

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**E AMBIENTAL**

**ESTUDO REGIONAL PARA A AVALIAÇÃO DA EROSÃO**  
**LAMINAR POTENCIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO**  
**RESERVATÓRIO CORUMBÁ IV**

**ELMAGNO CATARINO SANTOS SILVA**

**ORIENTADOR: NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc.**

**DISSERTAÇÃO MESTRADO EM GEOTECNIA**

**PUBLICAÇÃO: G.DM-175/09**

**BRASÍLIA / DF: MARÇO/ 2009**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
E AMBIENTAL**

**ESTUDO REGIONAL PARA A AVALIAÇÃO DA EROSÃO  
LAMINAR POTENCIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO  
RESERVATÓRIO CORUMBÁ IV**

**ELMAGNO CATARINO SANTOS SILVA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

**APROVADA POR:**

---

**NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc, UnB  
ORIENTADOR**

---

**JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO, PhD, UnB  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**RODOLFO MOREIRA DE CASTRO JUNIOR, DSc, UFES  
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 19 de MARÇO de 2009.**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

SILVA, ELMAGNO CATARINO SANTOS	
Estudo regional para a avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV.	
xii, 129p., 210 X 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2009)	
Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.	
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental	
1. Erosão Laminar	2. Geoprocessamento
3. Assoreamento	4. Susceptibilidade
I. ENC/FT/UnB	II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SILVA, E.C.S. (2009). Estudo regional para a avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-175/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 129p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: Elmagno Catarino Santos Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Estudo regional para a avaliação da erosão laminar potencial na bacia hidrográfica do reservatório Corumbá IV.

GRAU / ANO: Mestre / 2009

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

---

Elmagno Catarino Santos Silva  
SQN 404 Apto: 108 C Asa Norte  
CEP: 70845-030 – Brasília/DF - Brasil  
e-mail: elcatarino@yahoo.com.br

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais Antônio Elmo da Silva e Magda Batista Santos Silva pelo incentivo e oportunidade que tem me dado no decorrer de toda a vida.*

*A minha tia Ana Margaret Santos Ferraz por ter contribuído desde minha infância no meu aprendizado, ensinando juntamente com minha mãe as primeiras letras do alfabeto.*

*A Maria Ferreira da Silva, Manoel Catarino da Silva, Zezita Ferreira de Araújo e Jean Hudson Santos (in memoriam) pelas experiências concedidas enquanto aqui nessa terra permaneceram.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao nosso Sr. Jesus Cristo, pois sem ele com certeza não poderia realizar meus sonhos e suprir minhas necessidades. Um dia falaram para mim: a vida é um capítulo e não adianta ir para o segundo sem passar pelo primeiro. Acreditei e graças a Deus mais um capítulo foi vencido.

Agradeço ao professor Newton Moreira de Souza pela orientação, amizade, confiança e experiência compartilhada.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília.

Ao amigo Carlos Petrônio Leite da Silva pela disponibilidade e vontade de ajudar.

Aos amigos Vinicius Gustavo de Jesus Lemes, Gregory Lee Pinheiro, Paola Cristina Alves, Carlos Eduardo, Tone Vagner, Pedro Paulo e Igor Mota.

Aos primos Alan Tadeu Santos Ferraz, Nilton Antônio S. Ferraz, Erllens Éder Silva e Wilson Alves Ferreira Filho.

A meu tio Wilson Alves Ferreira e a Mirian Maciel Gomes por sempre ajudar nos momentos de precisão.

A Cassiana M<sup>a</sup> Reganhan Coneglian, Edison Roberto Poleti, Elaine Cristina Catapani Poletti e Marli de Freitas Gomes Hernandez pela experiência passada durante o curso de graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Cnpq.

As demais pessoas não mencionadas, porém não esquecidas.

*“O Senhor é meu pastor e nada me faltará. Certamente  
que a bondade e a misericórdia me seguirão  
todos os dias de minha vida; e habitarei  
na casa do Senhor por longos dias”*

# ESTUDO REGIONAL PARA A AVALIAÇÃO DA EROSÃO LAMINAR POTENCIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO CORUMBÁ IV

## RESUMO

O presente trabalho consistiu no estudo dos fatores que influenciam na erosão na bacia de contribuição do reservatório de Corumbá IV. O objetivo principal foi entender a distribuição espacial dos fatores que afetam os processos erosivos no entorno do Reservatório de Corumbá IV. Como ferramenta usou-se o *software* Spring 4.3.3 para aplicar a equação universal de perdas de solo (USLE) proposta por W. H. Wischmeier e D. D. Smith. Cada fator dessa equação foi avaliado, podendo desta forma evidenciar os locais de ocorrência das erosões e inferir suas causas. Para isso foram estudadas as sub-bacias do rio Corumbá: Alagado, Descoberto, Capivari, Antas, Ouro - Corumbá, Pirapitinga-Sarandi, Areias- Antas, Areias e Alto- Corumbá; que são os principais contribuintes daquele reservatório totalizando uma área de 7000km<sup>2</sup>. Esse estudo permitiu reconhecer os locais mais susceptíveis a erosão de forma a incorporar soluções adequadas para se evitar futuramente que o Reservatório sofra um intenso assoreamento que implique na diminuição acelerada do potencial de geração de energia elétrica.

## ABSTRACT

### REGIONAL STUDY ON ASSESSMENT OF POTENTIAL LAMINAR EROSION IN THE BASIN OF THE RESERVOIR CORUMBÁ IV

This work was the study of the factors that have influence the erosion in the basins of the reservoir contribution of Corumbá IV. The main objective was to understand the distribution of spatial factors which affect the erosive processes around Corumba IV reservoir. As a tool was used to the software Spring 4.3.3 to apply the universal equation of loss of soil (USLE) proposed by W. H. Wischmeier and D. D. Smith. Each factor of this equation was evaluated and can thus reveal the locations of occurrence of the erosions and infer its causes. For that were studied the sub-basins of the Corumbá river: Alagado, Descoberto, Capivari, Antas, Ouro – Corumbá, Pirapitinga-Sarandi, Areias- Antas, Areias e Alto- Corumbá, which are the main contributors of that reservoir totaling an area of 7000 km<sup>2</sup>. This study allowed recognize the most susceptible places to erosion in order to incorporate appropriate solutions to avoid that the reservoir has an intensive silting involving accelerated decline in the potential of generating electricity.

# ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. OBJETIVOS .....	2
1.1.1. OBJETIVO GERAL .....	2
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
1.3. A ÁREA DE ESTUDO .....	3
1.3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	3
1.4. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO .....	4
2. EROSÃO - MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. CARTOGRAFIA GEOTECNICA .....	6
2.2. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E EROSÃO .....	7
2.2.1. EROSÃO LAMINAR .....	8
2.2.2. EROSÃO LINEAR .....	8
2.3. FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS .....	10
2.3.1. PRECIPITAÇÃO .....	10
2.3.2. RELEVO .....	10
2.3.2.1. ESTUDOS DO RELEVO .....	12
2.3.3. SOLOS .....	14
2.3.4. COBERTURA VEGETAL .....	14
2.3.5. AÇÃO HUMANA .....	15
2.4. ENSAIOS RELACIONADOS À DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE EM LABORÁTORIOS .....	15
2.4.1. ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO .....	15
2.4.2. ENSAIO DE INDERBITZEN .....	16
2.4.3. MATERIA ORGÂNICA .....	17
2.4.4. ENSAIO DE GRANULOMETRIA .....	18
2.5. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	18
2.6. DIFERENTES MODELOS PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLOS .....	20
2.6.1. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO – USLE .....	20
2.6.1.1. FATOR R .....	21
2.6.1.2. FATOR K – ERODIBILIDADE DOS SOLOS .....	21
2.6.1.3. FATOR LS .....	23
2.6.1.4. FATOR USO E MANEJO (C) E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P) .....	25
2.6.1.5. FATOR CP TRATADO DE FORMA INTEGRADA .....	26
2.6.2. EQUAÇÃO DE ZINGG .....	27
2.6.3. EQUAÇÃO DE MUSGRAVE .....	27



2.6.4. EQUAÇÃO DE SMITH E WHITT .....	28
2.6.5. EQUAÇÃO DE HUDSON .....	28
2.6.6. <i>WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP)</i> .....	29
3. MATERIAS E MÉTODOS.....	30
3.1. PRINCIPAIS ETAPAS DE EXECUÇÃO .....	30
3.2. ETAPAS DE INVENTÁRIO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS .....	30
3.2.1. DEFINIÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	30
3.2.2. SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS MATERIAIS CARTOGRÁFICOS .....	31
3.2.3. INFORMAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS .....	31
3.2.4. INFORMAÇÕES PEDOLÓGICAS .....	31
3.2.5. INFORMAÇÕES DA GEOLOGIA.....	31
3.2.6. INFORMAÇÕES DE PLUVIOMETRIA.....	31
3.2.7. INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO.....	32
3.2.8. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS.....	33
3.3. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS E MAPAS .....	33
3.3.1. CARTA BASE .....	33
3.3.2. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO.....	34
3.3.3. BASE TOPOGRÁFICA E IMAGEM DO SATÉLITE CBERS II.....	34
3.3.4. CARTA HIPSOMÉTRICA.....	36
3.3.5. CARTA DE DECLIVIDADE.....	36
3.3.6. MAPAS PEDOLÓGICO, GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO .....	37
3.3.7. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO .....	37
3.4. IDENTIFICAÇÃO DAS DRENAGENS COM BASE NA TOPOGRAFIA E EM IMAGENS DE SATÉLITE.....	39
3.4.1. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	39
3.4.2. OBTENÇÃO DAS DRENAGENS.....	40
3.4.3. DIGITALIZAÇÃO DAS DRENAGENS .....	41
3.4.4. AJUSTE DAS DRENAGENS COM AS IMAGENS CBERS .....	42
3.5. ETAPAS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO.....	44
3.5.1. TRABALHO DE CAMPO.....	44
3.5.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO .....	45
3.5.2.1. ENSAIO DE MATERIA ORGÂNICA.....	45
3.5.2.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....	46
3.6. VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA OBTENÇÃO DAS PERDAS DE SOLO PELA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO .....	46
3.6.1. EROSIVIDADE DA CHUVA – FATOR R .....	46

3.6.2. DECLIVIDADE E COMPRIMENTO DE RAMPA – FATOR LS .....	47
3.6.3. ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR K.....	48
3.6.4. FATOR CP - MANEJO DOS SOLOS E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS .....	51
3.6.5. PERDAS DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR .....	52
4. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.1. LOCALIZAÇÃO DETALHADA DA ÁREA DE ESTUDO .....	53
4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS SUB-BACIAS .....	54
4.3. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO - INFORMAÇÕES ESPACIALIZADAS.....	56
4.4. HIPSOMETRIA .....	56
4.5. DECLIVIDADE.....	59
4.6. GEOMORFOLOGIA .....	60
4.6.1. RELEVO DE AGRADAÇÃO .....	61
4.6.2. RELEVO DE APLAINAMENTO .....	61
4.6.3. RELEVOS DE APLAINAMENTO/DISSECAÇÃO.....	61
4.6.4. RELEVOS DE DISSECAÇÃO .....	62
4.6.5. DEGRAUS ESTRUTURAIS.....	62
4.6.6. ESCARPAS DE BORDA DE PLANALTO.....	62
4.7. GEOLOGIA .....	65
4.7.1. CENOZÓICO.....	65
4.7.2. GRUPO CANASTRA.....	66
4.7.3. GRUPO ARAXÁ .....	66
4.7.4. METAULTRAMAFITOS TIPO MORRO FEIO .....	67
4.7.5. SEQÜÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES .....	67
4.7.6. PALEO-MESOPROTEROZÓICO COMPLEXOS INDIFERENCIADOS.....	67
4.7.6.1. ASSOCIAÇÃO ORTOGNÁISSICA MIGMATÍTICA.....	67
4.7.6.2. COMPLEXO GRANULÍTICO ANAPÓLIS – ITAUÇU.....	67
4.7.7. MESO – NEOPROTEROZÓICO: GRUPO PARANOÁ .....	68
4.7.8. ARCO MAGMÁTICO DE GOIÁS: GRANITOS SINTECTÔNICOS .....	68
4.8. PEDOLOGIA .....	71
4.9. USO E COBERTURA DO SOLO .....	78
4.10. CLIMA.....	81
5. RESULTADOS E ANÁLISES .....	82
5.1. REDE DE DRENAGEM .....	82
5.2. ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO POR EROSÃO LAMINAR .....	83
5.2.1 CARTAS DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO .....	83
5.2.1.1 CARTA DE EROSIVIDADE – FATOR R.....	85

5.2.1.2. CARTA DO FATOR TOPOGRÁFICO – LS.....	87
5.2.1.3. CARTA DE ERODIBILIDADE – FATOR K.....	91
5.2.1.4. CARTA DO FATOR DE USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS - CP .....	93
5.3. VALIDAÇÃO DOS VALORES DE ERODIBILIDADE .....	95
5.4. CARTA DE EROÇÃO LAMINAR POTENCIAL .....	97
6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	102
6.1. CONCLUSÕES.....	102
6.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Principais propriedades espaciais e definições morfométricas das bacias de drenagem.....	20
Tabela 2.2 – Valores de erodibilidade (t.h/(MJ.mm)) adotados por diferentes autores.....	23
Tabela 2.3 – Valores de C adotados por diferentes autores.....	26
Tabela 3.1 – Estações pluviométricas distribuídas nas áreas de estudo.....	32
Tabela 3.2 – Seleção de cenas utilizadas nas sub-bacias hidrográficas.....	32
Tabela 3.3 – Parâmetros morfométricos avaliados.....	33
Tabela 3.4 – Valores de K ( $10^3$ t.h/(MJ.mm)) adotados para diferentes tipos de solos.....	48
Tabela 3.5 – Equações polinomiais obtidas para cada sub-bacia estudada.....	50
Tabela 4.1 – Sub-bacias hidrográficas estudadas.....	54
Tabela 4.2 – Classes hipsométricas definidas para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	57
Tabela 4.3 – Intervalos de declividade definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	59
Tabela 4.4 – Distribuição das classes geomorfológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	63
Tabela 4.5 – Distribuição das classes geológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	69
Tabela 4.6 – Distribuição das classes pedológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	76
Tabela 4.7 - Classes de uso e cobertura do solo presentes em todas as sub-bacias estudadas.....	79
Tabela 5.1 - Valores de precipitação média total mensal e erosividade para todas as estações estudadas.....	84
Tabela 5.2 – Intervalos de erosividade (MJ. mm/(ha.h.ano)) definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	85
Tabela 5.3 – Intervalos de LS definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	89
Tabela 5.4 – Classes de erodibilidade ( $10^3$ t.h/(MJ.mm)) distribuída para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	91

Tabela 5.5 – Intervalos de CP obtidos a partir dos valores atribuídos a classe de uso e cobertura do solo.....	93
Tabela 5.6 – Resultados laboratoriais obtidos a partir das amostras de solo.....	96
Tabela 5.7 – Valores de K ( $10^3$ t.h/MJ.mm) obtidos para as devidas amostra.....	97
Tabela 5.8 - Classes de perdas de solo $10^3$ t/(ha.ano) distribuída para todas as sub-bacias.....	98

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização das áreas de estudo.....	3
Figura 1.2 – Articulação das folhas 1:250.000 abrangendo o Estado de Goiás – GO. Nas quadrículas hachuradas está contida a área estudada.....	4
Figura 2.1 – Taludes às margens de uma rodovia com erosão em sulcos (Corbis, (2000) apud Silveira, (2002)).....	9
Figura 2.2 – Feição erosiva conhecida como voçoroca (DAEE/IPT, 1989).....	9
Figura 2.3 – Variação da declividade em encostas convexa (a) e côncava (b), modificado de Nishyama (1995).....	11
Figura 2.4 – Perfil de encostas convexas.....	12
Figura 2.5 – Perfil de encostas côncavas.....	12
Figura 2.6 - Procedimentos empregados para caracterização de uma área para fins de uso e ocupação por meio da utilização da técnica de Avaliação de Terreno (Lollo, 1996).....	13
Figura 2.7 - Esquema do equipamento modelo “Inderbitzen” para investigação da erodibilidade do solo (Vilela, 2003).....	17
Figura 2.8 - Nomograma de Wischmeier <i>et al.</i> , 1971 (t.h/(MJ.mm)).....	22
Figura 3.1 – Estrutura da Carta Base.....	34
Figura 3.2 – Base topográfica do SRTM para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	35
Figura 3.3 – Imagem do satélite Cbers II para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.....	36
Figura 3.4 – Imagens segmentadas com similaridades de 30, 40 e 60 e área ( <i>pixels</i> ) de 16.....	38
Figura 3.5 - Imagens segmentadas para diferentes áreas de <i>pixels</i> .....	38
Figura 3.6 – Sub-bacia delimitada a partir da grade de fluxo acumulado.....	39
Figura 3.7 - Etapa seguida para gerar a rede de drenagem com limite de saída estabelecido.....	40
Figura 3.8 - Drenagens obtidas por classificação da rede de fluxo acumulado.....	41
Figura 3.9 – Drenagens digitalizadas, ordenadas e classificadas.....	42
Figura 3.10 – Drenagens representando as três situações acima descritas.....	43
Figura 3.11 – Drenagens após o ajuste com a imagem Cbers.....	43
Figura 3.12 - Resultado final com as drenagens ajustadas para toda sub-bacia do rio	

Capivari.....	44
Figura 3.13 – Amostra P71 referente a solo exposto.....	45
Figura 3.14 - Arquivo ASCII criado a partir do SPRING 4.3.3.....	47
Figura 3.15 – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - Legal para obter o fator LS.....	48
Figura 3.16 – Gráfico resultante dos percentuais, valores médios e de K iniciais do atributo densidade de drenagem 1ª ordem da sub-bacia Anta.....	49
Figura 3.17 – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do Kdecliv da sub-bacia Antas.....	50
Figura 3.18 – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do K_1ªordem da sub-bacia Antas.....	50
Figura 3.19 – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do K.....	51
Figura 3.20 - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal utilizada para obtenção do CP.....	52
Figura 3.21 – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção das perdas de solo.....	52
Figura 4.1 - Cidades e acessos a área estudada.....	53
Figura 4.2 – Carta de Identificação das sub-bacias para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	55
Figura 4.3 – Mapa de documentação da área estudada.....	56
Figura 4.4 - Percentuais obtidos das classes hipsométricas.....	57
Figura 4.5 – Carta hipsométrica para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	58
Figura 4.6 – Carta de declividade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	61
Figura 4.7 – Mapa Geomorfológico para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	64
Figura 4.8 – Mapa Geológico para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV Reservatório.....	70
Figura 4.9 – Mapa Pedológico para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	77
Figura 4.10 – Aplicação de defensivos agrícolas.....	78

Figura 4.11 – Mapa de uso e cobertura do solo para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	80
Figura 4.12 – Estações pluviométricas com menores médias mensais.....	81
Figura 4.13 – Estações pluviométricas com maiores médias mensais.....	81
Figura 5.1 – Drenagens de padrão dendríticas.....	82
Figura 5.2 - Valores de erosividade obtidos em cada uma das estações pluviométricas..	83
Figura 5.3 - Carta de erosividade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	86
Figura 5.4 – Percentuais obtidos das classes de erosividade.....	87
Figura 5.5 – Cartas representando fatores de relevo (LS) obtido pela metodologia de Moore & Burch (1986.....	87
Figura 5.6 – Cartas representando fatores de relevo (LS) obtido pela metodologia de Foster, <i>et al.</i> (1981).....	88
Figura 5.7 - Percentuais obtidos dos intervalos de LS.....	89
Figura 5.8 - Carta do fator topográfico - LS para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	90
Figura 5.9 – Carta de erodibilidade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	92
Figura 5.10 – Percentuais obtidos dos intervalos de CP.....	93
Figura 5.11 – Carta de uso e manejo do solo e práticas conservacionistas para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	94
Figura 5.12 – Carta de erosão laminar potencial para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV.....	99



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIÇÕES

% - Por cento  
 $\Delta$ pH – Variação de pH  
A' = Área da bacia  
A - Perdas de solo  
Ab – Área da bacia  
ANA – Agência Nacional de Águas  
Apf- Planícies fluviais  
ASCII – Modelo de arquivo utilizado pelo Spring  
C - Fator uso e manejo  
C' - Combinação da chuva, do solo, da cobertura vegetal e do manejo adotado  
C'' - Rotação de culturas  
Cb – Comprimento da bacia  
CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres  
CellSize - É o tamanho da célula do modelo digital de elevação, corresponde à dois metros de resolução espacial da imagem de acúmulo de fluxo  
cm – Centímetros  
Cm – Coeficiente de manutenção  
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CP – Fator uso e manejo do solo e práticas conservacionistas  
CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais  
CTC – Capacidade de troca Catiônica  
CXbd 16 – Associação de cambissolo distrófico fase cerrado  
CXbd13 – Associação de cambissolos típico textura media  
CXbd2- Cambissolo háplico Tb distrófico  
CXbd27 – Associação de cambissolos petroplíntico  
CXbd4 – Associação de cambissolo fase cerrado  
CXbd6, CXbd7, CXbd8, CXbd9, CXbd12, CXbd17, CXbd18, CXbd21, Cxbd22, CXbd23 e CXbd26 – Associação de cambissolos distrófico  
Da45 – Domínio Serrano  
DAEE – Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo  
Dc12,22,23 e 33 – Domínio colinoso  
DC34,35,44 e 45 – Domínio de Colinas e morros  
Dd – Densidade de drenagens  
De – Relevo caracterizado por degraus lito-estruturais  
De54 – Relevo montanhoso  
DF - Distrito Federal  
Dp e Dv – Topo de chapada  
Dr – Densidade de rios  
Dsb – Densidade de segmentos da bacia  
Dt11, 12, 21,22 e 23 – Superfícies tabulares  
DXF - *Drawing Interchange Format, or Drawing Exchange Format*  
E - Perdas de solo  
EI30 - Média mensal do índice de erosividade  
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Fb – Forma das bacias  
FlowAccumulation - É o acúmulo de fluxo ou área de contribuição  
g- Gramas  
GIS – *Geographic Information System*

