplicação da Lógica *Fuzzy* em mapeamento digital de solos exige o conhecimento prévio da área de estudo, empírico (conhecimento especialista) ou advindo de dados amostrais e mapeamentos prévios. Entretanto, Zhu *et al.*, (2010) demonstrou que é possível o mapeamento de classes e atributos de solo em uma área com pouco ou nenhum conhecimento por meio da Lógica *Fuzzy* associada à metodologia de amostragem direcionada denominada “*Purposive Sampling*”, proposta por Yang *et al.*, (2007).

5.4. Conclusões

A aplicação de Lógica *Fuzzy* para o mapeamento de classes de solo na bacia do Sarandi, baseado em parâmetros morfométricos extraídos do SRTM (TOPODATA - 30m) apresentou resultados semelhantes ao mapeamento semi-automático em escala de 1:30.000 e eliminou a parte subjetiva do especialista no processo de delimitação das unidades do mapa de solos.

Um fato importante no processo de geração deste mapa de solos é a existência de áreas não classificadas, as quais nenhum valor para classe de solo foi atribuído (Não classificado). Essas áreas podem representar as transições e misturas entre as classes, ou ainda, as classes de solos que ocorrem na área que não foram identificadas no mapa *Fuzzy*.

É válido ressaltar que a Lógica *Fuzzy* é um modelo orientado pelo usuário. O processo de construção do mapa passa por duas fases onde o conhecimento do usuário é fundamental. A primeira é na seleção dos mapas de entrada que serão usadas como os elementos preditivos e a segunda, na determinação do grau de pertinência das variáveis analisadas, definindo os intervalos e as funções a serem usadas. Para tentar eliminar a subjetividade na segunda fase, pretende-se em trabalhos futuros utilizar a probabilidade bayseana para a definição dos limites. Para casos de áreas sem nenhum conhecimento pedológico prévio pode-se associar a Lógica *Fuzzy* à metodologia de amostragem direcionada denominada “*Purposive Sampling*”, elaborada por Yang *et al.*, 2007 e aplicada por Zhu *et al.* (2010) para mapeamento pedológico com Lógica *Fuzzy*.

Mesmo considerando os bons resultados, algumas limitações no processo metodológico foram encontradas, entre as quais merecem destaque:

1. As funções de pertinência existentes na extensão Arc SDM (ArcGis), ou mesmo aquelas já disponíveis na versão 10.1 do ArcGis, não são suficientes para descrever a possibilidade de ocorrência das classes de solo a serem preditas em relação às variáveis morfométricas. Devido a esse fato, foi necessário gerar dois mapas de pertinência das variáveis do MDE para as classes Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho, visto que apenas uma função não foi capaz de prever o intervalo de ocorrência dessas classes.
2. A dificuldade em representar cartograficamente a variação contínua da possibilidade de ocorrência da classe de solo no mapa final, que normalmente são apresentados com limites rígidos na literatura (Zhu *et al.*, 2010; Carvalho *et al.*, 2009;), da mesma forma que os mapas tradicionais.

3. As classes de solo Gleissolo Melânico (GM), Neossolo Litólico (RL) Neossolo Quartzarênico (RQ), Plintossolo Pétrico (FF) e Plintossolo Háptico (FX), presentes na área de estudo e descritas no Capítulo 3, não foram identificadas. Isso pode ter ocorrido devido à resolução das variáveis morfométricas (30 metros), que não permite definir intervalos de variação correlacionados a classes menores, ou devido às mesmas serem de localização muito restrita que não podem ser percebidas nesta escala de trabalho (1:30.000).

Para trabalhos futuros pretende-se utilizar os resultados obtidos nesse mapeamento para extrapolar a informação pedológica e testar essa mesma técnica em áreas maiores, com características morfométricas e padrão de organização de solo semelhantes à bacia do Sarandi, como a bacia do São Bartolomeu.