GO – Goiás  
 GPS - *Global Position System*  
 GRIB - (*Gridded Binary*)  
 h – Horas  
 ha – Hectares  
 I- Erodibilidade inerente ao solo  
 IAEG - “*International Association of Engineering Geology*”  
 IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
 Ic – Índice de circularidade  
 INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais  
 IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo  
 K- Fator erodibilidade do solo  
 K’ - Grupo de solos  
 KCl – Cloreto de Potássio  
 kg – Quilograma  
 km – Quilômetros  
 l - Comprimento de rampa  
 L - Fator comprimento de rampa e/ou extensão média do escoamento sobre os terrenos  
 l’- Somatório do comprimento de todos os cursos d’ água da bacia  
 Lad – Latossolo amarelo distrófico  
 Lb – Largura da bacia  
 Legal – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico  
 LS - Fator Topográfico;  
 LV - Latossolo Vermelho-Amarelo  
 LVd1 – Latossolo vermelho distrófico  
 LVd2, LVd6, LVd7, LVd8, LVd10, LVd12, LVd14 e LVd15 – Associação de latossolo vermelho-amarelo.  
 LVd3, LVd5 – Associação de latossolos vermelho  
 m – Metro  
 M - Proteção mecânica  
 M $\mu$  - Metaultramáficas, serpentinitos  
 MaB – Grupo Araxá unidade B  
 M<sub>cp</sub> – Formação Paracatu  
 M<sub>cp1</sub> e M<sub>cp1mm</sub> – Formação chapa dos pilões  
 M<sub>cp2</sub> e M<sub>cp2qt</sub> – Formação chapada dos pilões: predominância de quartzitos micáceos  
 MJ - Mega joule  
 mm - Milímetros  
 MNT – Modelo Numérico de Terreno  
 MOS – Matéria orgânica do solo  
 Mpa3 e Mpa3qt – Unidade Ritmica Quartzítica  
 Mrp – Metavulcanossedimentares: rio do Peixe  
 NDVI – Índice de vegetação por diferença normalizada  
 NE – Nordeste  
 NW – Noroeste  
 Nylar – Granitos tipo Aragoiânia  
 °C – Graus Celsius  
 Op.cit – Citado anteriormente  
 P - Fator práticas conservacionista  
 P’ - Média do total anual de precipitação  
 P30 - Precipitação máxima em 30 minutos

Paio – Associação de Ortogranulítica  
Pais – Associação de Supracrustais  
PDF – *Portable Document Format*  
pH - Potencial hidrogeniônico  
PI – Plano de informação  
Py1 – Ortognaisses graníficos  
QHa – Aluviões halocênicas  
QP<sub>i</sub> – Cobertura arenosa indiferenciada  
R - Fator erosividade da chuva,  
r - Média do total mensal de precipitação  
Rab – Relação entre as áreas das bacias  
Re – Relação de alongamento  
S - Fator declividade  
s - Grau de declividade em percentagem.  
SAD 69 – *South American Datum in the 1969*  
SD22\_Z\_B, SE22\_X\_B, SE23\_V\_A – Nomenclatura das folhas que compõem a base cartográfica conforme o padrão da Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo  
SBRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
Slope - É a declividade em radianos, calculada para cada pixel  
SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas.  
SRTM - (*Shuttle Radar Topography Mission*)  
t - Toneladas  
T - Tipo de solo  
TDdl – Coberturas detrito-lateríticas  
TIFF - *Tagged Image File Format*  
UnB – Universidade de Brasília  
USLE – Equação Universal de Perdas de Solo  
UTM – “*Universal Trasversa de Mercator*”  
W – Oeste  
WGr – Oeste de Greenwich  
ZEE RIDE - Zoneamento Ecológico- Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno

## **1. INTRODUÇÃO**

Durante o decorrer dos últimos 25 anos se tem visto grandes avanços no entendimento da Cartografia Geotécnica e dos Processos Erosivos. Grandes educadores com suas palestras e publicações vêm ajudando a vários estudantes, pesquisadores e engenheiros geotécnicos a melhor entender os fenômenos que estão relacionados com o meio físico, como identificá-los e definir ações para prevenir, controlar e recuperar uma área afetada pela erosão e assoreamento.

Nota-se que os problemas ambientais ocasionados pela ocorrência de processos erosivos no meio físico não são especificidade de alguns municípios, mas um problema que se encontra difuso em todo território nacional e vem comprometendo seriamente a qualidade de vida das populações, gerando prejuízos ambientais, sociais e econômicos.

É de fundamental importância a compreensão dos fatores que integram o processo de erosão do solo, assim como, a quantificação das perdas de solo, pois servem como ponto de partida para elaboração de medidas que visem à maximização do uso dos recursos hídricos disponíveis, para que se possa evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

Sabe-se que um dos principais suportes da vida é o solo, onde produz-se e encontra-se a alimentação de todos os seres vivos do planeta. Porém, várias atividades humanas, como por exemplo, os desmatamentos de encostas e margens de rios, as queimadas e o uso inadequado de maquinários e implementos agrícolas aceleram o processo erosivo.

Entre as degradações causadas pela ocupação inadequada do solo, está a erosão que, em alguns casos, chega a comprometer residências e obras de infra-estrutura, impedindo o uso normal da área atingida e criando inúmeros problemas para a população. Além disso, a erosão pode provocar assoreamentos de cursos d'água, podendo em curto prazo diminuir a vida útil de reservatórios e comprometer o uso das águas superficiais para o abastecimento público.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

- Entender a distribuição espacial dos fatores que afetam os processos erosivos no entorno do Reservatório de Corumbá IV, detalhando os componentes do meio natural (solo, substrato rochoso e água-chuva) e antrópico (uso e cobertura do solo) da bacia hidrográfica de contribuição desse Reservatório, no sentido de elaborar a Carta de Erosão Laminar Potencial como informação básica para os estudos de assoreamento do Reservatório.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

As atividades desenvolvidas neste trabalho visam atingir os seguintes objetivos:

- Identificar e obter dados digitais de interesse para a pesquisa, para compor o banco de dados georreferenciados;
- Estruturar um banco de dados georreferenciados para desenvolver estudos de erosão e assoreamento do Reservatório de Corumbá IV;
- Caracterizar as diversas formas de arranjo do relevo;
- Identificar os principais condicionantes dos processos erosivos; e
- Elaborar produtos cartográficos, em escalas adequadas, para contribuir e subsidiar os projetos futuros de controle de erosões e assoreamento.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

A ocupação desordenada de terras, assim como a exploração indevida dos recursos naturais tem acontecido desde há muito tempo, e se intensificado nas últimas décadas. Isso acaba gerando desmatamento da vegetação nativa, o que aumenta a susceptibilidade ao processo erosivo. É por esta e outras razões que se torna necessário conhecer os fatores condicionantes que levam a formação desses, pois muitos danos poderiam ser evitados.

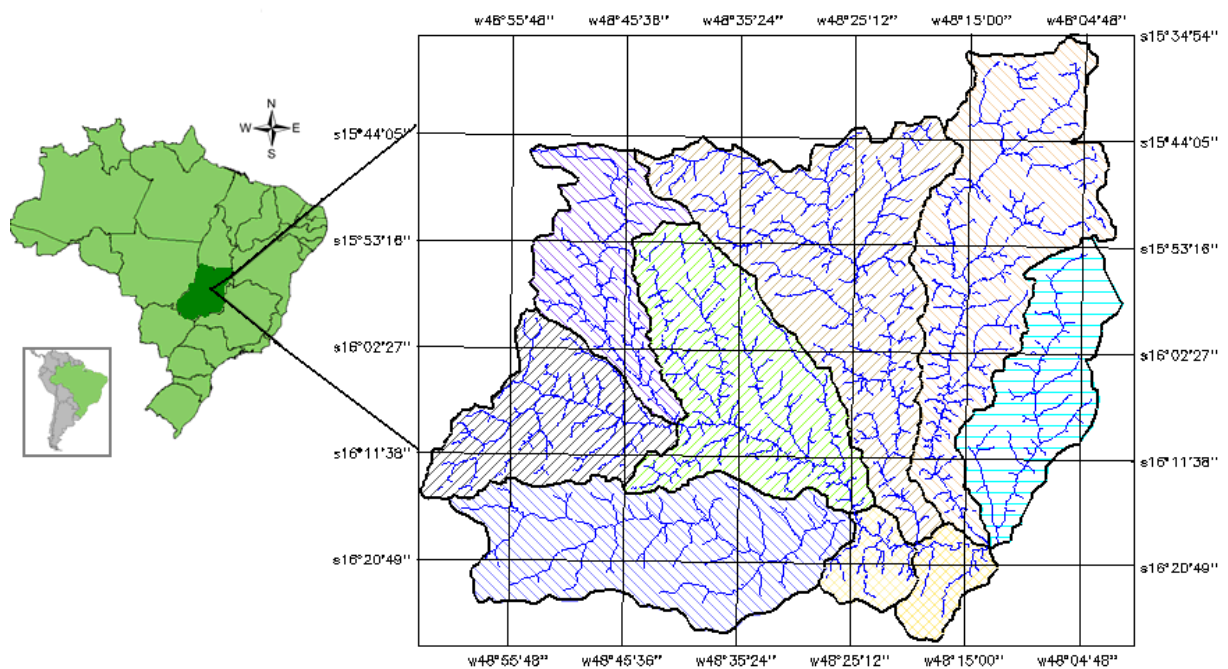
Assim, este trabalho justifica-se dada a necessidade de identificar e conhecer os principais mecanismos que desencadeiam os processos erosivos no entorno do Reservatório de Corumbá IV, ajudando na prevenção de um possível assoreamento que venha causar diminuição do potencial de geração de energia elétrica.

Para isso, se torna necessária uma metodologia adequada para um bom entendimento dos fatores que comandam o processo erosivo, principalmente a inter-relação existente entre relevo e solos, a influência da chuva e das formas de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo.

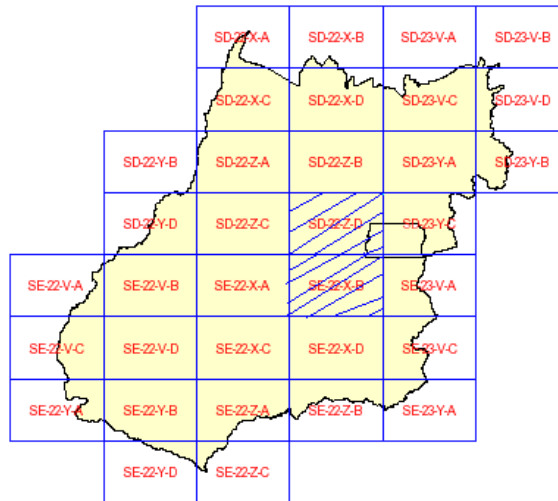
### 1.3. A ÁREA DE ESTUDO

#### 1.3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

As áreas de estudo encontram-se nas proximidades do município de Luziânia – GO, tendo como acesso a partir de Brasília-DF a rodovia BR-040. Estão localizadas entre as longitudes 49°03' e 48°01' WGr e latitudes 16°28' e 15°34' Sul (Figura 1.1). Possui uma área de drenagem no total de 7000km<sup>2</sup> e estão contidas nas folhas SD22\_Z\_B, SE23\_V\_A e SE22\_X\_B (Figura 1.2).



**Figura 1.1** - Localização das áreas de estudo



**Figura 1.2** – Articulação das folhas 1:250.000 abrangendo o Estado de Goiás – GO. Nas quadriculas hachuradas está contida a área estudada.

#### 1.4. ESCOPO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos descritos sucintamente a seguir:

O capítulo 1 apresenta a introdução, objetivos (geral e específico da pesquisa), justificativa e a localização da área de estudo.

O capítulo 2 apresenta a abordagem teórica sobre cartografia geotécnica, erosão, tipos de erosão, fatores condicionantes dos processos erosivos, importância dos sedimentos, ensaios relacionados à determinação da erodibilidade em laboratório, identificação de landforms (relevos) e análise morfométrica de bacias hidrográficas e diferentes modelos para estimativa de perda de solos.

O capítulo 3 apresenta os principais métodos e procedimentos utilizados nas etapas de elaboração do inventário (aquisição de informações).

O capítulo 4 expõe as características físicas da área estudo, onde são abordados a hipsometria, a declividade, a geomorfologia, a geologia e a pedologia entre outras.

O capítulo 5 apresenta a análise dos resultados dos produtos gerados (cartas referentes às variáveis da equação de perdas de solos e da carta de erosão laminar potencial) das sub-bacias estudadas.

O capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas e as sugestões para futuras pesquisas. Em seguida são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no decorrer desta pesquisa.

## **2. EROSÃO - MARCO TEÓRICO**

Proveniente do latim erodere, o termo erosão pode ser definida como um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, desgastados ou dissolvidos e transportados pela ação dos agentes erosivos como água, vento e gelo (IPT, 1986).

Esse processo ocorre naturalmente na superfície terrestre ao longo do tempo geológico, sendo responsável pela esculturação do relevo da terra. Entretanto, alguns terrenos possuem uma configuração da paisagem com maior ou menor suscetibilidade erosiva. Essas suscetibilidades podem ser potencializadas pela maneira como o homem utiliza estes terrenos.

Um dos principais processos impactantes em áreas rurais é a erosão.

A evolução das erosões ao longo do tempo depende de fatores tais como características geológicas e geomorfológicas do local, presença de falhas de origem tectônica e evolução físico-química e mineralógica do solo (Lima, 2003, Camapum de Carvalho *et al.*, 2002a, Camapum de Carvalho, 2005).

Para estudar este tipo de fenômeno dispõe-se de métodos diretos, baseados na coleta do material erodido, em campos experimentais e/ou em laboratório, ou ainda de métodos indiretos, por meio de modelagem matemática. Estes modelos podem ser associados às técnicas de geoprocessamento, que permitem análises espaciais do fenômeno, visando o planejamento racional do uso e cobertura do solo e na exposição das áreas que necessitam de adoção de práticas de controle da erosão.

Dentre esses modelos, a Equação Universal de Perda de Solos (USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1978) quando espacializada por meio de um Sistema de Informação Geográficas (SIG) permite uma análise da perda de solo por erosão laminar, possibilitando contextualizar os resultados obtidos em função do uso e cobertura do solo.



## **2.1. CARTOGRAFIA GEOTECNICA**

Segundo Zuquette & Nakazawa (1998), as primeiras experiências de trabalhos aplicados à cartografia e ao mapeamento geotécnico no Brasil ocorreram entre 1965 e 1966, com a publicação de um artigo pelo Prof. Haberlehner no 20º Congresso Brasileiro de Geologia, realizado em Porto Alegre. Nos anos seguintes, vários trabalhos de cunho metodológico foram elaborados, porém somente após 1988 essa área de conhecimento apresentou um grande desenvolvimento.

Ainda de acordo com os autores acima, os documentos cartográficos elaborados como parte de um grupo de procedimentos mais amplo, normalmente associado a diferentes termos como Engineering Geological Mapping e Geotechnical Mapping, que são tipicamente das áreas de Geologia de Engenharia, ou a outras terminologias como Environmental Geology Mapping, Geoscience Mapping, que são mais gerais, podem ser denominados de mapas geotécnicos ou geológico-geotécnico.

O mapeamento geotécnico caracteriza-se como um processo destinado à investigação e avaliação geológico-geotécnica. Portanto, não está relacionado a uma finalidade isolada. Ele pode ser descrito como o processo que busca avaliar e retratar as características dos componentes do meio físico, bem como os possíveis comportamentos frente às diferentes formas de uso do solo, processos naturais e induzidos.

Assim, o mapeamento caracteriza-se por ser um campo de interfases das diversas áreas de conhecimento e as informações geotécnicas, lembrando que a eficiência e adequabilidade dos resultados obtidos a partir do mapeamento geotécnico dependem da metodologia adotada (Zuquette & Gandolfi, 2004).

Para Souza (2004) um mapa geotécnico deve satisfazer algumas exigências fundamentais: retratar ou delinear informações necessárias para avaliar as características geotécnicas relativas ao planejamento regional, à seleção do lugar e método mais adequado de construção e mineração, fazer o possível para prever as variações na situação geológica induzida pelo empreendimento proposto e para sugerir medidas preventivas necessárias e apresentar informações de forma a facilitar o entendimento por profissionais que a usarão, os quais podem não ser geólogos.

Um mapa geotécnico requer para a sua realização operações básicas de adição, seleção, generalização e transformações das informações espaciais relativas à litologia, à estrutura dos solos e rochas, à hidrogeologia, à geomorfologia e aos processos geológicos, entre outros (Varnes, 1974).

Dentro da denominação de cartografia geotécnica incluem-se diversos tipos de cartas e mapas, derivados ou com finalidades específicas, tais como, cartas de suscetibilidade, cartas de risco, cartas de aptidão e cartas de atributos ou parâmetros. A carta de susceptibilidade a erosão é uma das principais cartas interpretativas e derivadas, que podem ser elaboradas no sentido de atender às exigências dos diferentes tipos de usuários.

Os documentos cartográficos podem ser utilizados para as mais diversas finalidades: obras civis, planejamento urbano, territorial e ambiental, desenvolvimento, conservação e gestão do meio ambiente, avaliação de eventos perigosos e riscos associados (Zuquette & Gandolfi, 2004).

## **2.2. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E EROSÃO**

Segundo (Paiva & Villela, 1995) os vários problemas causados pelos sedimentos dependem da quantidade e da natureza dos sedimentos, fatores estes que são dependentes dos processos de produção, transporte e deposição, o que equivale dizer que os sedimentos causam três tipos de prejuízos: no local de origem, no trecho onde transitam e no local de sua deposição.

A presença significativa de sedimentos nos cursos d'água ocasiona vários problemas, afetando reservatórios, barragens e canais que, como conseqüência, afeta a geração de energia elétrica, o amortecimento de cheias e a regularização dos cursos d'água. Ocasionalmente ainda a diminuição da capacidade de armazenamento de reservatórios e açudes.

Segundo (Bandeira & Aun, 1989) o conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão (massa de sedimento em suspensão na água por unidade de massa da mistura por unidade de volume) é importante para a avaliação das conseqüências da intervenção humana na bacia hidrográfica (erosão devido ao desmatamento, atividades agrícolas ou de mineração), no assoreamento de barragens, para o caso de estuários, no estudo do escoamento de canais de acesso e berços de atracação em portos.

Shen (1976) classifica as formas de transporte de sedimentos em arraste, saltação e suspensão, onde:

- Arraste: rolamento ou deslizamento sobre a superfície do leito, sendo que as partículas estão em contato com o leito praticamente todo o tempo;
- Saltação: elevação para dentro do escoamento e posterior retorno à superfície do leito;
- Suspensão: elevação e suporte do sedimento pelo fluido envolvido durante todo o transporte.

A princípio a erosão pode ser classificada de acordo com o tipo de agente que influencia na sua gênese, podendo ser eólica, glacial ou hídrica. A erosão hídrica é um tipo muito comum e bastante abordado pela literatura e pode ser subdividida em pluvial, fluvial e marinha. A erosão hídrica pluvial pode se manifestar de forma linear ou laminar.

### **2.2.1. EROSÃO LAMINAR**

Segundo Lima (1999) este tipo de erosão atua como uma lâmina no sentido da declividade do terreno, lavando a superfície, fazendo com que essa forma de erosão seja pouco perceptível. É muito prejudicial à agricultura, pois ao “lavar” a superfície do terreno são carreados nutrientes fundamentais para o desenvolvimento das plantas. Com isso, o solo acaba perdendo sua fertilidade, podendo provocar diminuição na produção agrícola.

Para controlar a erosão laminar se aplica práticas de conservação do solo, como por exemplo, rotação de culturas (diversificação das cultivares numa mesma área durante o decorrer do ano).

### **2.2.2. EROSÃO LINEAR**

Segundo Mortari (1994), a erosão linear ocorre quando os fluxos concentrados de água provocam incisões no solo. Incisões de pequeno porte com cerca de 50 cm de profundidade, são denominadas de sulcos (Figura 2.1), as incisões que ultrapassam essas medidas e não atingem o lençol freático é chamada de ravina, ao interceptar o lençol freático a erosão é denominada de voçoroca (Almeida Filho & Ridente Junior, 2001; IPT, 1991).



**Figura 2.1** – Taludes às margens de uma rodovia com erosão em sulcos (Corbis, (2000) apud Silveira, (2002)).

Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2006), nas áreas rurais, a erosão linear, em sua fase inicial, pode ser desfeita com as operações normais de preparo do solo. Em estágio muito adiantado, porém, elas atingem tal profundidade que não permitem o trabalho das máquinas agrícolas, prejudicando a produtividade.

Segundo Lima (1999), a visão mais impressionante do processo de erosão é a voçoroca (ibi = terra, çorog = rasgar), que significa “terra rasgada” na expressão tupi-guarani.



**Figura 2.2** – Feição erosiva conhecida como voçoroca (DAEE/IPT, 1989).

Considerando que o objetivo deste trabalho é entender a distribuição espacial dos fatores que afetam os processos erosivos no entorno do Reservatório de Corumbá IV, serão tratados a seguir os fatores condicionantes da erosão com ênfase na erosão hídrica pluvial de caráter laminar.

## **2.3. FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS**

Observando-se à bibliografia referente à erosão constata-se os principais fatores intervenientes do processo erosivo. O clima (mais especificamente a precipitação pluviométrica), o relevo (forma e inclinação), os solos, a cobertura vegetal e a ação humana são sempre apontadas como os fatores fundamentais.

Os solos, o clima e o relevo determinam taxas naturais de erosão que podem ser modificadas pela ação humana, intensificando-se ou não.

### **2.3.1. PRECIPITAÇÃO**

Para Bertoni & Lombardi Neto (1999) a chuva é um dos fatores climáticos de maior importância na erosão dos solos. A capacidade da chuva em provocar erosão é dita erosividade, que é função da intensidade, duração e frequência da chuva. A intensidade é o fator pluviométrico mais importante na erosão. Quanto maior a intensidade, maior as perdas por erosão.

Chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas, como trombas d'água, durante o período chuvoso, constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. Durante estes eventos a aceleração da erosão é máxima (DAEE/IPT, 1990).

### **2.3.2. RELEVO**

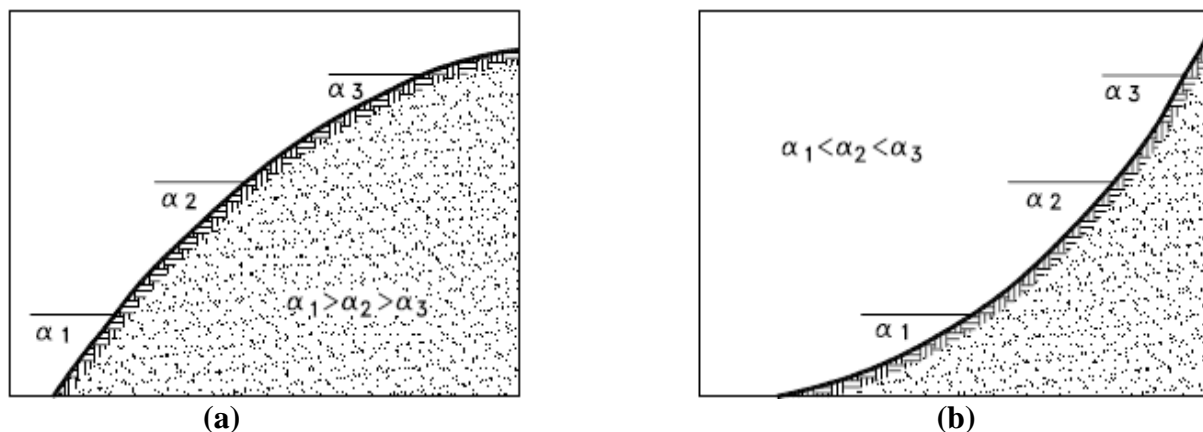
Segundo DAEE/IPT (1989), o relevo também é um fator natural que determina velocidades dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão podem ocorrer em relevos acidentados, como morros, se comparados a relevos suaves, como colinas aplainadas, pois a declividade aumenta a velocidade de escoamento das águas, e conseqüentemente a sua capacidade erosiva. A declividade tem tanto maior importância quanto maior for o trecho percorrido da encosta. Por isso, a influência da topografia na erosão é analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento da encosta.

A inclinação dos terrenos é avaliada por meio da declividade das encostas através de cartas de declividade produzidas a partir de uma base cartográfica preexistente ou de uma base cartográfica produzida especificamente para esta finalidade. A definição das classes de

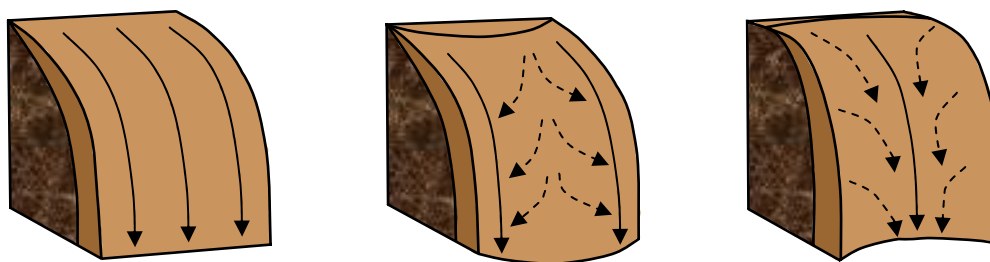
inclinação dos terrenos a serem adotadas na produção de cartas de declividade varia de acordo com o tipo de análise pretendido, sendo mais comuns as análises relacionadas à ocupação e manejo agrícola (Lepsch, 1983 e Bertoni & Lombardi Neto, 1993 apud Mauro, 2001) e àquelas associadas à produção de cartas geotécnicas derivadas como erodibilidade, escavabilidade e estabilidade de taludes (De Biasi, 1970 & Lollo, 1992).

Já a forma da encosta e seu comprimento podem ser definidos diretamente da base cartográfica ou de trabalhos de campo e costumam ser associado a outro atributo natural tal como o tipo de solo ou as formas de relevo associadas. O comprimento de rampa da encosta, que pode ser definido como a distância, em superfície, entre os pontos de maior e menor cota do perfil longitudinal da encosta, é uma variável de grande importância na intensidade do processo erosivo (Mauro, 2001).

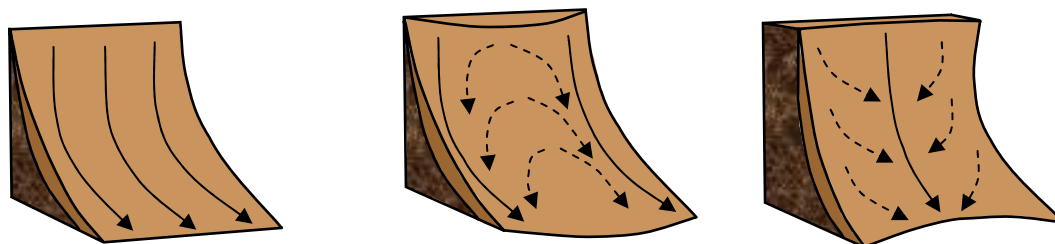
Segundo Nishyama (1995), quanto à forma do perfil da encosta, é consenso que formas predominantemente convexa apresentem dois fatores propícios à aceleração do escoamento: o crescimento das declividades locais em direção à base da encosta e a tendência de concentração do fluxo em determinadas direções. Já as formas côncavas tendem a apresentar redução dos valores locais de declividade em direção à base da encosta e concentração de fluxo em direção ao centro da base, definindo, assim, condições de fluxo menos danosas. As Figuras 2.4, e 2.5 representam as formas de relevo.



**Figura 2.3** – Variação da declividade em encostas convexa (a) e côncava (b), modificado de Nishyama (1995).



**Figura 2.4** – Perfil de encostas convexas



**Figura 2.5** – Perfil de encostas côncavas

### 2.3.2.1. ESTUDOS DO RELEVO

As características do relevo têm papel fundamental no processo de formação de erosões uma vez que controlam a relação existente entre infiltração e escoamento superficial.

Segundo Lollo (1996) os conceitos envolvendo landforms possuem de maneira geral dois enfoques:

**a) Caráter eminentemente fisiográfico** – Descreve uma parcela do terreno que pode ser diferenciada (isolada) das outras, como por exemplo: “Landforms são elementos do meio físico que possuem composição definida, assim como as variações das características visuais e físicas, tais como: forma topográfica, modelo de drenagem e morfologia” (Belcher, 1946).

**b) Caráter genético** – Procura associar a feição com a sua forma de origem, imprimindo uma visão interpretativa, como por exemplo: “Landform são feições do terreno formadas por processos naturais que apresentam composição e tamanho definível de características físicas e visuais que ocorram em qualquer local que à feição esteja” (Way, 1973);

Para estudar as formas de terreno podem-se usar conceitos que são aplicados na avaliação das condições naturais do meio físico, podendo ser efetuada de duas formas:

**a) Avaliação visual da paisagem** - É aplicada na ocupação de áreas para fins de recreação, como por exemplo, bosques, parques e outros. Os estudos dessa natureza apresentam duas formas distintas de aplicação:

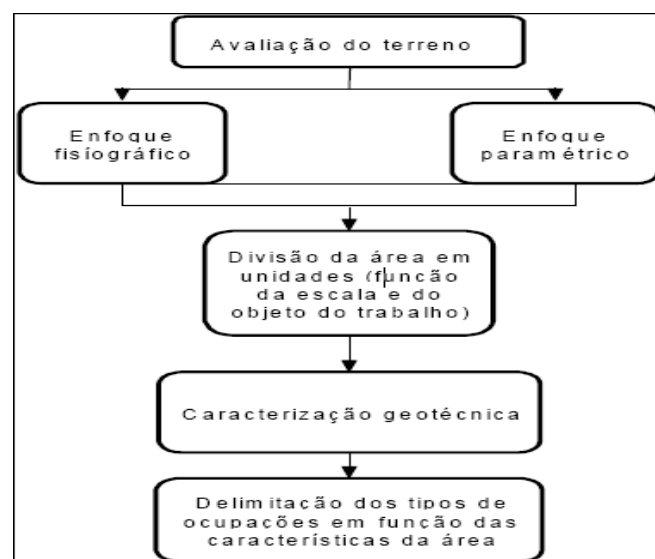
- Pelo uso de componentes mensuráveis, os quais são avaliados em termos qualitativos.
- Pela ênfase na percepção, por consumidores potenciais, da qualidade cênica.

**b) Avaliação do terreno** - Esse método é o mais útil para o levantamento de condições do meio físico, considerando que leva em conta os solos e as rochas presentes em determinada região.

Segundo Lollo (1996) foram desenvolvidas duas maneiras de se avaliar o terreno: enfoque de paisagem e enfoque paramétrico.

O enfoque de paisagem consiste na delimitação de diferentes feições do terreno com base num conjunto de interpretações fotointerpretativas e de campo, promovendo o zoneamento de áreas semelhantes e já o enfoque paramétrico consiste na delimitação de áreas com feições características com base na medida de parâmetros representativos das formas, tais como: declividade, amplitude e extensão dessas feições.

Segundo o mesmo autor são necessários alguns procedimentos (Figura 2.6) para caracterizar uma área para fins de uso e ocupação por meio da utilização da técnica de avaliação do terreno.



**Figura 2.6** - Procedimentos empregados para caracterização de uma área para fins de uso e ocupação por meio da utilização da técnica de Avaliação de Terreno (Lollo, 1996).



### **2.3.3. SOLOS**

Segundo DAEE/IPT (1990) a estrutura do solo, sua composição, espessura e relação textural entre horizontes, associados à textura, compõe o conjunto de informações a ser tratado para se avaliar a erodibilidade (susceptibilidade à erosão) de um solo. (Alcântara, 1996).

Apesar de existirem métodos de campo e laboratório para caracterização deste fator (Silva, 1997) o mais comum é que sua avaliação se dê com base na consideração dos fatores que governam esta propriedade dos solos.

Assim, a erodibilidade de um solo costuma ser avaliada com base em informações sobre sua granulometria, estrutura, permeabilidade, teor de matéria orgânica (Morgan, 1995 apud Mauro, 2001).

Com relação à granulometria do solo pode-se afirmar que solos mais grosseiros, dada sua menor coesão, tendem a ser mais suscetíveis à erosão que solos finos (Nascimento & Castro, 1976).

Segundo (Bertoni & Lombardi Neto, 1999) a erosão não é a mesma em todos os solos, pois as propriedades físicas e as características químicas, biológicas e mineralógicas do solo exercem diferentes influências. A matéria orgânica retém de duas a três vezes o seu peso em água, aumentando assim a infiltração, com diminuição das perdas do solo por erosão laminar.

### **2.3.4. COBERTURA VEGETAL**

A cobertura vegetal funciona como uma defesa natural para os vários tipos de solos existentes.

Sua existência normalmente determina condições que favorecem a infiltração e a evapotranspiração, reduzindo assim o volume de água escoada superficialmente e, conseqüentemente, a ação erosiva da água.

Nishyama (1995) destaca que com a remoção da vegetação nativa, a substituição por outro tipo de cobertura não apresentará a mesma eficiência na prevenção dos processos erosivos, podendo ainda, favorecer o desenvolvimento do mesmo.

### **2.3.5. AÇÃO HUMANA**

O principal fator desencadeador dos processos erosivos é sem dúvida alguma a ação humana. Vale ressaltar que esse desencadeamento acontece não só em áreas urbanas, mas também em áreas rurais, pois o uso e ocupação inadequada do solo são constantes, causando desequilíbrios nos processos naturais.

O relevo também sofre modificação induzida pela ação humana: obras de terraplanagem, causando aparecimento de formas e inclinações no terreno, favoráveis ao desenvolvimento de processos erosivos.

Com relação às obras de engenharia em geral, o principal fator que pode induzir o desenvolvimento de processos erosivos é a deficiência ou mesmo a ausência de planejamento das ações urbanas.

Segundo IPT (1989) e Bittar *et al.* (1990) as principais causas do surgimento e evolução da erosão urbana são:

- "O traçado inadequado dos sistemas viário, que são em alguns casos agravados pela ausência de pavimentação, guias e sarjetas”;
- "A precariedade do sistema de drenagem de águas pluviais”;
- "Expansão urbana rápida e descontrolada, dando origem na maioria das vezes á implantação de loteamentos e conjuntos habitacionais em locais inadequados, levando-se em consideração a geotecnia da cidade”.

## **2.4. ENSAIOS RELACIONADOS À DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE EM LABORÁTORIOS**

### **2.4.1. ENSAIO DE DESAGREGAÇÃO**

O ensaio de desagregação foi utilizado em 1958 pela Eng<sup>a</sup>. Anna Margarida Fonseca quando estudava solos para fins de obras de fundação durante a construção da capital Brasília (Ferreira, 1981). Este ensaio, também conhecido como Slaking Test, tem por objetivo verificar a estabilidade de uma amostra de solo indeformada quando da imersão em água destilada, independente da dispersão do material.

Os ensaios de desagregação consistem na introdução de amostras de solo em uma bandeja contendo água, observando-se, então, as reações das respectivas amostras ao processo de submersão. Com o ensaio de desagregação, pode-se prever o comportamento do solo quando inundado por água, o que possibilita a determinação da capacidade da água em desagregar o mesmo (Jacintho *et al.*, 2006).

O ensaio de desagregação pode ser diretamente associado às fases dos processos erosivos e a mecanismos importantes no estudo de erosão. Por exemplo, a infiltração da água de chuva em um perfil de solo, cuja fase ar é contínua, tende a ter sua frente de saturação bloqueada pelo aumento da pressão na fase ar, aumentando, assim, o escoamento superficial e intervindo no processo erosivo.

O resultado deste ensaio é puramente qualitativo. A relação entre o potencial de desagregação e a erodibilidade é evidente. Os solos considerados altamente erodíveis desagregam totalmente em água. Entretanto, não é verificada uma relação direta do potencial de desagregação com os níveis intermediários e baixos de erodibilidade (Bastos, 1999).

#### **2.4.2. ENSAIO DE INDERBITZEN**

Tem como objetivo avaliar a erodibilidade dos solos. Segundo Bastos (1999), o ensaio tem um custo baixo, promissor na avaliação geotécnica da erodibilidade. O equipamento é composto por uma rampa de inclinação variável na qual uma amostra indeformada ou compactada de 15 cm de diâmetro é colocada rente ao fundo, e então é aplicada uma lâmina d'água de vazão definida, produzindo um fluxo uniforme que passa sobre a amostra presa na rampa (Figura 2.7).

No ensaio o ângulo do talude e o grau de compactação devem seguir as condições de campo e, a duração e intensidade do escoamento superficial, devem levar em conta a intensidade e o tempo de concentração das chuvas da região.

As perdas de solo é medida em peso de solo seco erodido com relação à área da amostra e ao tempo do fluxo da lâmina d'água.



**Figura 2.7** - Esquema do equipamento modelo “Inderbitzen” para investigação da erodibilidade do solo (Vilela, 2003).

### 2.4.3. MATERIA ORGÂNICA

Oades (1996) define a matéria orgânica do solo (MOS) como resíduo de plantas e animais decompostos. Entretanto, a maioria dos métodos analíticos de determinação da MOS não distingue entre resíduos de plantas e animais decompostos ou não decompostos, que passem através da peneira de 2mm (Dooran e Jones, 1996). Magdoff (1992) define a MOS em sentido amplo, como organismos vivos, resíduos de plantas e animais pouco ou bem decompostos, que variam consideravelmente em estabilidade, susceptibilidade ou estágio de alteração.

A matéria orgânica produz muitos benefícios para o solo, melhorando suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Apesar dos aspectos extremamente relevantes relacionados à sua dinâmica, pode-se dizer que no Brasil os estudos sobre o tema são incipientes. Isso se deve, em parte, a complexidade e dificuldade em estudar a matéria orgânica e suas macromoléculas constituintes, as substâncias húmicas (ácido húmico, ácido fúlvico e humina) (Silva *et al.*, 1999)

No Brasil o método padrão para determinação da matéria orgânica do solo é denominado de Walkley-Black modificado (EMBRAPA, 1999). Esse método não apresenta 100% de correlação com o método do Analisador Elementar, considerado como padrão mundial de

determinação da MOS (Swift, 1996) e além disso, também possui problemas quanto a custos e tempos de execução.

No método do Analisador Elementar a determinação é feita a partir de amostras sólidas, sem a utilização de qualquer tipo de extrator, o que elimina possíveis influências destas substâncias na quantificação da MOS. Outros métodos devem ter sua eficiência testada comparativamente com o padrão, pois a MOS é fundamental na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas terrestres (Silva *et al.*, 1999).

#### **2.4.4. ENSAIO DE GRANULOMETRIA**

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Por meio dos resultados obtidos desse ensaio é possível construir a curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos bem como a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade e outros. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, se necessário. A finalidade dessa determinação é obter a curva granulométrica de um solo.

As principais normas existentes para realização do ensaio de granulometria são: ABNT NBR 7181/84 e Embrapa (1997). Ambas as normas possuem o mesmo princípio, na qual consiste no decaimento das partículas dos solos. Porém, essas normas apresentam diferentes aspectos que devem ser ressaltados: a ABNT NBR 7181/84 utiliza na obtenção da textura (granulometria) o defloculante denominado de hexametáfosfato de sódio e o método do densímetro, já a Embrapa (1997) usa como defloculante o hidróxido de sódio (NaOH) e o método da pipeta.

#### **2.5. ANÁLISE MORFOMÉTRICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

As primeiras interpretações descritivas referentes a sistemas de drenagens iniciaram a partir do século XIX.

A análise morfométrica é de grande importância no estudo de bacias e sub-bacias de drenagem por que trata de dados quantitativos, o que facilita sobretudo a comparação de duas ou mais bacias ou sub-bacias.

Horton (1945), baseado na lei de Playfair, utilizou pela primeira vez uma análise quantitativa em sistema de drenagens. O mesmo estabeleceu um sistema de classificação de canais em uma rede hidrográfica e também determinou leis que relacionam o comprimento e número de canais.

De acordo com o sistema de classificação de canais proposto por Horton (1945), os canais considerados de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários, os de segunda ordem só recebem tributários de primeira ordem, os de terceira ordem podem receber tributários de primeira e segunda ordem e assim sucessivamente. Com relação ao rio principal, este é representado pelo canal de maior ordem.

Christofoletti (1980) agrupou as variáveis morfométricas conforme seus aspectos lineares, espaciais e hipsométricos.

Na análise linear são considerados índices e relações ao longo das drenagens, dentre os quais: relação de bifurcação; relação entre o comprimento médio dos canais de cada ordem; relação entre o índice do comprimento médio dos canais e o índice de bifurcação, comprimento do rio principal, extensão do percurso superficial, relação do equivalente vetorial e gradiente dos canais.

Na análise espacial constam medições planimétricas e lineares, incluindo os seguintes índices: área da bacia, comprimento da bacia, relação entre o comprimento do rio principal e a área da bacia, forma da bacia, densidade de rios, densidade da drenagem, densidade dos segmentos da bacia, relação entre as áreas das bacias e coeficiente de manutenção.

Na análise hipsométrica procura-se relacionar a bacia de drenagem com faixas altitudinais, na qual são estudadas: curva hipsométrica, coeficiente de massividade, coeficiente orográfico, amplitude altimétrica máxima da bacia, relação de relevo e índice de rugosidade.

A Tabela 2.1 apresenta uma síntese das principais propriedades (espaciais) morfométricas das bacias de drenagem.