Referências

- BILICH M.R. 2012. Mapeamento digital de solos no Distrito Federal. Tese de doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.
- BURROUGH P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, 40: 477-482.
- CAMPOS J.E.G. & FREITAS-SILVA F.H. 1999. Geologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília: SEMATEC: IEMA: MMA-SRH.
- CARVALHO, C. C. N.; FRANCA-ROCHA, W. ; SANTO, E. B. E. 2009. Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* vol. 13, 1:46-55.
- CHANG L., BURROUGH P.A. 1987. Fuzzy reasoning: a new quantitative aid for land evaluation. *Soil Survey and Land Evaluation* 7: 69–80.
- COHEN J. 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, v. 20, 1: 37–46.
- CONGALTON, R.; Green, K. (1993) A practical look at the sources of confusion in error matrix generation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 59: 641-644.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 2009. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro. 412p.
- FLORENZANO, T. G (Org.). 2008. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 320p.
- FONSECA C. P., GOMES A.C.C., FIGUEIREDO G.M.L., JOVELI J.C., SOARES L.C., TOLEDO S.P. 2010. Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. *Ambiente & Água*, 5:43-56.
- FUKS, S.D. 1998. Novos modelos para mapas derivados de informações de solos. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., (Eds.) *Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, 434p.
- ZADEH L.A. 1990. The birth and evolution of fuzzy logic. *General Systems*, 95–105.
- LILLESAND T. M. & KIEFER R. W. 1994. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, Chichester, 750p.
- MACEDO J. 1986. Morphology, mineralogy, and genesis of hydrosequence of oxisols in Brazil. Tese de Mestrado, Faculty of the Graduate School, Cornell University, 73 p.
- McBRATNEY A. B., ODEH I.O.A., BISHOP T.F.A., DUNBAR M.S., SHATAR T.M. 2000. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. *Geoderma*, 97: 293-327.
- McBRATNEY A.B., MENDONÇA SANTOS M.L. MINASNY B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117:3-52.
- McBRATNEY A.B., ODEH I.O.A. 1997. Application of fuzzy sets in soil science:fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. *Geoderma* 77, 85-113.
- McBRATNEY, A. B. & WEBSTER, R. 1981. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland. *Geoderma*, 26: 63-82.

- MENDONÇA-SANTOS M. L., SANTOS H. G. 2003. Mapeamento digital de classes e atributos de solos: métodos, paradigmas e novas técnicas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA, Rio de Janeiro, Documento nº 55, 19p.
- MESSIAS A., REATTO A., COUTO Jr A. F., MARTINS E. S., SOUZA J. P. S., PRADO M. (em preparação) 2013. Caracterização geomorfológica da bacia do Sarandi, escala 1:30.000. (submetido para publicação). Brasília, Boletim de Pesquisa (Aceito ainda sem data de publicação).
- MINASNY B, MCBRATNEY A.B., CARRÉ F. 2008. Encyclopedia of Soil Science. CRC Press, Flórida. 902 p.
- MOORE I.D., GESSLER P.E., NIELSEN G.A., PETERSEN G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, 57: 443- 452.
- PRATES V. 2010. Utilização de índices para representação da paisagem como apoio para levantamentos pedológicos em ambientes de geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, 30p.
- RIBEIRO J. F., WALTER B. M. T. 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO M. S., ALMEIDA S. M., RIBEIRO J. F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. Embrapa Cerrados, Planaltina, p. 152-212.
- ROSSITER D. G. 2004. Technical note: Statistical methods for accuracy assessment of classified thematic maps.
- SAWATZKY D.L., RAINES G.L., BONHAM-CARTER G.F., LOONEY C.G. 2009. Spatial Data Modeller (SDM): ArcMAP 9.3 geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks. Disponível em: <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=15341>. Acesso em 12 jan 2013.
- SILVA R. R., SILVA F.F., CANDEIAS A. L. B., ARAÚJO FILHO J. C. Análise das classes de relevo e uso das terras no município de Petrolândia-PE, utilizando técnicas de geoprocessamento. In: Cong. Bras. Ciência do Solo.
- SILVA V. C. D. 2003. Cálculo automático do fator topográfico (Is) da eups, na bacia do Rio Paracatu. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 33, 1:29-34.
- SIRTOLI A.E. Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná, 102 p.
- SOARES NETO, G.B. 2011. Contribuições metodológicas para a determinação de dados morfométricos e elaboração de cartografia geomorfológica digital: bacia Sonhém – DF. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 56p.
- VALERIANO, M. M. 2008. TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE, São Jose dos Campos, 71 p.
- VALERIANO, M.M.; ALBUQUERQUE, P.C.G. 2010. TOPODATA: processamento dos dados SRTM. INPE, São Jose dos Campos, 77p.
- YANG L., ZHU A.X., LI B.L., QIN C.Z., PEI T., LIU B.Y., LI R.K., CAI Q.G., 2007. Extraction of knowledge about soil-environment relationship for soil mapping using fuzzy c-means (FCM) clustering. Acta Pedologica Sinica, 44, 16–23
- ZADEH L.A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control v. 8, 3: 338-353.
- ZHU A.X. 1997. A similarity model for representing soil spatial information. Geoderma 77:217-242.

- ZHU A.X., HUDSON B., BURT J.E., LUBICH K., SIMONSON D. 2001. Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. *Soil Science Society of America Journal*, 65: 1463-1472.
- Zhu A.X., YANG L., LI B., QIN C., PEI T., LIU B. 2010a. Construction of membership functions for predictive soil mapping under fuzzy logic. *Geoderma*, 155: 164-174.
- Zhu A.X., QI F., MOORE A., BURT E.J. 2010b. Prediction of soil properties using fuzzy membership values. *Geoderma*, 158: 199-206.