**Tabela 2.1** - Principais propriedades espaciais e definições morfométricas das bacias de drenagem

PROPRIEDADES	DEFINIÇÕES
ESPACIAL	Relação da bacia de drenagem com medidas lineares e espaciais, proporcionando, em duas dimensões, comparações, no que concerne à forma, área e suas interrelações.
Área da bacia (Ab)	Área da bacia drenada pelo sistema fluvial
Comprimento da bacia (Cb)	Maior extensão na direção longitudinal
Largura da bacia (Lb)	Maior extensão na direção transversal
Índice de circularidade (Ic)	Área da bacia de drenagem dividida pela área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia
Relação entre o rio principal e a área da bacia	Produto da extensão do rio principal e a área da bacia
Forma da bacia (Fb)	Relação da bacia com alguma figura geométrica
Densidade de rios (Dr)	Relação entre o número de rios e a área da bacia
Densidade de drenagens (Dd)	Soma do comprimento dos canais por unidade de área
Densidade de segmentos da bacia (Dsb)	É a quantidade de segmentos existentes por unidade de área
Relação entre as áreas das bacias (Rab)	Relação entre áreas de duas determinadas ordens
Coeficiente de manutenção (Cm)	Inverso da densidade de drenagem vezes 1 000.
Relação de Elongação (Re)	O diâmetro de um círculo da mesma área da bacia de drenagem dividida pelo máximo comprimento da bacia medido desde a sua foz.

**Fonte:** Christofolletti, 1986; Summerfield, 1991

## 2.6. DIFERENTES MODELOS PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLOS

### 2.6.1. EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO – USLE

A USLE é uma equação empírica que surgiu a partir de testes experimentais, cujo objetivo foi quantificar as perdas de solo por erosão laminar. W. H. Wischmeier e D. D. Smith (1978) desenvolveram a chamada Equação Universal de Perdas de Solo (USLE - *Universal Soil Loss Equation*), buscando obter essas perdas. A mesma foi projetada como um método para a predição da média anual de perda de solo causada por erosão laminar. Como aspectos negativos: não se adéqua para a estimativa para um evento pluviométrico específico (USDA, 1996). Essa equação é definida por:

$$A = R . K . L . S . C . P, \quad (2.1)$$

Onde:

$A$  = perdas de solo, em t/(ha.ano);

$R$  = fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

$K$  = fator erodibilidade do solo, em t.h/(MJ.mm);

$L$  = fator comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa (adimensional);

$S$  = fator declividade, baseado nos valores, em porcentagem, da declividade (adimensional);

$C$  = fator uso e manejo (adimensional); e

$P$  = fator práticas conservacionistas (adimensional).

### 2.6.1.1. FATOR R

O fator de erosividade - R é um índice numérico que expressa a capacidade com que a chuva tende a provocar erosão, em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

Albuquerque *et al.* (1994), Bertoni & Lombardi Neto (1993), entre outros estudaram outros índices de erosividade e concluíram que o EI30 é o que melhor se adequa à realidade intertropical. Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) propuseram a seguinte equação para determinação de um valor médio do índice de erosividade por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação:

$$EI30 = 67,355 (r / P')^{0,85} \quad (2.2)$$

Onde:

EI30 = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm/(ha.h);

$r$  = média do total mensal de precipitação, em mm;

$P'$  = média do total anual de precipitação, em mm.

Para determinar os valores de R, basta somar os resultados dos valores mensais do índice de erosividade em cada estação pluviométrica:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI30_j \quad (2.3)$$

Onde:

$j$  = mês do ano

### 2.6.1.2. FATOR K – ERODIBILIDADE DOS SOLOS

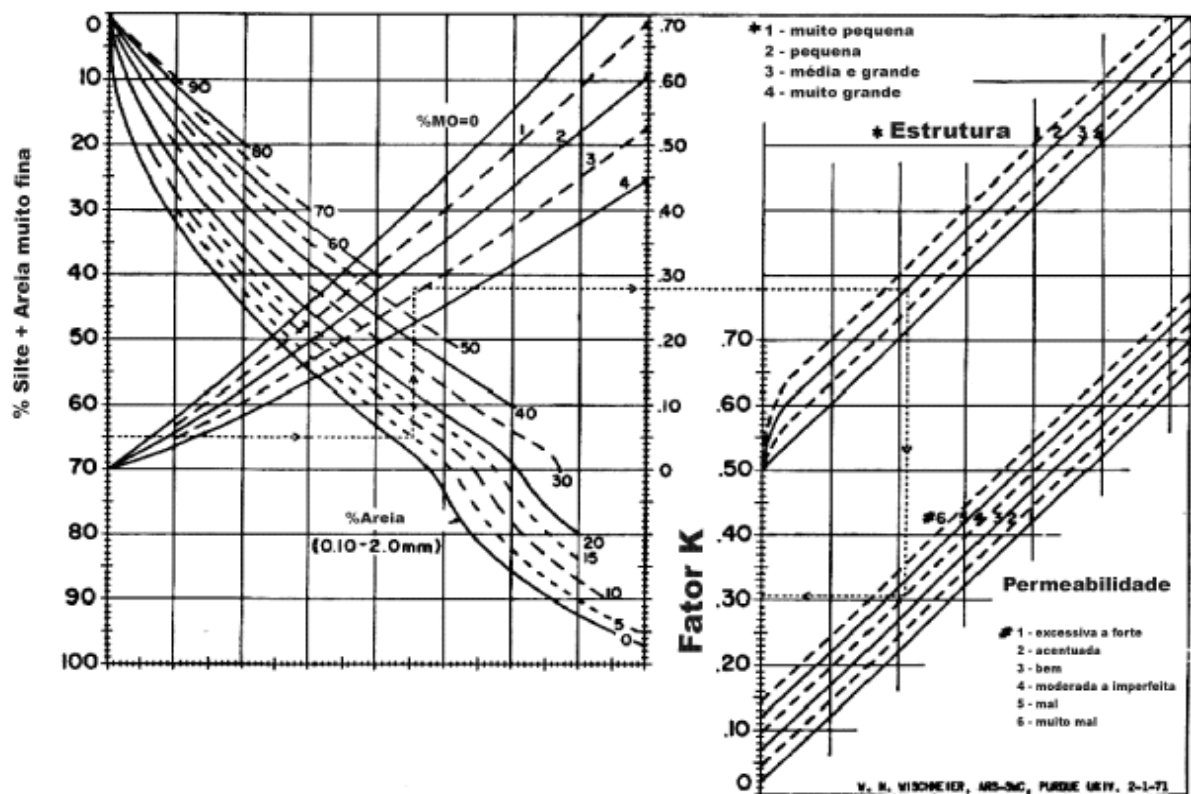
A propriedade do solo que representa a sua susceptibilidade à erosão é definida como erodibilidade. Segundo Freire *et al.*, 1992 a erodibilidade pode ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

Para Bertoni & Lombardi Neto (1993), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros ainda que variáveis, como chuva,



declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda de acordo com esses autores as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aqueles que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento (Macedo *et al.*, 2000). A erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas e é expresso como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva (EI) Bertoni & Lombardi Neto (1993).

De acordo com Baptista (1997), esse fator pode ser determinado experimentalmente em condições específicas de declividade e comprimento de rampa ou de forma indireta por meio de um nomograma (Figura 2.8) desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971), sendo que os resultados obtidos devem ser multiplicados pelo fator de conversão 0,1317, para que possa ser utilizado no Sistema Internacional, pois em sua confecção a permeabilidade do solo foi adotada no sistema em inglês.



**Figura 2.8** - Nomograma de Wischmeier *et al.*, 1971 (t.h/(MJ.mm)).

Além do nomograma se pode obter o fator K por meio da seguinte equação:

$$K = ((2,8 * (1 \times 10^{-7} * M^{1,14}) * (12 - a) + 4,3 * (1 \times 10^{-3}) * (b - 2) + 3,3 * (1 \times 10^{-3}) * (c - 3))) \quad (2.4)$$

Onde:

M= parâmetro de granulometria (%silte+% areia muito fina)X(100-%argila);

a= percentagem de matéria orgânica;

b= código da estrutura do solo (granular muito fina, 1; granular fina, 2; granular média ou grosseira, 3; maciço, blocos, 4.);

c= classe de permeabilidade do perfil (rápido, 1; moderado a rápido, 2; moderado, 3; lento a moderado, 4; lento, 5 e muito lento, 6)

Devido os inúmeros autores que estuda o fator de erodibilidade (K), se procurou mostrar por meio da Tabela 2.2 os vários valores estimados de K para os diferentes tipos de solos.

**Tabela 2.2 – Valores de erodibilidade (t.h/(MJ.mm)) adotados por diferentes autores**

Classes de Solos	Valores de erodibilidade (t.h/(MJ.mm)) com devidos autores/ano					
	Baptista, (1997)	Wischmeier <i>et.al</i> (1971)	Bertoni & Lombardi Neto (1993)	Chaves (1994)	Bueno <i>et.al</i> (2004)	Ferrari <i>et.al</i> (1996)
Latossolos vermelho (LV)	0,0130	0,0180	0,0160	0,013	-	0,0153 - 0,0163
Latossolos vermelho-amarelo (LVA)	0,0200	0,0150	0,0150	0,0200	-	0,0112 - 0,0223
Latossolos amarelo (LAd)	-	0,0280	0,0150	0,0200	-	-
Cambissolos	0,0240	0,0390	-	-	-	0,04
Latossolos vermelho distrófico (LVd)	-	0,0140	-	-	0,0153	-
Latossolos vermelho amarelo distrófico (LVAd)	-	0,0470	-	-	0,0173	-
Latossolos vermelho distroférico (LVdf)	-	-	-	-	0,0134	-

### 2.6.1.3. FATOR LS

O fator comprimento de rampa – L é de suma importância nas perdas de solo por erosão laminar, pois quanto maior for a sua extensão maior será a velocidade do escoamento. Na equação de perdas de solo sua unidade é adimensional.

Para o calculo do comprimento de rampa, pode-se utilizar o índice de extensão media do escoamento sobre os terrenos por bacia hidrográfica, obtido pelo método do retângulo equivalente modificado por Vilela e Mattos (1975), que pode ser compreendido como a distância média em que a água das chuvas deveria percorrer até o ponto mais próximo do leito dos rios. Este método considera a bacia da área A como um retângulo, onde em seu centro, passa um rio de comprimento l, representado pelo somatório dos comprimentos de todos os cursos d'água componentes da rede de drenagem da bacia. O valor da extensão média do escoamento sobre os terrenos é determinado pela seguinte equação:

$$L = A/4l' \quad (2.5)$$

Onde:

L = fator comprimento de rampa e/ou extensão média do escoamento sobre os terrenos (m);

A' = área da bacia (m<sup>2</sup>); e

l' = somatório do comprimento de todos os cursos d' água da bacia (m).

O volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno (Bertoni & Lombardi Neto, 1993). A USLE utiliza o fator declividade como uma das variáveis topográficas, adimensional baseada nos valores obtidos em porcentagem.

Esses valores podem ser obtidos com ábacos, manualmente sobre as bases cartográficas ou por meio do geoprocessamento, pois a maioria dos programas computacionais possui algoritmos de manipulação que percorrem o modelo numérico de terreno, aplicando a equação para determinação da declividade.

As duas componentes da declividade são calculadas a partir de derivadas parciais de primeira e segunda ordem obtidas de uma grade e que é resultado dos valores de altitude da superfície.

Nos trabalhos de determinação das variáveis da USLE por meio de geoprocessamento é muito comum a integração da declividade com o comprimento de rampa, gerando uma única variável conhecida como LS, que foi estabelecida para qualquer valor de comprimento de rampa (l) e declividade (s) e utilizada no sistema internacional (Foster, *et al.*, 1981). Para calcular o LS usa-se a seguinte equação:

$$LS = \sqrt{l} / 100 (1,36 + 0,97s + 0,1385s^2) \quad (2.6)$$

Onde:

LS= Fator Topográfico;

l = comprimento de rampa em metros;

s = grau de declividade em porcentagem.

Outra forma de associar o comprimento de rampa e a declividade surgiu no ano de 1986, onde Moore & Burch utiliza o algoritmo em que emprega o conceito de contribuição de área e requer a geração de um mapa de fluxo acumulado. Para cada pixel, calculam-se a declividade,

a direção de fluxo e a quantidade de fluxo que se acumulou a montante daquele pixel. Assim, o algoritmo permite o cálculo de fatores de relevo para quaisquer tipos de vertentes.

Utilizando-se a metodologia proposta por Moore & Burch (1986), cuja expressão para o cálculo do fator de relevo é fornecida pela Equação a seguir:

$$LS = \left( \frac{FlowAccumulation \times CellSize}{22.13} \right)^{0,4} \times \left( \frac{\text{sen}(Slope)}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (2.7)$$

Onde:

“FlowAccumulation” é o acúmulo de fluxo ou área de contribuição, obtida com o módulo “Hidrology” do ArcGis 9.2;

“CellSize” é o tamanho da célula do modelo digital de elevação;

“Slope” é a declividade em radianos, calculada para cada pixel.

#### **2.6.1.4. FATOR USO E MANEJO (C) E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)**

Fator uso e manejo do solo é a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado e em um terreno desprotegido. A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo entre outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1993 apud Macedo *et al.*, 2000).

Segundo Guerra *et al.* (1999), o fator de Uso e Manejo (Fator C) é a relação esperada entre as perdas de solo em um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas de solo de um terreno mantido continuamente descoberto. De maneira geral os valores de C são obtidos por experimentos realizados regionalmente. Bertoni & Lombardi Neto (1985) determinaram, a partir de dados experimentais, valores de perdas de solo por erosão laminar em função dos diferentes fatores uso e manejo do solo conforme adaptação feita por (Lemos & Ferreira, 2003). Esses valores são apresentados na Tabela 2.3 juntamente aos valores propostos por Bueno *et al.* (2004).

O fator prática conservacionista trata da relação entre a intensidade esperada de perda de solo com determinada prática conservacionistas ou quando a cultura está disposta no sentido do declive. Uma área sem proteção de cobertura vegetal é geralmente mais suscetível á erosão do

que um que esteja recoberto por vegetação sendo que o seu efeito dependerá do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à seqüência de culturas e ao manejo (Bertoni & Lombardi Neto, 1993).

**Tabela 2.3** – Valores de C adotados por diferentes autores

Porte da Vegetação	Classes de uso e cobertura do solo	Valores de C		
		Bertoni & Lombardi Neto (1993)	Chaves (1994)	Bueno <i>et. al</i> (2004)
Vegetação de porte alto	Áreas reflorestadas	0,0010	0,0001	0,0158
Vegetação de porte baixo rasteiro	Cobertura residual	—	0,0007	0,0080
	Pastagem	0,0700	—	0,0050
Vegetação de porte médio a baixo	Cerrado	—	0,0007	0,0007
	Cultura perene	—	0,0200	0,0400
	Cultura temporária	—	0,2000	—
Sem cobertura vegetal	Solo descoberto	1,0000	—	—
Ocupações antrópicas	Área Urbanizada	—	0,0000	0,0000
Ocupações naturais	Corpos d' água	—	0,0000	—

#### 2.6.1.5. FATOR CP TRATADO DE FORMA INTEGRADA

De acordo com Stein *et al.*(1987), se o que se pretende é adequar as formas de produção agrícola de maneira a minimizar os efeitos negativos causados no meio físico, as variáveis antrópicas da USLE devem ser tratadas separadamente. Mas se o objetivo é espacializar fenômenos por meio do geoprocessamento, a obtenção dos dados de C e P podem ser analisados de forma integrada em função do uso e cobertura do solo. Neste caso, adota-se o fator P=1, como sendo uma constante, por representar a pior situação de perdas de solo em função de práticas conservacionistas. Desta forma, a Tabela 2.3 representa o fator C

Para estimar as variáveis da USLE, de forma tradicional, é necessária uma quantidade considerável de experimentos de campo, o que torna quase inviável o estudo para grandes áreas. Por essa razão torna-se necessária a utilização das técnicas de geoprocessamento, como alternativa ferramental para esse tipo de análise em escala regional.

A USLE é empregada, com bons resultados, para pequenos talhões compatíveis com o uso agrícola, resultando na quantificação da perda de solos por erosão laminar nessas áreas. Porém, quando se adotam áreas grandes, de escala regional, não se pode ignorar que ao longo de uma vertente ocorrem, simultaneamente, os processos de erosão e de deposição, além da erosão que se observa nos canais fluviais, o que, em conjunto, constituem uma limitação para

utilização dessa equação para quantificar a erosão. Entretanto, como a mesma apresenta todos, ou praticamente todos, os fatores envolvidos no processo de erosão laminar, ela permite avaliar qualitativamente grandes áreas, determinando os diferentes graus de susceptibilidade à erosão das regiões homogêneas identificadas (Baptista, 1997 apud Macedo *et al.*, 2000).

### 2.6.2. EQUAÇÃO DE ZINGG

Nos EUA os estudos de quantificação das perdas de solos iniciaram-se no ano de 1915, desenvolvidos pelo Serviço Florestal (Mitchell & Bubenzer, 1980).

A partir daí, diversos cientistas buscaram o desenvolvimento de equações que visam a modelar as perdas de solos, e a primeira a englobar os parâmetros topográficos foi a de Zingg, em 1940. Esta equação é expressa por:

$$A=C'S^mL^{n-1} \quad (2.8)$$

Onde:

A = perdas de solo (mm/ano);

C' = combinação da chuva, do solo, da cobertura vegetal e do manejo adotado;

S = declividade da rampa (grau);

L = comprimento de rampa (m);

m (1,4), n (1,6) = expoentes de S e L, respectivamente.

Esta equação não explicita como é realizada a combinação da variável chuva, solo, cobertura vegetal e manejo adotado e, além disso, possui expoentes fixos para os parâmetros declividade comprimento da encosta, ou seja, esses expoentes são os mesmos em quaisquer condições topográficas (Baptista, 1997).

### 2.6.3. EQUAÇÃO DE MUSGRAVE

Em 1947, Musgrave propõem uma equação de perda de solo na qual as características da chuva são induzidas, além de apresentar, inseridas nos cálculos, a cobertura vegetal como fator de redução da energia cinética das gotas precipitadas (Mitchell & Bubenzer, op.cit). A equação de Musgrave é apresentada sob a seguinte forma:

$$A = (0,00527)IRS^{1,35}L^{0,35}(P_{30})^{1,75} \quad (2.9)$$

Sendo:

A = perdas de solo (mm/ano);

I= erodibilidade inerente ao solo (mm/ano);  
R= fator cobertura vegetal (adimensional);  
S= declividade da rampa (%);  
L= comprimento da rampa (m);  
P<sub>30</sub>= precipitação máxima em 30 minutos (mm).

Musgrave despreza as práticas conservacionistas em seu modelo, ou seja, não diferencia a perda decorrente de um preparo em curvas de nível de um no sentido da declividade (Baptista, 1997).

#### **2.6.4. EQUAÇÃO DE SMITH E WHITT**

A equação de Smith e Whitt foi desenvolvida em 1948. Esta equação despreza os fatores climáticos, porém introduz as variáveis antrópicas no modelo, conforme se pode notar na equação abaixo (Mitchell & Bubenzer, op.cit.):

$$A = C''SLK'P \quad (2.10)$$

Sendo:

A = perdas de solo (mm/ano);  
C'' = rotação de culturas (adimensional);  
S = declividade (%);  
L = comprimento de rampa (m);  
K' = grupo de solos (adimensional);  
P = práticas conservacionistas (adimensional).

Esse modelo não apresenta a variável erosividade da chuva. A não inclusão da variável climática no modelo torna-o incompleto para determinação da perda de solo por erosão hídrica laminar (Baptista, 1997).

#### **2.6.5. EQUAÇÃO DE HUDSON**

Proposta em 1961, a equação de Hudson incorpora alguns aspectos não analisados até então, como as práticas agronômicas ou agrícolas e, principalmente, a proteção mecânica. Esta equação é definida da seguinte forma (Mitchell & Bubenzer, op.cit.):

$$E = TSLPMR \quad (2.11)$$

Sendo:

E = perdas de solo (mm/ano);  
T = tipo de solo (adimensional);  
S = declividade (%);  
L = comprimento de rampa (m);  
P = práticas agronômicas ou agrícolas (adimensional);  
M = proteção mecânica (adimensional);  
R = fator chuva (mm).

Esse modelo é o que mais se aproxima da equação proposta de Wischmeier & Smith, 1978 (apud Baptista, 1997), pois engloba quase todas as variáveis da USLE, porém com os nomes e formas de determinação diferenciada. A vantagem da USLE em relação a esse modelo está no fato de que o fator R proposto por Wischmeier & Smith (op.cit.) baseia-se na intensidade e na energia cinética da chuva, quando o  $EI_{30}$  é adotado, pois dessa forma contempla-se o aspecto do impacto e da enxurrada como agentes desagregadores e de transporte de sedimentos.

#### **2.6.6. WATER EROSION PREDICTION PROJECT (WEPP)**

O modelo WEPP é o resultado de um workshop ocorrido em Lafayette, Indiana, em 1985. Baseia-se em processos hidrológicos e erosivos (Lane *et.al.*, 1992).

Conceitualmente o modelo subdivide-se em seis componentes: gerador de clima; componente de hidrologia; componente de crescimento de planta; componente de solos; componente de erosão/deposição e componente de irrigação (Chaves, 1994).

Os resultados obtidos a partir da utilização da WEPP são as perdas de água, ou seja, a quantidade de água que deixa de infiltrar devido à enxurrada e que não estará disponível para as culturas (Reichardt, 1990), expressa em mm e a perda de solos em kg/m ou kg/m<sup>2</sup> (Chaves *et.al.*, 1996 apud Baptista, 1997).



### **3. MATERIAS E MÉTODOS**

Segundo Antunes *et al.*, (2000) a obtenção de informações espaciais de objetos da superfície terrestre pode ser feitas por técnicas de topografia, fotogrametria e de sensoriamento remoto. No que se refere à escolha da técnica a ser utilizada, essa deve está ligada principalmente com a aplicação a que se destina o mapeamento e a precisão desejada na representação espacial dos objetos.

Para desenvolver esta pesquisa foi utilizado ambiente SIG, ou seja, fez-se uso dos recursos do aplicativo do programa computacional SPRING 4.3.3.(desenvolvido e disponibilizado gratuitamente pelo INPE) para as operações temáticas referentes ao processamento digital de dados orbitais através de técnicas de sensoriamento remoto.

#### **3.1. PRINCIPAIS ETAPAS DE EXECUÇÃO**

Neste capítulo são descritos os principais métodos e procedimentos utilizados nas etapas de elaboração do inventário (aquisição e organização da informação), assim como para obtenção do diagnóstico dos processos erosivos laminares existentes na área de estudo.

#### **3.2. ETAPAS DE INVENTÁRIO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS ESTUDADAS**

A macro-etapa denominada de inventário é definida do ponto de vista cartográfico como a catalogação, o levantamento e o registro dos diferentes aspectos geoambientais de uma bacia hidrográfica (Oliveira, 1993 apud Castro Junior, 2008).

##### **3.2.1. DEFINIÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Para definir as sub-bacias foi utilizada a codificação da Agência Nacional de Águas – ANA, na qual facilitou o reconhecimento dos contribuintes do Reservatório de Corumbá IV. Esta codificação (Ottobacias) é uma técnica desenvolvida por Otto Pfafstetter que utiliza pequena quantidade de dígitos em um código específico para uma dada bacia. O método permite

inferir através desse código quais bacias hidrográficas se localizam a montante e a jusante daquela em estudo.

### **3.2.2. SELEÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS MATERIAIS CARTOGRÁFICOS**

Essa fase se deu com a coleta de informações referentes à representação espacial dos dados das sub-bacias. Foram selecionadas uma base topográfica do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) obtida gratuitamente pela Embrapa Monitoramento por Satélite – Brasil em Relevo (2005) e uma imagem do satélite CBERS II.

### **3.2.3. INFORMAÇÕES GEOMORFOLÓGICAS**

Os dados temáticos espaciais e descritivos relativos à geomorfologia da área de estudo, foram coletados a partir do mapa geomorfológico do ZEE RIDE – Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno: fase I (CPRM, 2003), cujo formato se encontrava em PDF (*Portable Document Format*) e escala 1:250.000. Esses dados permitiram gerar uma carta geomorfológica por meio do programa computacional Spring 4.3.3, contribuindo na caracterização fisiográfica da área estudada.

### **3.2.4. INFORMAÇÕES PEDOLÓGICAS**

As informações pedológicas foram obtidas a partir do Mapa de Reconhecimento de Baixa Intensidade dos Solos gerado pela Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM em escala 1:250.000, formato PDF (*Portable Document Format*). A partir dos dados contidos neste mapa pode-se ter um bom conhecimento dos vários tipos de solos existentes na área de estudo.

### **3.2.5. INFORMAÇÕES DA GEOLOGIA**

Os dados temáticos espaciais e descritivos relativos à geologia da região de estudo, foram extraídas a partir do Mapa Geológico (CPRM, 2003), cujo formato se encontrava em PDF (*Portable Document Format*) e escala 1:250.000.

### **3.2.6. INFORMAÇÕES DE PLUVIOMETRIA**

Nas áreas de estudo existem várias estações pluviométricas distribuídas, que caracteriza as chuvas mensais ocorridas durante vários intervalos de anos (1944 a 2008). As estações na Tabela 3.1 foram obtidas a partir da Agência Nacional de Águas - ANA.

**Tabela 3.1** – Estações pluviométricas distribuídas nas áreas de estudo

Designação	Tipo de Estação	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
Padre Bernardo	Pluviométrica	15°10'09''	48°18'41''
Anápolis	Pluviométrica	16°20'00''	48°58'00''
Fazenda Marajá	Pluviométrica	15°33'11''	48°34'38''
Jaguará	Pluviométrica	15°43'11''	49° 9'44''
Mingone	Pluviométrica	16° 9' 21''	47°56'12''
Pirenópolis	Pluviométrica	15°51'00''	48°57'00''
Luziânia	Pluviométrica	16°15'00''	47°57'00''
Ponte Anápolis – Brasília	Pluviométrica	16°05'00''	48°30'30''
Vianópolis	Pluviométrica	16°44'47''	48°31'29''
Mimoso	Pluviométrica	15° 3' 27''	48°09'34''
Aragoiânia	Pluviométrica	16°54'43''	49°27'8''

### 3.2.7. INFORMAÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO

As unidades de conservação e de cobertura vegetal envolvendo todas as sub-bacias hidrográficas da área de estudo foram obtidas por interpretação da imagem do satélite CBERS II, Cobertura Vegetal e Unidades de Conservação (CPRM, 2003) e verificadas nas três visitas de campo ocorridas nos dias 03, 04 e 05 de fevereiro de 2009.

A imagem do satélite CERS II foi selecionada a partir de catálogo disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A Tabela 3.2 mostra a seleção de cenas utilizadas na área de estudo.

**Tabela 3.2** – Seleção de cenas utilizadas nas sub-bacias hidrográficas.

CBERS				
Órbita	Ponto	Data	Sensor	Bandas
157	117	10/08/2007	CCD	2,3 e 4
157	118	10/08/2007	CCD	2,3 e4
158	117	28/09/2007	CCD	2,3 e 4
158	118	28/09/2007	CCD	2,3 e 4

### 3.2.8. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

Estes parâmetros foram obtidos a partir do menu “temático” denominado de “edição matricial” por meio do programa computacional Spring 4.3.3 como forma de obtenção dos indicadores físicos da área de estudo. Neste estudo foram considerados um total de 4 (quatro) parâmetros descritos na Tabela 3.3, a seguir. A quantificação dos parâmetros morfométricos foi realizada para cada sub-bacia estudada.

**Tabela 3.3** – Parâmetros morfométricos avaliados

Parâmetro	Equação	Unidade
Área (Ab)	Obtida diretamente da ferramenta Spring 4.3.3	Km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	Obtida diretamente da ferramenta Spring 4.3.3	Km
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	Obtida diretamente da ferramenta Spring 4.3.3	Km
Densidade de drenagem (Dd)	Cr/Ab	Km/Km <sup>2</sup>

### 3.3. PROCEDIMENTOS ADOTADOS PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS E MAPAS

Para elaborar as cartas temáticas e mapas foi utilizado como ferramenta o programa computacional Spring 4.3.3.

#### 3.3.1. CARTA BASE

Para efeito deste trabalho utilizou-se o conceito de carta base como sendo a carta com os principais elementos cartográficos que irão compor todas as cartas temáticas.

A primeira etapa consistiu na criação do projeto no Spring 4.3.3, em escala 1:250.000, no Datum Sul-Americano de 1969 - SAD 69, meridiano 45° WGr (Oeste de *Greenwich*), zona 22.

Para elaborar esta carta foram utilizadas as drenagens e as curvas de níveis de 100m, onde estas foram obtidas a partir do MNT (Modelo Numérico de Terreno) da topografia. Também se usou polígonos para representar os limites correspondentes às sub-bacias estudadas e uma simbologia que representasse a posição correta das cidades localizadas na área de estudo, sendo que outras informações foram importadas como: estradas estaduais e estradas federais. Cada item foi importado num plano de informação (PI) diferente, em categorias correspondentes.

Vale ressaltar que as drenagens empregadas nesta carta foram às drenagens de 3ª a 6ª ordem (rios e córregos principais) e o rio Corumbá, classificadas e ordenadas segundo a metodologia proposta por Horton (1945).



**Figura 3.1** - Estrutura da Carta Base

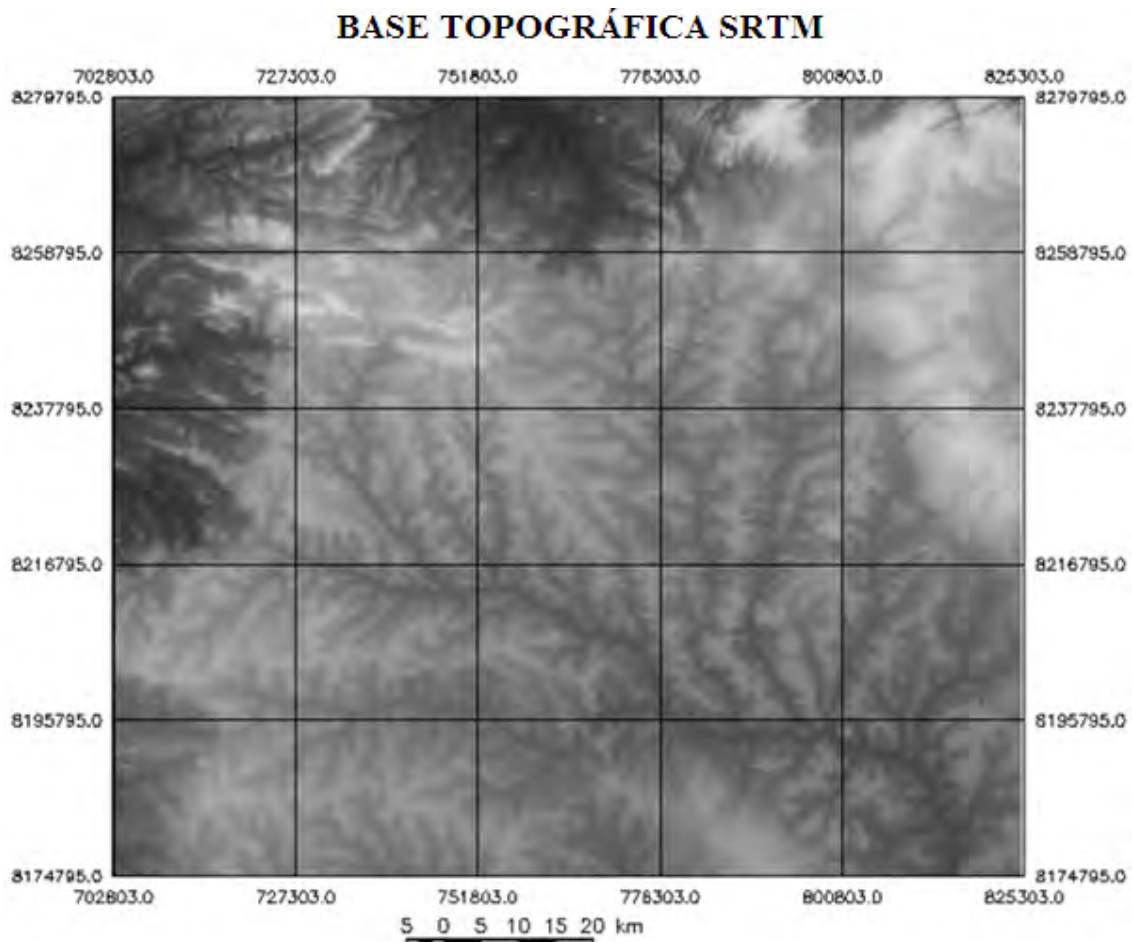
### 3.3.2. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO

Este mapa foi elaborado com objetivo de localizar os pontos de referência, como por exemplo, pontos de coleta das amostras de solo e outros que possibilite visualizar claramente a distribuição das informações contidas na área estudada.

### 3.3.3. BASE TOPOGRÁFICA E IMAGEM DO SATÉLITE CBERS II

A base topográfica do SRTM (Figura 3.2) utilizada na pesquisa foi à referência cartográfica para iniciar a mesma. Com essa pode-se obter vários atributos, como por exemplo, as drenagens principais, a declividade e outros.

Vale ressaltar que dentre os atributos obtidos a partir do MNT da topografia, as drenagens extraídas representaram claramente os canais de drenagens e divisores de água facilitando a interpretação visual e a delimitação de áreas homólogas, cujos limites podem ser diretamente digitalizados em tela.

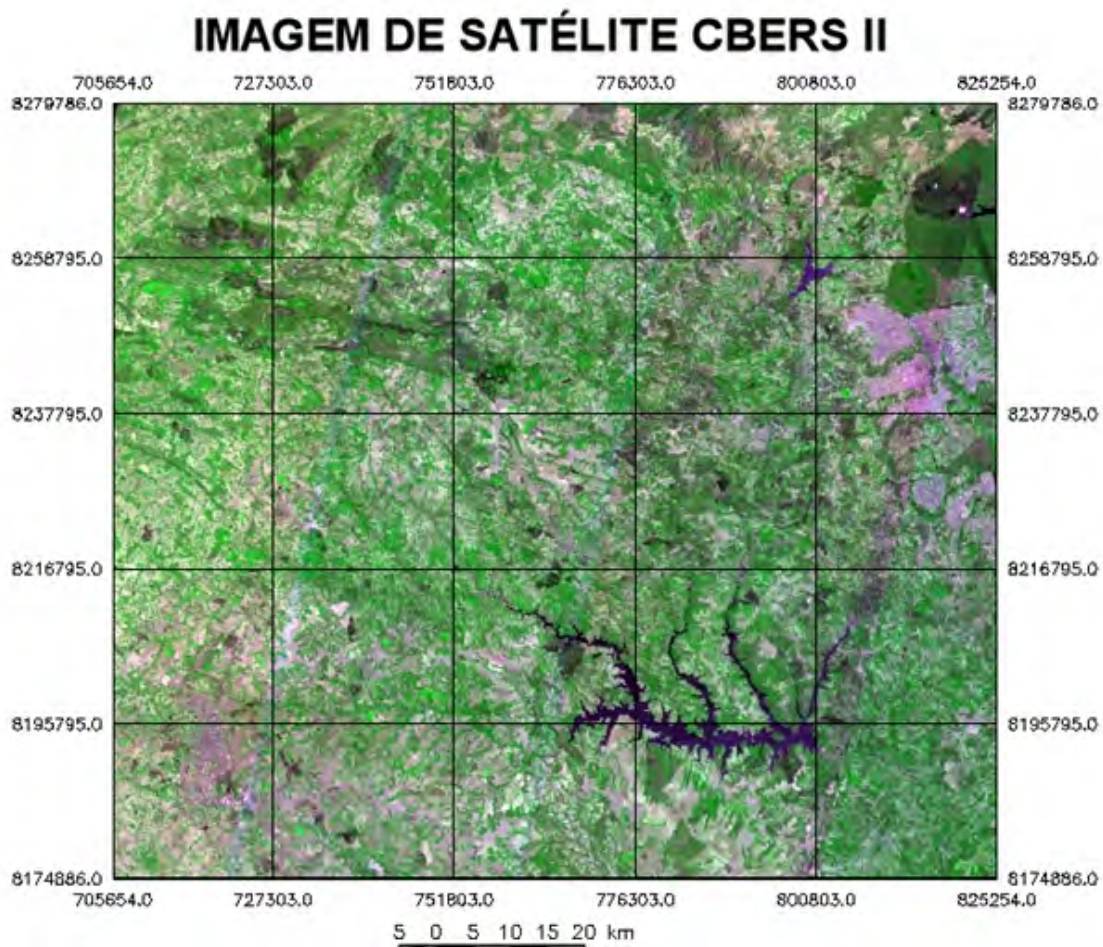


**Figura 3.2** – Base topográfica do SRTM para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV

A imagem empregada na pesquisa foi à imagem digital do satélite CBERS II. Essa imagem contém todo o entorno do reservatório de Corumbá IV, nas proximidades da cidade de Luziânia - GO. A imagem possui resolução de 20 metros e 3 bandas espectrais com composição coloridas 1(R), 2 (G) e 3 (B).

Com o projeto criado no Spring 4.3.3, na escala 1:250.000, e de posse do mapa base, realizou-se o georreferenciamento da imagem Cbers II. Empregou-se o mapa base com a rede de drenagem (rios, córregos e lagos) e estradas (entroncamento de estradas), convertendo a imagem do formato TIFF (*Tagged Image File Format*) para o formato GRIB (*Gridded Binary*) (formato utilizado pelo Spring 4.3.3). Tal operação requereu a utilização do módulo Impima 4.3.3, pertencente ao programa computacional Spring 4.3.3.

A imagem Cbers II proporciona uma visão geral dos componentes da paisagem, tais como relevo e vegetação (Figura 3.3).



**Figura 3.3** – Imagem do satélite Cbers II para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV

### **3.3.4. CARTA HIPSOMÉTRICA**

Esta carta foi gerada a partir da grade do modelo numérico de terreno (MNT), onde se efetuou o fatiamento da grade do SRTM, onde foram estabelecidos os intervalos das classes hipsométricas de 100 em 100 metros ficando assim definidos: 700 a 800, 800 a 900, 900 a 1000, 1000 a 1100, 1100 a 1200 e 1200 a 1300.

### **3.3.5. CARTA DE DECLIVIDADE**

Assim como a carta hipsométrica esta carta gerou-se a partir do (MNT) com auxílio do programa Spring 4.3.3. Inicialmente gerou-se uma grade de declividade através do menu MNT. Em seguida efetuou-se o fatiamento da mesma para obter um mapa temático que representasse os intervalos: 0 a 2%, 2 a 5%, 5 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30%, 30 a 45% e >45%, ambos correspondentes as inclinações do terreno.

### **3.3.6. MAPAS PEDOLÓGICO, GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO**

Os mapas pedológicos, geológico e geomorfológico foram elaborados a partir dos mapas temáticos (CPRM, 2003) em escala 1:250.000. Inicialmente converteu o formato PDF (*Portable Document Format*) no qual se encontrava os mapas temáticos para imagem do formato TIFF (*Tagged Image File Format*), pois o programa computacional Spring 4.3.3 não consegue reconhecê-lo. Em seguida esta imagem foi convertida para o formato GRIB. Para isso foi necessário a utilização do modulo Impima 4.3.3, pertencente ao programa computacional Spring 4.3.3.

Posteriormente, a imagem foi importada para um banco de dados já existente no programa computacional Spring 4.3.3, onde para isso foi necessário converter o sistema de coordenadas da projeção LAMBERT no qual os mapas se encontravam para UTM. Por fim, a imagem foi georreferenciada, onde foi necessário obter 31 pontos de controle distribuídos nas margens dos reservatórios e em outras áreas. Este georreferenciamento foi de suma importância, pois eliminou distorções existentes nas imagens, causadas no processo de formação da imagem.

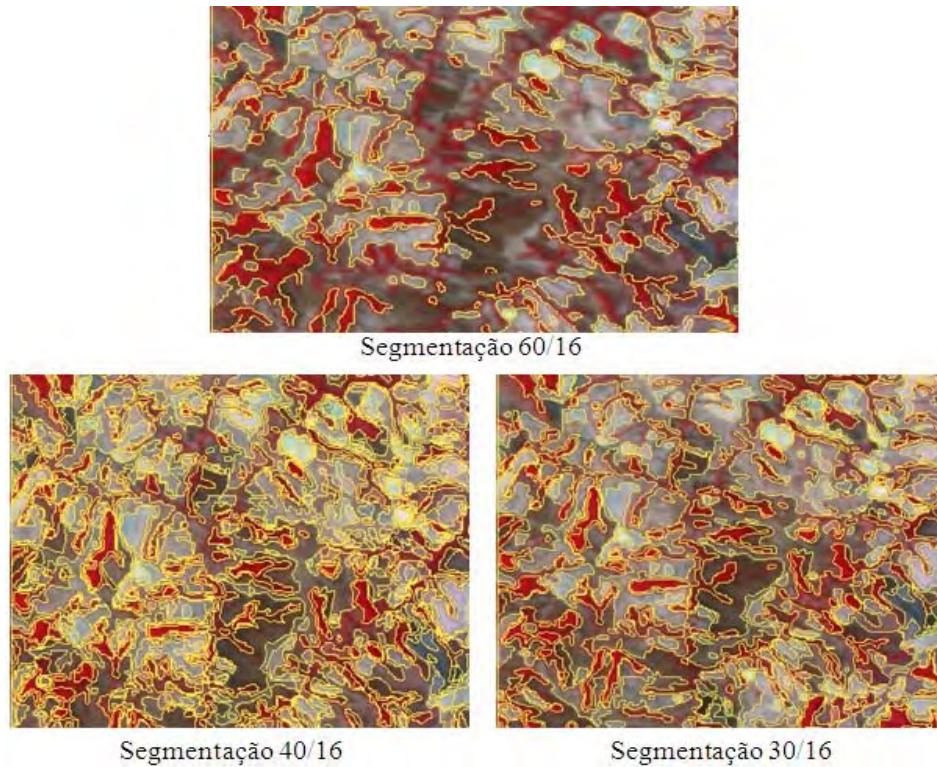
Para classificar a imagem utilizou o método de treinamento, que consiste em fazer uma aquisição por região, ou seja, um reconhecimento de uma área pré-determinada. Por fim atribuiu às amostras pré-reconhecidas os nomes das classes já existentes no mapa da CPRM.