CAPÍTULO 6

Conclusões Finais

6. CONCLUSÕES FINAIS

- Na bacia do Sarandi, em geral os solos apresentam o seguinte perfil de organização em uma topossequência: nas Chapadas, representada pelos Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho Amarelo e Latossolos Amarelos; nas Frentes de Recuo Erosivo, representada pelos Cambissolos Háplicos e Plintossolos Pétricos, e nas Rampas de Colúvio, representada pelos Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho Amarelos, Latossolos Vermelhos, Plintossolos Háplicos e Gleissolos Háplicos;

- a metodologia semi-automática utilizando a associação dos dados do SRTM para a compartimentação do relevo pela técnica da composição colorida e interpretação de fotografias aéreas possibilitou a confecção do mapa de solos e legenda da bacia do Sarandi, DF, em escala 1:30.000, discriminando bem as unidades pedológicas, inclusive as áreas hidromórficas. Entretanto, apenas a compartimentação de relevo não foi suficiente para identificar todas as classes pedológicas, por isso foi associada à interpretação de fotografias aéreas, que possibilitou a identificação das áreas hidromórficas e classes de solo de menor ocorrência.

- a aplicação de Lógica *Fuzzy* para o mapeamento de classes de solo possibilitou: a identificação das classes de solo condizentes com a resolução da base de dados morfométricos utilizada (30m), delimitação das unidades de mapeamento com limites semelhantes aos obtidos por metodologia semi-automática, a eliminação de parte da subjetividade no mapeamento;

- apesar de a Lógica *Fuzzy* fornecer a variação gradual da possibilidade de ocorrência da classe de solo, existe a dificuldade em representar essa variação no mapa final de classes de solo, que normalmente são apresentados com limites rígidos, assim como nos mapas tradicionais. Entretanto, mesmo no mapa final com classes de limites discretos foi possível identificar áreas para as quais nenhum valor para classe de solo foi atribuído (Não classificado). Essas áreas podem representar as transições e misturas entre as classes, e ainda, as classes de solos ocorrentes na área que não foram identificadas no mapa *Fuzzy*.

- a aplicação da Lógica *Fuzzy* em mapeamento digital de solos exige o conhecimento prévio da área de estudo, empírico (conhecimento especialista) ou advindo de dados amostrais e mapeamentos prévios.

- a técnica de compartimentação de relevo por composição RGB de atributos morfométricos aplicada no mapeamento semi-automático pode ser uma alternativa à

metodologia de mapeamento tradicional de solos, contribuindo para a aceleração do processo de mapeamento e direcionamento dos trabalhos de campo;

- o Quadro 6 apresenta algumas das vantagens e desvantagens dos dois métodos aplicados, percebidas no âmbito do mapeamento da bacia do Sarandi.

Quadro 6: Vantagens e desvantagens dos métodos Semi-Automático e Lógica fuzzy

Método	Vantagens	Desvantagens
Semi-automático	- Identificação das unidades de mapeamento menores. - Maior nível de detalhe (3º nível do Sistema Brasileiro de Classificação de solos – Embrapa, 2009). - Facilidade de ajuste e edição dos limites das unidades de mapeamento	- Método subjetivo relacionado à percepção do usuário. - Necessidade de grande quantidade de dados pedológicos e trabalho de campo. - Delimitação das classes a partir de interpretação visual dos dados morfométricos. - Limites rígidos entre as classes. - Aplicação de apenas três variáveis morfométricas
Lógica Fuzzy	- Eliminação da subjetividade durante a delimitação das unidades de mapeamento. - Delimitação das classes baseada diretamente em dados morfométricos. - Inclusão de um número ilimitado de variáveis. - Mapas de classes de solo com limites graduais.	- Identificação apenas das unidades de mapeamento condizentes com a escala da base de dados. - Mapeamento até o 2º nível de classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de solos – (Embrapa, 2009) e Legenda simplificada. - Necessidade de conhecimento prévio da área de estudo. - Mapa final de solos com limites rígidos. - Ocorrência de áreas não classificadas.

- as técnicas em mapeamento digital de solos, como a Lógica *Fuzzy*, podem contribuir não só para a aceleração do mapeamento, como também para a eliminação de parte da subjetividade decorrente do processo de delimitação de unidades de mapeamento por meio de interpretação visual. A Tabela x mostra algumas vantagens e desvantagens

- o mapeamento Digital de Solos, uma vez consolidado, pode se tornar uma ferramenta muito útil no suprimento das demandas por dados pedológicos, acelerando e diminuindo os custos, bem como eliminando a subjetividade dos mapeamentos convencionais do solo.