### **3.3.7. MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO**

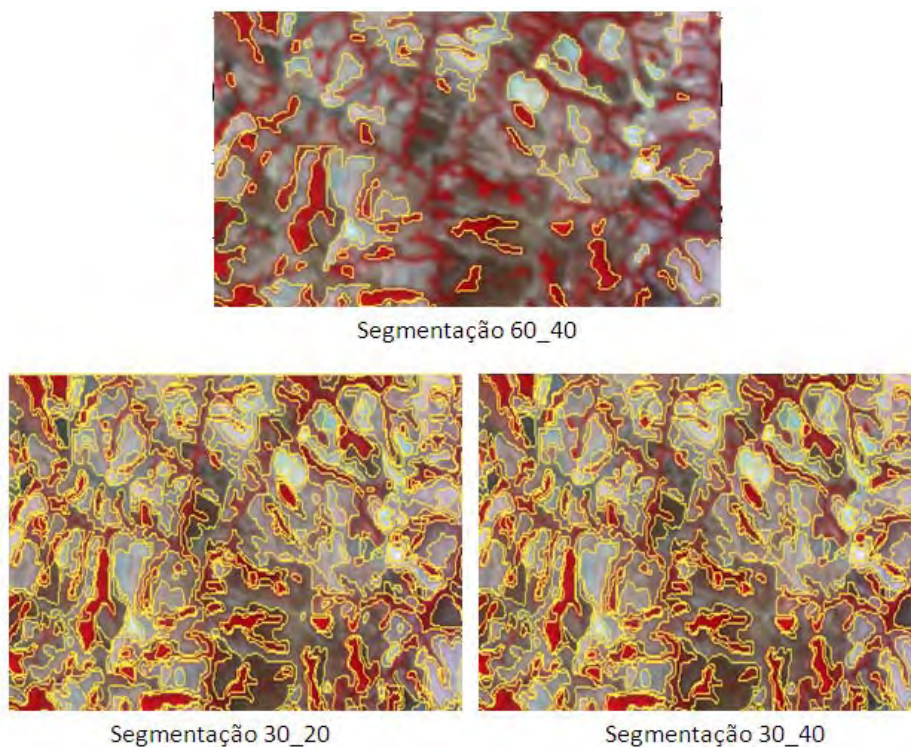
O mapa de uso e cobertura de solo foi elaborado com base nas informações extraídas da imagem do satélite Cbers II de 2007 e em três visitas de campo ocorridas nos dias 03, 04 e 05 de fevereiro de 2009. Para segmentar e classificar a imagem Cbers foi utilizado o programa computacional Spring 4.3.3. Esta segmentação consiste basicamente em um processo de crescimento de regiões, para o qual se empregaram as componentes principais das três bandas (resolução espacial de 20 metros), cujos parâmetros foram: similaridade igual a 30 e área (*pixels*) igual a 16 (Figura 3.4). Vale ressaltar que antes da segmentação e da classificação utilizou-se técnicas de realce de imagem (índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI) cujo uso se justifica devido sua contribuição na discriminação de unidades de vegetação, pois esta técnica realça a vegetação nas imagens.



A escolha da similaridade e da área (*pixels*) anteriormente citada se deu a partir do melhor resultado obtido de seis tentativas de segmentação (Figuras 3.4 e 3.5), onde se utilizou para classificar a imagem o método de regiões.



**Figura 3.4** – Imagens segmentadas com similaridades de 30, 40 e 60 e área (*pixels*) de 16



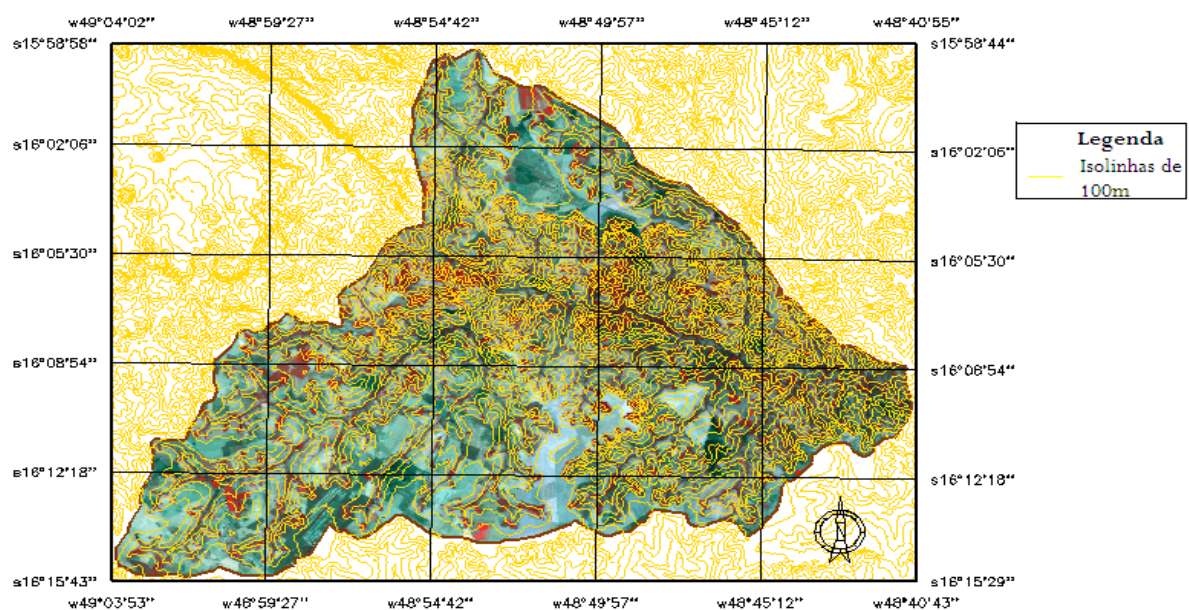
**Figura 3.5** - Imagens segmentadas para diferentes áreas de *pixels*

A principal finalidade desta carta foi à análise das relações de uso e cobertura do solo com os processos erosivos, no sentido de obter o fator CP (cobertura e prática conservacionistas) onde foram descritas as seguintes classes: mata galeria, campo sujo, campo limpo, corpos d'água, solo exposto, agricultura, pastagem, silvicultura, cerrado e área urbana, os quais foram utilizados na presente pesquisa na elaboração da carta de erosão laminar potencial.

### 3.4. IDENTIFICAÇÃO DAS DRENAGENS COM BASE NA TOPOGRAFIA E EM IMAGENS DE SATÉLITE

#### 3.4.1. DELIMITAÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

Para estudar as sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do Reservatório Corumbá IV foi necessário inicialmente delimitá-la considerando a topografia do SRTM obtida na página da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), cujo material foi disponibilizado por Miranda (2005). Para isso foi utilizando o algoritmo do menu de “processos hidrológicos” denominado de “geração de grade” para gerar uma grade de fluxo acumulado. A grade de fluxo acumulado traz um valor em cada célula da grade que representa o número de células cujo fluxo converge para ela. Com base nessa grade, buscando identificar o valor numérico correspondente a 1.000 (um), nas curvas de nível e algumas imagens auxiliares, como por exemplo, a imagem de orientação das vertentes (grade de exposição) foi possível delimitar o divisor d'água. A Figura 3.6 mostra a sub-bacia do rio Capivari formada a partir dessa delimitação.



**Figura 3.6** – Sub-bacia delimitada a partir da grade de fluxo acumulado

### 3.4.2. OBTENÇÃO DAS DRENAGENS

Para obter as drenagens a partir do MNT da topografia foi utilizando o algoritmo do menu de “processos hidrológicos” denominado de “rede de drenagem” (Figura 3.7) aplicado a grade de fluxo acumulado. Com base nessa grade foi adotado um valor limiar aleatório a partir do qual o algoritmo identifica a rede de drenagem. Inicialmente foi adotado o valor 10, isto é para valores da grade de fluxo acumulado maiores que 10 define-se a rede de drenagem. Com base nessa primeira orientação de como resultaria a rede de drenagem entendeu-se ser mais prático fatiar essa grade em classes e gerar uma carta temática com as seguintes classes de valores de fluxo acumulado: 1-5 (divisor), 5-10, 10-50, 50-100, 100-500, 500-1000, 1000-5000, 5000-10000 e 10000-100000; obtendo então uma rede de drenagem, na forma matricial, bastante satisfatória e com classes temáticas indicativas da área de fluxo acumulado. A Figura 3.8 mostra a rede de drenagem assim obtida onde as diferentes cores da drenagem representam os diferentes valores de fluxo acumulado.

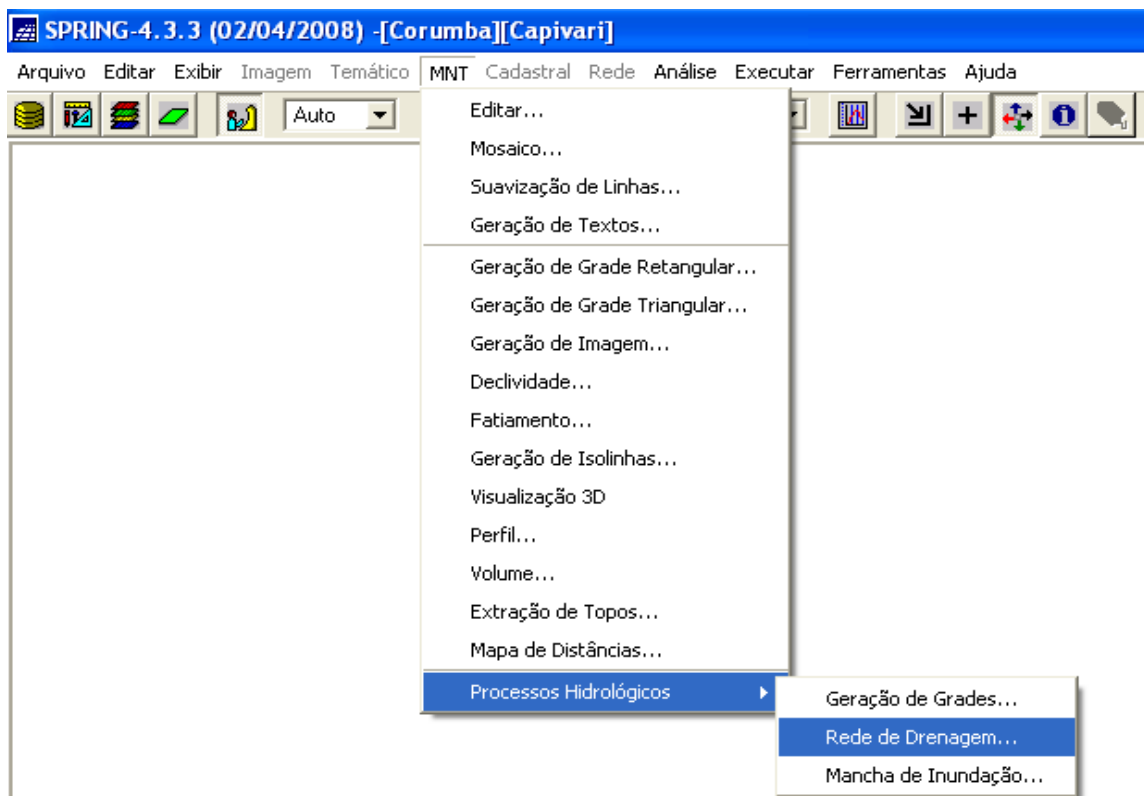
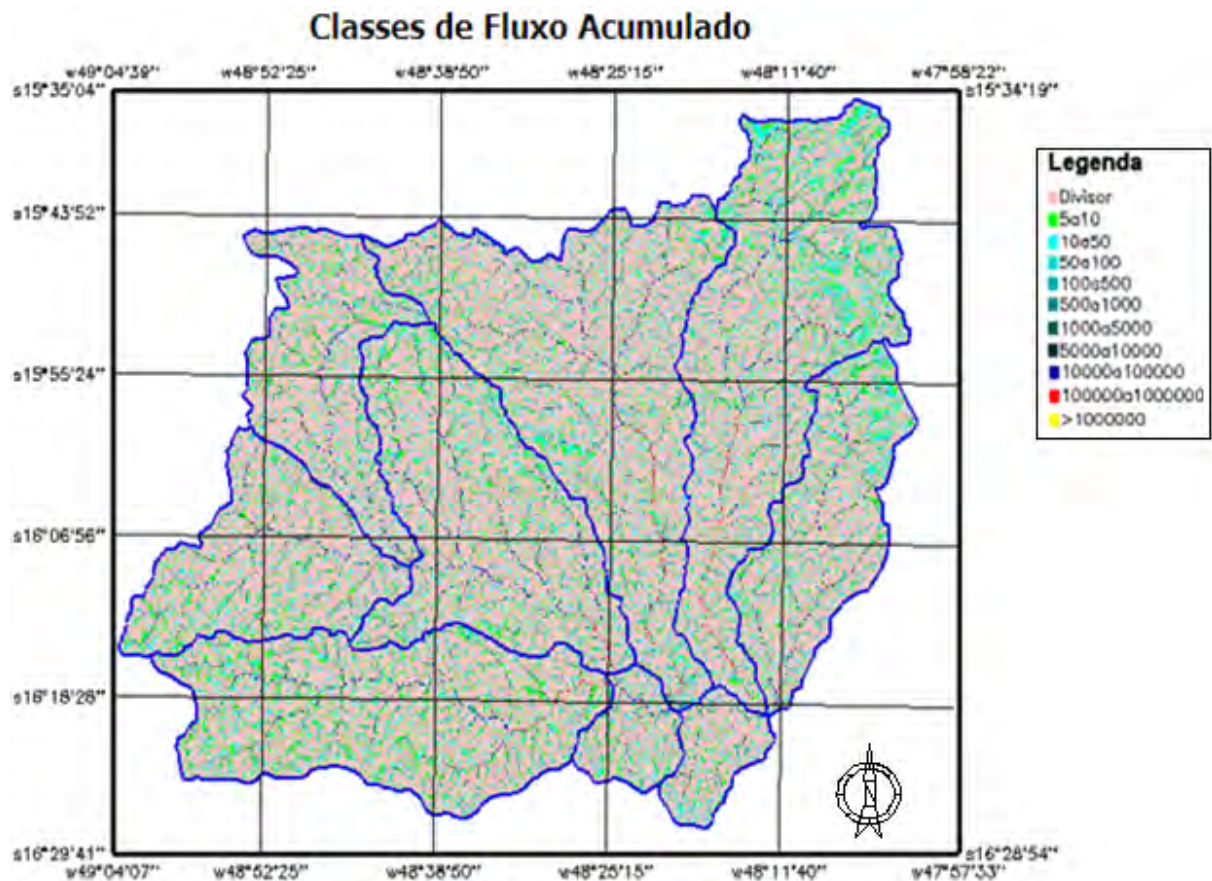


Figura 3.7 - Etapa seguida para gerar a rede de drenagem com limite de saída estabelecido



**Figura 3.8** - Drenagens obtidas por classificação da rede de fluxo acumulado

### 3.4.3. DIGITALIZAÇÃO DAS DRENAGENS

Após obter as drenagens (Figura 3.8) por fluxo acumulado, no formato matricial, foi criado um modelo de dados temático para se digitalizar estas drenagens no formato vetorial. Com esse modelo foi possível a partir da edição topológica fazer a digitalização seguindo um critério que permitiu em um segundo momento ordená-las e classificá-las utilizando a metodologia proposta por Horton (1945), resultando na rede de drenagem apresentada na Figura 3.9.



**Figura 3.9** – Drenagens digitalizadas, ordenadas e classificadas.

#### **3.4.4. AJUSTE DAS DRENAGENS COM AS IMAGENS CBERS**

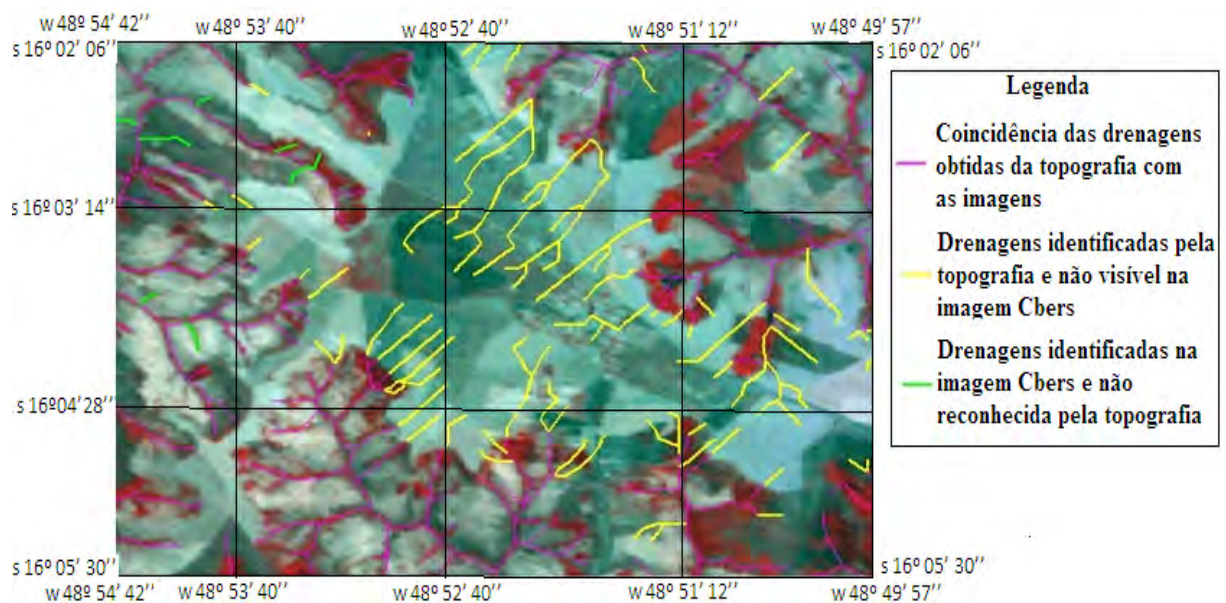
Com toda a drenagem digitalizada foi possível fazer o ajuste geométrico da imagem Cbers II (georreferenciamento) utilizando a drenagem como referência.

Com a imagem georreferenciada sobreposta pela drenagem obtida da topografia, foi feita uma avaliação dos resultados obtidos buscando identificar se essas drenagens eram perceptíveis nas imagens. Dessa avaliação se observou três situações distintas, a primeira representada pela coincidência das drenagens obtidas da topografia com as das imagens. Isso ocorreu para a grande maioria das drenagens. A segunda onde foi identificada uma drenagem pela topografia, entretanto não visível na imagem. A terceira situação onde se identificou uma drenagem nas imagens, que não havia sido identificada pela topografia. A Figura 3.10 exemplifica as três situações observadas.

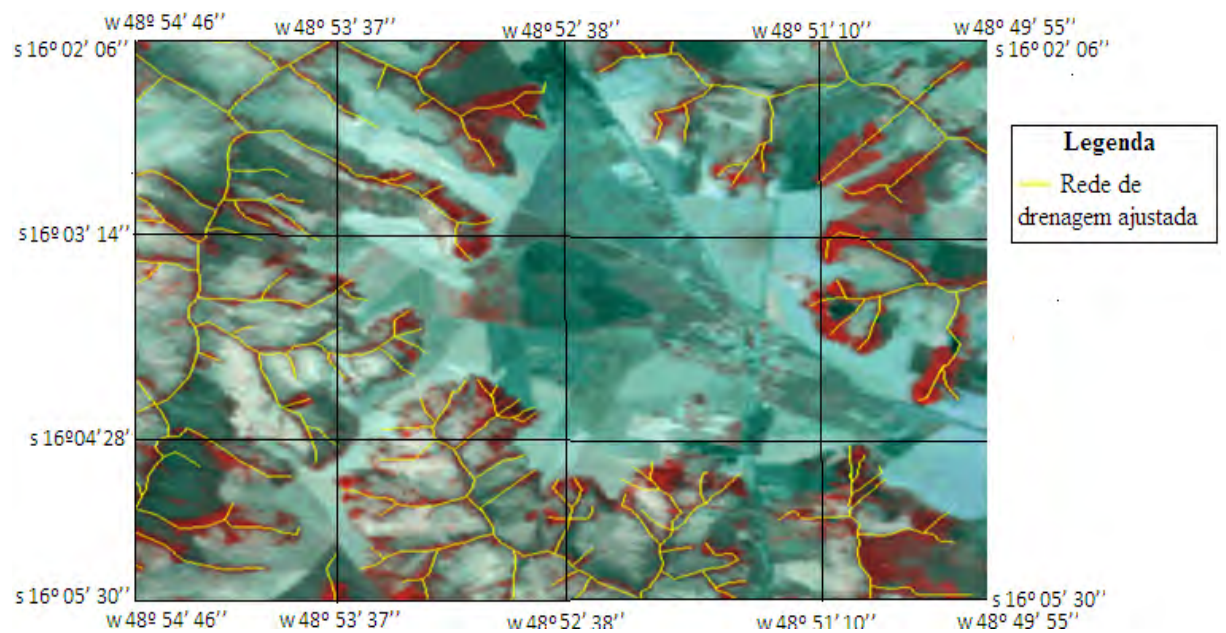
Tal situação levou a necessidade de ajustar a rede de drenagem privilegiando a observação das imagens, mas levando em conta o posicionamento dado pela topografia. Assim a

drenagem foi toda ajustada como pode ser observado no detalhe na Figura 3.11 e o resultado final desse ajuste para toda a área na Figura 3.12.

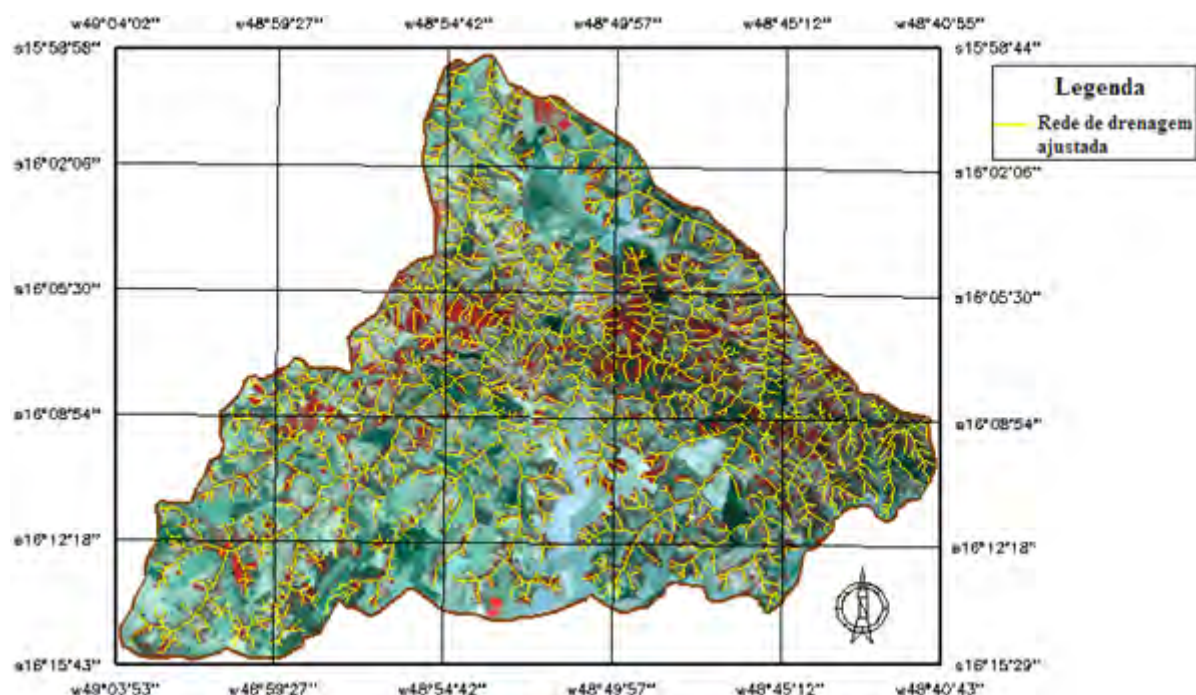
Vale ressaltar que as situações descritas acima ocorreram em todas as sub-bacias hidrográficas estudadas, sendo a sub-bacia Capivari escolhida para tal descrição.



**Figura 3.10** – Drenagens representando as três situações acima descritas



**Figura 3.11** – Drenagens após o ajuste com a imagem Cbers



**Figura 3.12** – Resultado final com as drenagens ajustadas para toda sub-bacia do rio Capivari

### 3.5. ETAPAS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO

#### 3.5.1. TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo teve como principal objetivo fazer o reconhecimento da área estudada. Durante esse trabalho foi possível identificar os vários tipos de uso e cobertura do solo, de práticas conservacionistas e coletar amostras de solos para realização dos ensaios de textura e análise química. A partir dessa identificação se pode elaborar o Mapa de Uso e Cobertura do Solo, e avaliar o fator de erodibilidade adotado para os diferentes tipos de solo.

Este trabalho foi realizado em três visitas: o primeiro dia (03 de fevereiro) foi percorrido 290km entre as sub-bacias do Descoberto, Areias e Ouro - Corumbá, sendo marcado 41 pontos de observação do uso e cobertura do solo. Também foram coletadas sete amostras de solo. No segundo dia (04 de fevereiro) foi percorrido 300km, onde se pode verificar os tipos de relevos e vegetação presentes na sub-bacia Pirapitinga – Sarandi. Durante este trajeto marcou-se 30 pontos dos quais sete foram coletadas amostras de solo. Por fim no terceiro dia (05 de fevereiro) percorreu-se 310km entre as sub-bacias Descoberto, Areias, Alto – Corumbá e Ouro – Corumbá, sendo marcado 62 pontos no decorrer do trajeto. Desses, em oito foram coletadas amostras.

Portanto, o trabalho de campo implicou em um total percorrido de 900km e 22 amostras de solo coletadas. Vale ressaltar que para marcação dos pontos foi utilizado um GPSmap76CS marca GARMIN, para percorrer o trajeto utilizou-se uma caminhonete e em alguns pontos o trajeto foi feito via terrestre e para armazenamento das amostras usou-se sacolas plásticas com capacidade para 1kg. A Figura 3.13 mostra a coleta da amostra P71 (solo exposto) sendo feita na área pertencente à sub-bacia denominada de Pirapitinga-Sarandi.



**Figura 3.13** – Amostra P71 referente a solo exposto

### **3.5.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

As amostras de solo coletadas nos três dias referente às etapas de campo foram analisadas pelo Laboratório Soloquímica. Os ensaios realizados com as amostras foram os seguintes:

- Ensaio de granulometria; e
- Análise química;

A parte de análise química consistiu em obter a matéria orgânica do solo, o pH em água, pH em KCl e CTC (Capacidade de troca catiônica).

#### **3.5.2.1. ENSAIO DE MATERIA ORGÂNICA**

O método utilizado para obter os resultados deste ensaio foi Walkley-Black cujo princípio consiste na oxidação da matéria orgânica do solo por solução de dicromato de potássio em presença de ácido sulfúrico e titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal.



### **3.5.2.2. ANALISE GRANULOMÉTRICA**

O princípio do método da pipeta se baseou na velocidade de queda das partículas que compõem o solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do solo com água, após a adição de um dispersante químico (NaOH). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa é pesada. As frações areia grossa e fina são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento para 1000 g/kg, é obtido por diferença das outras frações em relação à amostra inicial.

### **3.6. VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA OBTER AS PERDAS DE SOLO PELA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO**

Para estimativa da perda de solo por erosão laminar foi adotada a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) por ser o modelo mais difundido e utilizado atualmente. A USLE é definida conforme Equação 2.1.

Os valores de cada parâmetro da USLE foram calculados a partir dos mapas temáticos elaborados em um Sistema de Informações Geográficas - SIG. O SIG utilizado foi o programa computacional Spring 4.3.3.

#### **3.6.1. EROSIVIDADE DA CHUVA – FATOR R**

Para obter a grade numérica com os devidos valores de erosividade da chuva foram selecionadas onze estações pluviométricas sendo que duas delas (Anápolis e Ponte Anápolis - Brasília) se encontram dentro das bacias e nove em seu entorno no qual serviram de apoio na interpolação. Para determinação desse fator foi calculada a média aritmética simples para as estações da ANA. Calculadas as médias foi calculado o valor de R para cada estação pluviométrica por meio da equação (2.3), com EI30 calculado pela equação (2.2). Obtidos estes valores, foi criado um arquivo ASCII (Figura 3.14) com as coordenadas de cada estação pluviométrica e os valores de R correspondentes. Este arquivo foi importado para o Banco de dados e projeto definidos anteriormente. Em seguida foi gerado uma grade triangular, a partir da qual foi gerada uma grade regular. Para visualização da distribuição do dado procedeu-se o fatiamento da grade obtendo-se um plano de informação temático do mesmo (erosividade).

```

SAMPLE
INFO
//Amostras de Modelagem Numérica
//Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING
//Projeto: Erosividade - Plano de informação: Amostras_Erosiv.
//Categoria: Erosividade - Modelo: DIGITALMODEL
PROJECTIONUTM/SAD69, HEMIS-1, ORIG.LAT n0 0 0.00,
ORIG.LONG o51 0 0.00, LAT1 n0 0 0.00, LAT2 n0 0 0.00
DATUM SAD69, Prd 6378160.000000, Pflt 0.003353, Pdx
0.000000, Pdy 0.000000, Pdz 0.000000
OFFSETX 500000.000000 OFFSETY 10000000.000000
SCALEFACTOR 0.999600
BOX X1 o 50 0 0.00, Y1 s 20 0 0.00, X2 o 45 0 0.00, Y2 s
15 0 0.00
UNITS Geográficas GMS
SCALE 250000.000000
INFO_END
POINT3D
o 48 34 38 s 15 33 11 z 8375.559570
o 49 9 44 s 15 43 11 z 9066.889648
o 47 56 12 s 16 9 21 z 7992.919922
o 48 57 00 s 15 51 00 z 8920.339844
o 47 57 00 s 16 15 00 z 7588.529785
o 48 30 30 s 16 05 00 z 8223.610352
o 48 31 29 s 16 44 47 z 9663.320313
o 48 9 34 s 15 3 27 z 7561.53
o 49 27 8 s 16 54 43 z 8531.47
o 48 16 41 s 15 10 9 z 7598.9
o 48 58 00 s 16 20 00 z 7244.18
END

```

**Figura 3.14** - Arquivo ASCII criado a partir do SPRING 4.3.3.

### 3.6.2. DECLIVIDADE E COMPRIMENTO DE RAMPA – FATOR LS

A partir da grade fornecida pelo modelo numérico de terreno (MNT) acessou-se o menu “MNT” denominado de “declividade” onde a partir daí pode-se gerar uma grade correspondente em porcentagem.

O comprimento de rampa foi obtido a partir da equação (2.5) que representa o valor da extensão média do escoamento sobre os terrenos para cada uma das sub-bacias. Antes de utilizar a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal, gerou-se uma grade de distâncias com resolução de 50 X 50 dos planos de informações referentes à declividade

(s) e comprimento de rampa (l). Posteriormente integrou-se a declividade com o comprimento de rampa utilizando a linguagem Legal (Figura 3.15).

```
{
Numerico S ("Declividade");
Numerico LS ("Fator_LS_MNT");

S = Recuperar (Nome = "DeclivSRTM50");
LS=Novo (Nome="LS_Foster", ResX=50, ResY=50,
Escala=250000, Min=0, Max=20);

LS= 0.1395*(1.36+0.97*(S/100)+0.1385*(S/100)^2);
}
```

**Figura 3.15** – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - Legal para obter o fator LS

Vale ressaltar que inicialmente calculou-se a operação matemática ( $\sqrt{l/100}$ ), para em seguida aplicar o restante da equação, pois o valor do comprimento de rampa (l) obtido em cada sub-bacia foi diferente.

### 3.6.3. ERODIBILIDADE DO SOLO – FATOR K

Para obter a erodibilidade do solo inicialmente foram adotados valores com base na Tabela 2.2. A Tabela 3.4 mostra os valores de K estimados em função do tipo de solos (pedologia).

**Tabela 3.4** – Valores de K ( $10^3$  t.h/(MJ.mm)) adotados para diferentes tipos de solos

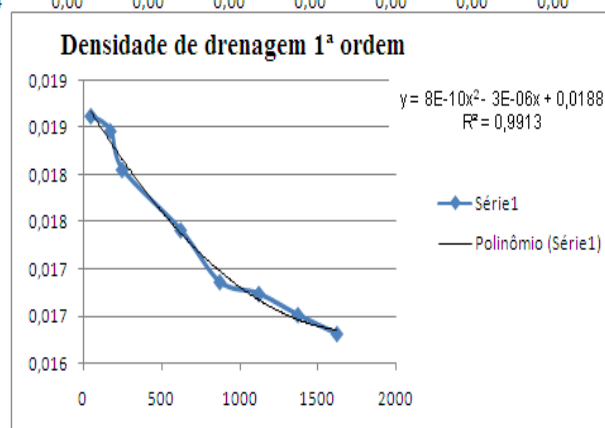
Classes de solos (CPRM, 2003)	Fator K estimado com base na Tabela 2.2
LAd	13,5
LVd5	14,0
LVd1	15,0
LVd3	16,0
LVAd6	16,5
LVAd 1	17,2
LVAd10	17,3
LVAd 2	17,4
LVAd12	17,5
LVAd 7	17,6
LVAd14	18,0
LVAd8	18,6
LVAd15	19,0
CXbd27	20,0
CXbd22	21,0
CXbd6	22,0
CXbd4	23,0
CXbd8	23,1
CXbd2	23,5
CXbd9	23,6
CXbd 16	24,0
CXbd17	24,5
CXbd 13	25,0
CXbd12	25,4
CXbd18	25,9
CXbd23	26,0
CXbd21	26,2
CXbd26	26,4
CXbd7	26,5

Após adotar esses valores fez-se duas tabulação cruzada entre os atributos: densidade de drenagem 1ª ordem e declividade, versus pedologia, ambas temáticas com resolução 50 X 50 e escala 1:250.000. Em seguida, calculou-se o percentual (Planilha do Microsoft Excel) correspondente de cada classe conforme o atributo utilizado no cruzamento com a pedologia.

Posteriormente, com os percentuais adquiridos de cada intervalo de classe referente ao cruzamento (tabulação cruzada) multiplicou-se esses percentuais pelo referido valor de erodibilidade (k) adotado em função do tipo de solo, cujo objetivo foi obter novos valores de erodibilidade que representasse a relação existente entre o K em função do solo e o percentual referente aos atributos.

Por fim, gerou-se um gráfico de dispersão (Figura 3.16) com esses novos valores, para cada sub-bacia, obtendo então valores de K médios conforme o tipo de atributo utilizado (densidade de drenagem de 1ª. Ordem ou declividade), cujo objetivo foi obter valores que mostrasse a relação existente entre os atributos cruzados com a pedologia expressa em termos de sua erodibilidade.

	LVd3	LVA6	CXbd23	LVA15	LAd	LVA8	LVd5	LVA12	CXbd16	CXbd7	K	Media
0 a 100	38,41	8,03	12,56	8,66	1,58	9,70	0,12	14,88	0,00	6,06	0,019	50
100 a 250	38,52	9,24	10,60	9,40	1,36	9,39	0,20	15,14	0,01	6,14	0,018	175
250 a 500	40,28	11,37	7,22	10,96	0,85	9,16	0,28	15,00	0,00	4,87	0,018	250
500 a 750	50,12	14,14	4,96	10,60	0,14	7,05	0,64	10,41	0,00	1,95	0,017	625
750 a 1000	57,46	27,23	3,59	3,68	0,00	1,65	1,84	2,52	0,00	2,03	0,017	875
1000 a 1250	36,28	56,47	0,00	2,52	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	3,79	0,017	1125
1250 a 1500	28,65	69,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56	0,017	1375
1500 a 1750	37,66	62,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,016	1625



**Figura 3.16** – Gráfico resultante dos percentuais, valores médios e de K iniciais do atributo densidade de drenagem 1ª ordem da sub-bacia Antas.

A partir deste gráfico com o resultado obtido (equações polinomiais) para cada sub-bacia (Tabela 3.5) foi escrito um programa em Legal para obter o valor de K em função da

densidade de drenagem de 1ª. Ordem (K\_1ªordem), e em função da declividade (Kdecliv.) (Figura 3.17 e 3.18). Esses K (1ª ordem e declividade) obtidos foram utilizados no Legal por meio de uma ponderação, sendo atribuída a média deles um peso correspondente a 0.35 cada e aos tipos de solos um peso 0.30, obtendo assim uma grade com os devidos valores de K a serem utilizados na equação de perdas de solo.

**Tabela 3.5** - Equações polinomiais obtidas para cada sub-bacia estudada

Sub-bacias	Equação	aX <sup>3</sup>	bX <sup>2</sup>	cX	d
Descoberto	Declividade	4,0E-07	-3,0E-05	7,0E-04	1,7E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	-1,0E-12	6,0E-09	-7,0E-06	2,1E-02
Areias	Declividade	6,0E-07	-4,0E-05	9,0E-04	1,8E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	2,0E-09	-2,0E-05	2,1E-02
Pirapitinga - Sarandi	Declividade	2,0E-06	-9,0E-05	1,5E-03	1,5E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	2,0E-09	-9,0E-06	2,3E-02
Alto - Corumbá	Declividade	0,00	-5,0E-06	3,0E-03	1,8E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	-1,0E-11	4,0E-08	-3,0E-05	2,3E-02
Capivari	Declividade	0,00	-7,0E-06	4,0E-04	1,7E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	8,0E-10	-5,0E-06	2,0E-02
Areias - Antas	Declividade	0,00	-3,0E-06	2,0E-04	2,0E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	3,0E-09	-1,0E-05	2,0E-02
Alagado	Declividade	0,00	-1,0E-05	5,0E-04	1,8E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	2,0E-09	-7,0E-06	2,3E-02
Antas	Declividade	0,00	0,0E+00	2,0E-04	1,7E-02
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	8,0E-10	-3,0E-06	1,8E-02
Ouro - Corumbá	Declividade	0,00	-6,0E-06	3,0E-04	1,9E-03
	Densidade de drenagem de 1ª Ordem	0,00	0,00	-5,0E-06	2,3E-02

```
{
Numerico S ("Declividade");
Numerico K ("Fator_K_MNT");

S = Recuperar (Nome = "DeclivSRTM50");
K = Novo (Nome="Fator_Kdecliv", ResX=50, ResY=50,
Escala=250000, Min=0, Max=25);

K= (0.2)*S+17.5;
}
```

**Figura 3.17** – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do Kdecliv da sub-bacia Antas.

```
{
Numerico Dd ("SRTM");
Numerico K ("Fator_K_MNT");

Dd = Recuperar (Nome = "Dist_dren_1ª");
K = Novo (Nome="Fator_K_1ªordem", ResX=50, ResY=50,
Escala=250000, Min=0, Max=25);

K= (0.0000008)*(Dd^2)-(0.003*Dd)+18.8;
}
```

**Figura 3.18** – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do K\_1ªordem da sub-bacia Antas

Vale ressaltar que os valores de K obtidos por meio da ponderação foram diferentes, uma vez que cada sub-bacia possui sua classe de solo e diferentes valores de Kdecliv e K\_1ª ordem. A Figura 3.19 mostra o programa feito para obtenção do fator K.

```
{
Numerico var1 ("Fator_K_MNT");
Temático var2 ("Solo_Temático");
Numerico var5 ("Fator_K_MNT");

// Definição do dado de saída
Numerico var6 ("Fator_K_MNT");

// Recuperação dos dados de entrada
var1 = Recupere (Nome="Fator_K_1ª ordem");
var5 = Recupere (Nome="Fator_Kdecliv");

Tabela tab2 (Ponderacao);
tab2 = Novo (CategoriaIni = "Solo_Temático",
            "LVAd10" : 17.3,
            "LVd5" : 14,
            "LVd1" : 15,
            "CXbd4" : 23,
            "CXbd27" : 20,
            "CXbd6" : 22,
            "CXbd13" : 25);

var2 = Recupere (Nome="Pedologia_B");
var6= Novo (Nome="Fator_K_Decli_1aOrdemPedo",
ResX=50, ResY=50, Escala=250000, Min=0, Max=25);
var6= 0.3*(Pondere(var2, tab2))+(var1+var5)*0.35;
}
```

**Figura 3.19** – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção do K.

### 3.6.4. FATOR CP - MANEJO DOS SOLOS E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Os fatores de uso-manejo e práticas conservacionistas são abordados conjuntamente neste trabalho. Esses correspondem aos fatores C e P da equação universal de perdas de solo de W. H. Wischmeier e D. D. Smith (1978), referenciando a ação antrópica no condicionamento da erosão.

Os valores do fator uso e manejo (C) foram estimados para as principais categorias de uso e cobertura do solo existente na área em estudo, tendo como base os autores citados na Tabela 2.3. Para o fator prática conservacionista, adotou-se  $P = 1$ , que representa a pior situação possível quanto às perdas de solo devido às práticas conservacionistas, pois não foi possível estabelecer valores confiáveis de P para toda a área estudada.

Para obter a grade numérica com os valores de CP a ser utilizada na equação de perdas de solo de W. H. Wischmeier e D. D. Smith (1978) foi feita uma ponderação por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico - Legal (Figura 3.20).

```

{
Tematico var1 ("Mapa_Uso_Solo");
Numerico cp ("Fator_CP");

Tabela tab1 (Ponderacao);
tab1 = Novo (Categorialni = "Mapa_Uso_Solo",
             "Corpos_Dagua" : 0,
             "Mata_Galeria" : 0.00004,
             "Area_Urbana" : 0,
             "Solo_Exposto" : 1.0,
             "Silvicultura" : 0.0001,
             "Campo_Limpo" : 0.005,
             "Campo_Sujo" : 0.008,
             "Cerrado" : 0.0007,
             "Pastagem" : 0.07,
             "Agricultura" : 0.12);
var1 = Recuperare (Nome="Classes");

cp= Novo (Nome="CP", ResX=50, ResY=50,
          Escala=250000, Min=0, Max=1);

cp= Pondere (var1, tab1);
}

```

**Figura 3.20** - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal utilizada para obtenção do CP

### 3.6.5. PERDAS DE SOLO POR EROSIÃO LAMINAR

Para obter as perdas de solo das sub-bacias estudadas foram utilizadas todas as variáveis da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE), vistas anteriormente, onde por meio do programa computacional Spring 4.3.3 fez-se uso da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal. Essa ferramenta permitiu multiplicar todas as variáveis encontradas (Figura 3.21), gerando então uma grade numérica.

Com essa grade pronta foi possível fatiá-la em intervalos: 12,50 a 15,00 ( $10^3$ t/(ha.ano) (perdas muito baixa), 15,00 a 17,50 (perdas baixa), 17,50 a 20,00 (perdas moderada), 20,00 a 22,50 (perdas média), 22,50 a 25,00 (perdas alta) e >25,00 (perdas muito altas).

```

{
Numerico K ("Fator_K_MNT");
Numerico R ("Erosividade");
Numerico LS ("Fator_LS_MNT");
Numerico CP ("Fator_CP");
Numerico USLE ("USLE_ANTRÓPICO");

K = Recuperare (Nome =
"Fator_K_Decli_1aOrdemPedo");
R = Recuperare (Nome = "Fator_R");
LS = Recuperare (Nome = "LS_Foster");
CP = Recuperare (Nome = "CP");

USLE = Novo (Nome = "USLE_ANTRÓPICO", ResX=50,
ResY=50, Escala=250000, Min=0, Max=25);

USLE= K*R*LS*CP;
}

```

**Figura 3.21** – Programa feito na Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – Legal para obtenção das perdas de solo

#### 4. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

Esta etapa fundamenta-se na distinção dos principais aspectos do meio físico das bacias estudadas. Ter conhecimento das informações relativas ao meio natural (clima, geomorfologia, geologia, pedologia) e antrópico (uso e cobertura do solo) é de fundamental importância para o entendimento dos processos erosivos locais.

##### 4.1. LOCALIZAÇÃO DETALHADA DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no estado de Goiás, abrangendo os municípios de Alexânia, Abadiânia, Anápolis, Águas Linda de Goiás, Corumbá de Goiás, Cocalzinho de Goiás, Ceilândia, Recanto das Emas e Taguatinga (Figura 4.1) onde se encontra o Reservatório de Corumbá IV. Destes municípios nove tem suas áreas urbanas localizadas nas sub-bacias do rio Corumbá. A cidade de Anápolis localiza-se a sudoeste na sub-bacia Antas, no centro, na sub-bacia Ouro - Corumbá estão às cidades de Abadiânia e Alexânia, Cocalzinho de Goiás e Corumbá de Goiás localizam-se no Alto - Corumbá a noroeste e a nordeste na sub-bacia Descoberto estão as cidades de Samambaia, Ceilândia, Recanto das Emas e Águas Linda. Embora a cidade de Brasília não esteja localizada dentro da área de estudo, ela está à aproximadamente 120km do Reservatório Corumbá IV.



Figura 4.1 - Cidades e acessos a área estudada



Todas essas áreas sofrem a influencia do Reservatório Corumbá IV, pois o empreendimento possui características múltiplas relacionadas à geração de energia elétrica, além de influenciar atividades turísticas. Dentro da área de estudo existem rios (Alagado, Descoberto, Ouro, Capivari, Areias, Antas, Sarandi, Pirapitinga, Corumbá) de grande importância, não só para o abastecimento de comunidades, mas também para contribuição do abastecimento do Reservatório Corumbá IV.

Para ter acesso a área de estudo existe rodovias federais e estaduais, sendo essas pavimentadas ou não. Duas das rodovias que dão acesso a área a partir de Brasília-DF são a BR 040 e a GO 010 que permite chegar a sub-bacias Alagado e Pirapitinga-Sarandi. Tendo como referencia o Reservatório de Corumbá IV a sub-bacia Alagado fica cerca de 4 km do mesmo, onde passa a foz do rio Alagado e o Reservatório cerca de 18 km à esquerda da rodovia estadual GO-010, no sentido Vianópolis/ Luziânia, próximo a ponte existente sobre rio Corumbá.

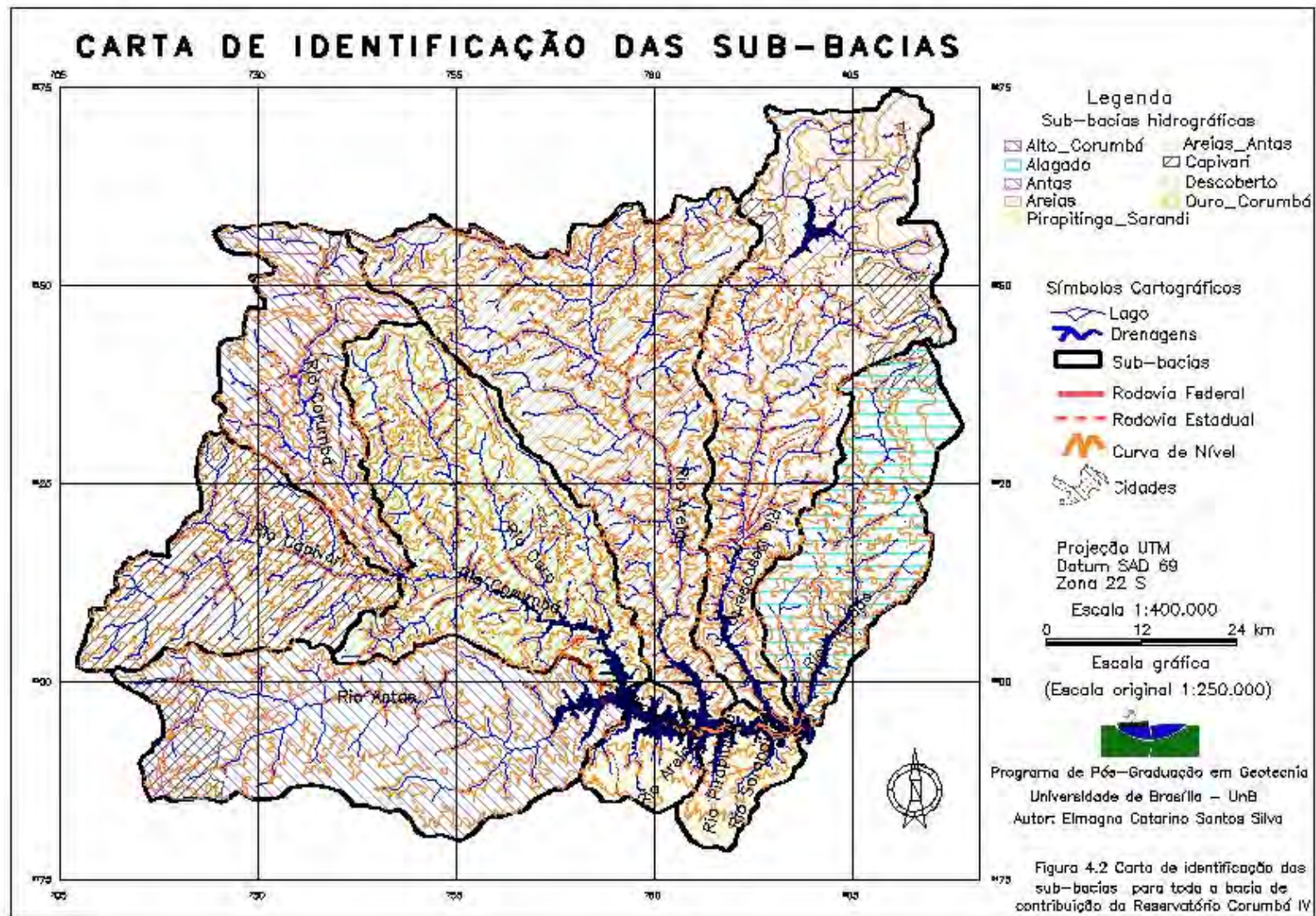
#### 4.2. IDENTIFICAÇÃO DAS SUB-BACIAS

A área de estudo é composta por nove sub-bacias, assim definida: sub-bacia Alagado, Alto - Corumbá, Areias, Areias-Antas, Ouro – Corumbá, Pirapitinga – Sarandi, Descoberto, Antas e Capivari. Estas denominações foram escolhidas conforme a denominação dada os rios principais que as constituem.

A Tabela 4.1 mostra as sub-bacias estudadas e alguns parâmetros morfométricos e a Figura 4.2 mostra a carta de identificação das sub-bacias estudadas.

**Tabela 4.1** – Sub-bacias hidrográficas estudadas.

Sub-bacias	Área (Km <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	Comprimento da rede de drenagem (Km)	Densidade de drenagem (Km/Km <sup>2</sup> )
Alagado	618,00	134,00	894,67	1,46
Alto - Corumbá	590,00	155,00	973,46	1,67
Antas	1098,00	176,00	1450,32	1,32
Areias	1420,00	236,00	2552,08	1,80
Areias - Antas	170,00	58,00	282,24	1,90
Capivari	650,00	130,00	1229,93	1,90
Descoberto	1260,00	235,00	2464,02	1,90
Ouro - Corumbá	1024,00	172,00	1968,3	1,93
Pirapitinga - Sarandi	170,00	61,00	211,55	1,26
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>7000,00</b>	<b>442,00</b>	<b>12026,57</b>	<b>1,72</b>



**Figura 4.2** – Carta de Identificação das sub-bacias para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

### 4.3. MAPA DE DOCUMENTAÇÃO – INFORMAÇÕES ESPACIALIZADAS

Para elaborar o mapa de documentação (Figura 4.3) se utilizou como referência a carta base produzida no Scarta 4.3.3 pertencente ao pacote do programa computacional Spring 4.3.3. Neste documento constam: as principais vias rodoviárias, as cidades de acesso a área, as estações pluviométricas e os pontos de coleta das amostras obtidas em campo.

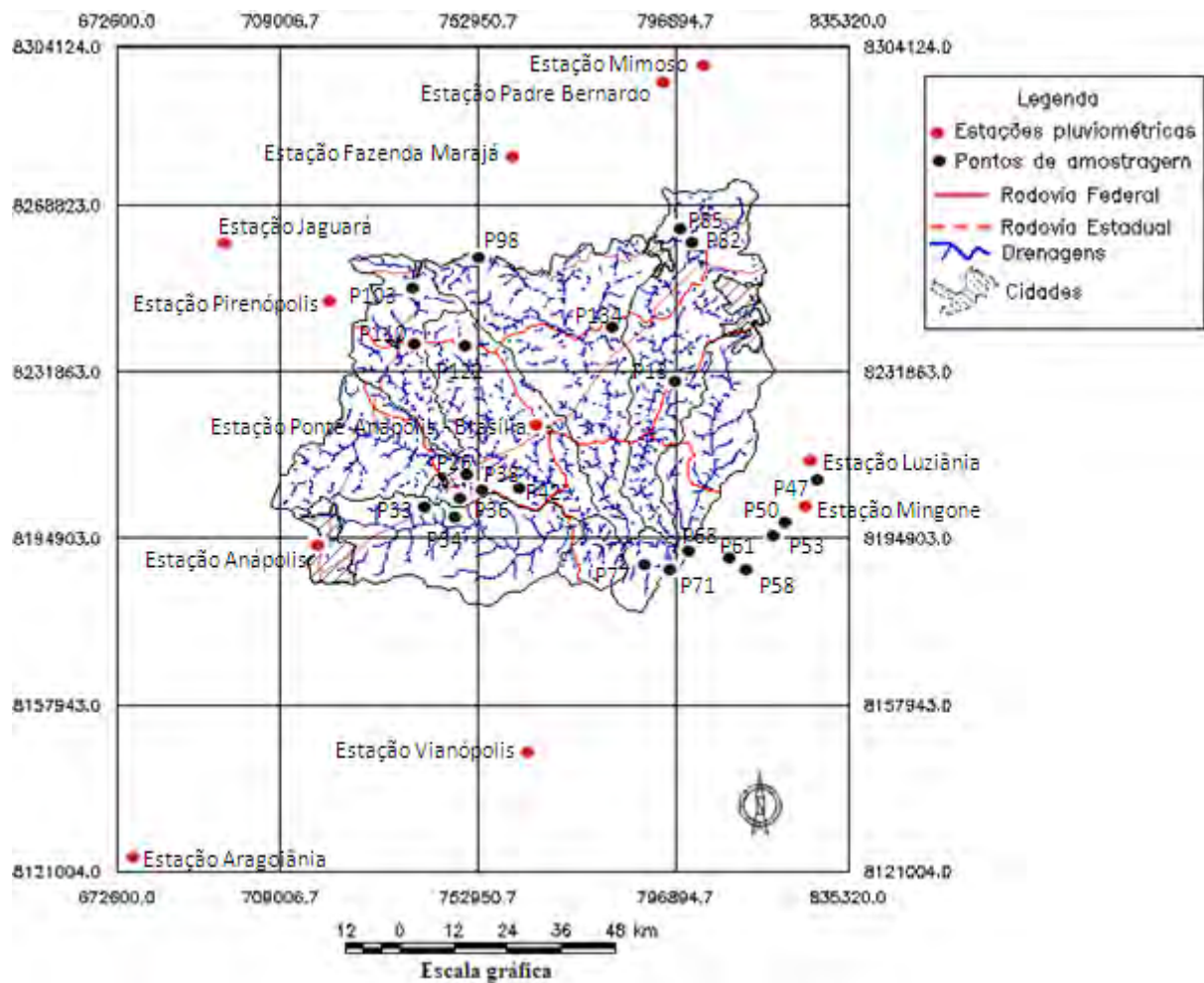


Figura 4.3 – Mapa de documentação da área estudada

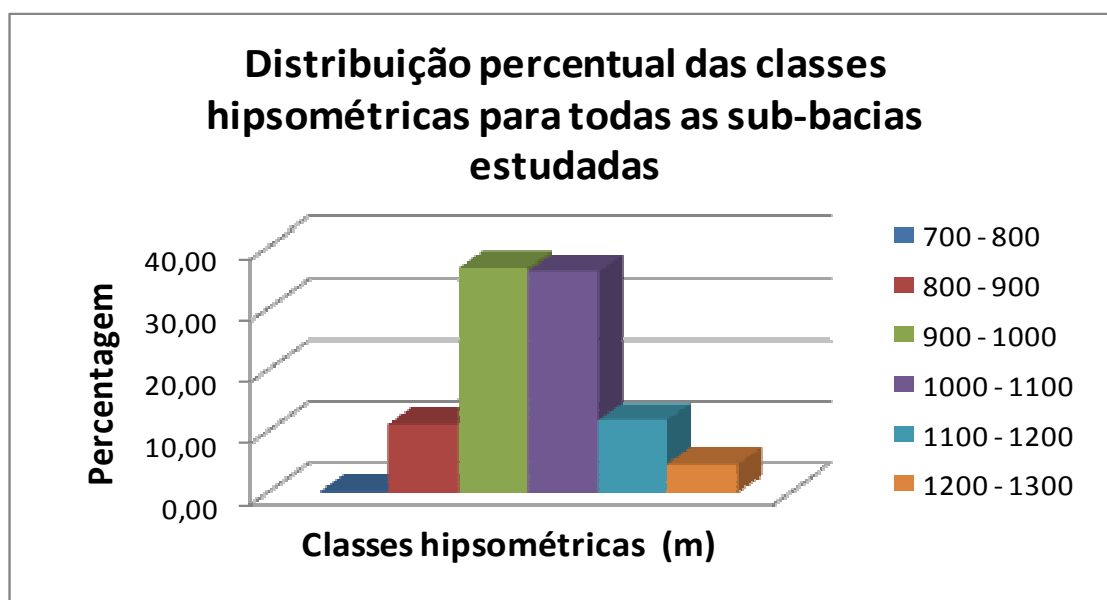
### 4.4. HIPSOMETRIA

Para elaboração da carta hipsométrica definiram-se seis classes temáticas para representar as altitudes locais presentes em cada sub-bacia estudada. A Tabela 4.2 descreve essas classes hipsométricas definidas e a Figura 4.5 mostra a carta hipsométrica para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.

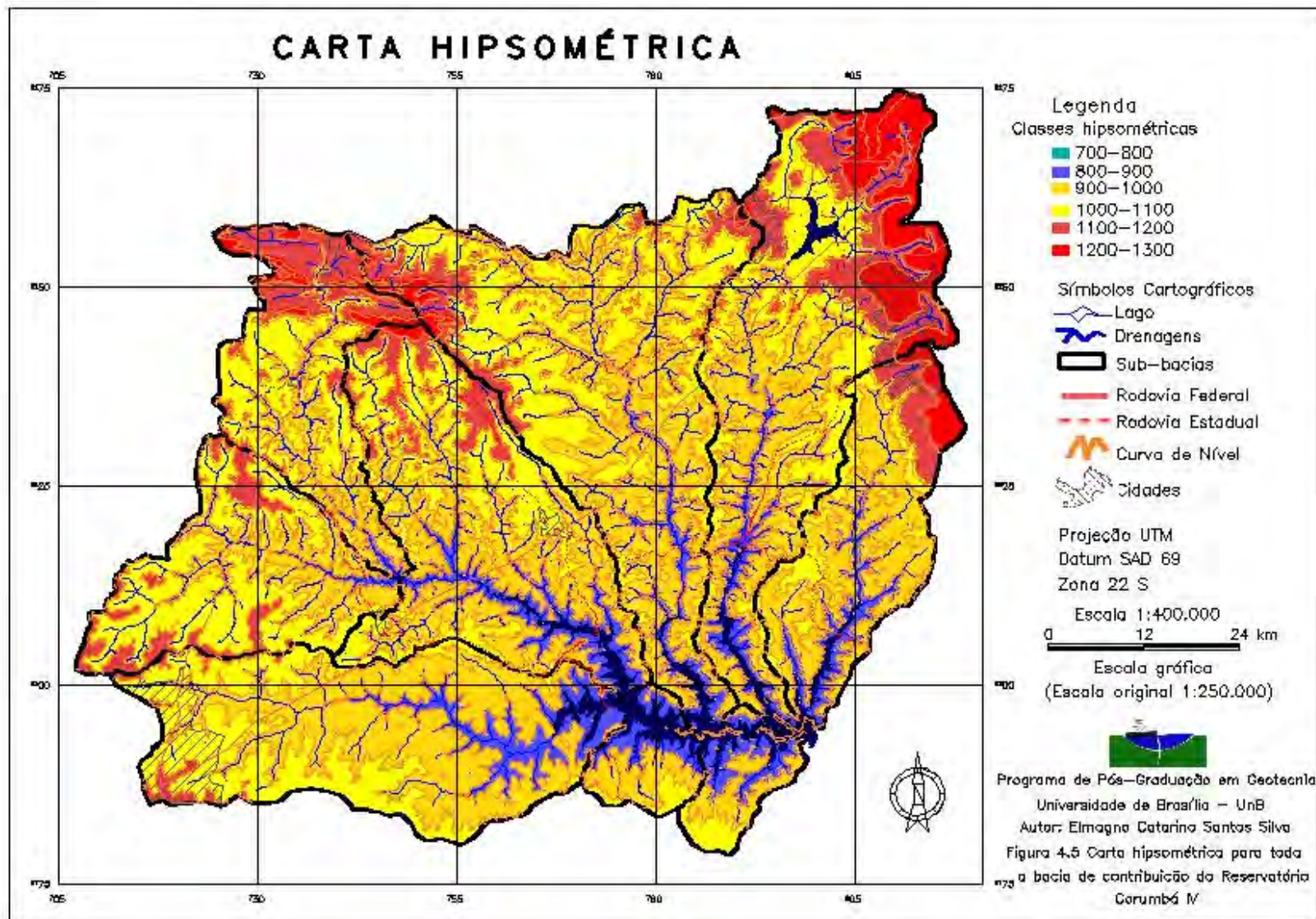
**Tabela 4.2** – Classes hipsométricas definidas para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV.

Sub-bacias	Classes (m)	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	Total
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	2,18	93,17	302,15	118,51	63,03	38,34	619,38
	Área %	0,35	15,04	48,78	19,13	10,17	6,19	100
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	13,11	127,37	241,50	161,82	41,92	585,72
	Área %	0,00	2,38	21,74	41,23	27,63	7,16	100
Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,00	154,25	527,03	380,41	42,92	0,00	1104,61
	Área %	0,00	13,96	47,71	34,44	3,88	0,00	100
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	1,07	81,09	66,66	21,99	0,00	0,00	170,81
	Área %	0,62	47,47	39,02	12,88	0,00	0,00	100
Areias	Área Km <sup>2</sup>	0,08	95,58	545,53	618,02	141,11	25,30	1425,62
	Área %	0,05	6,70	38,27	43,35	9,90	1,77	100
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	0,00	16,07	174,34	359,48	94,94	0,00	644,83
	Área %	0,00	2,49	27,04	55,75	14,72	0,00	100
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	1,39	102,21	372,23	387,08	221,19	203,42	1287,53
	Área %	0,11	7,94	28,91	30,06	17,18	15,80	100
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	145,65	393,98	365,10	100,44	9,50	1014,67
	Área %	0,00	14,35	38,83	35,98	9,90	0,94	100
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	4,22	76,43	57,54	31,74	0,00	0,00	169,93
	Área %	2,48	44,98	33,86	18,68	0,00	0,00	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>8,86</b>	<b>777,56</b>	<b>2566,83</b>	<b>2523,83</b>	<b>825,45</b>	<b>318,48</b>	<b>7021,01</b>

A partir dessa tabela se verifica que as sub-bacias Antas e Capivari são as que apresentam menores altitudes em relação às demais. Visto isso, se presume menores tendências no processo de lixiviação do solo, quando comparado com as demais, o que evita o transporte constante dos sedimentos. No gráfico abaixo se observa um predomínio de altitude de 900 a 1100 metros o que corresponde a 73% de toda a área estudada.



**Figura 4.4** - Percentuais obtidos das classes hipsométricas



**Figura 4.5** – Carta hipsométrica para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

## 4.5. DECLIVIDADE

Para elaboração da carta de declividade (Figura 4.6) definiu-se sete classes de declividade com a finalidade de mostrar a relação dessas com a área correspondente de cada sub-bacia estudada (Tabelas 4.3). O objetivo principal desta carta foi mostrar a importância da declividade como um dos atributos da equação de perdas de solo que contribui na formação de processos erosivos e no arraste de sedimentos.

**Tabela 4.3** – Intervalos de declividade definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV

SUB-BACIAS	Classes Intervalos(%)	1	2	3	4	5	6	7	Total
		0–2	2–5	5–10	10–20	20–30	30–45	>45	
Alagado	Área em Km <sup>2</sup>	56,71	170,80	209,98	152,20	25,08	3,15	0,02	617,937
	Área em %	9,17	27,64	33,98	24,63	4,06	0,51	0,00	100
Alto - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	23,88	104,56	242,16	188,70	22,40	3,95	0,32	585,968
	Área em %	4,07	17,84	41,33	32,20	3,82	0,67	0,05	100
Antas	Área em Km <sup>2</sup>	84,62	332,06	519,11	151,70	7,79	0,53	0,01	1095,818
	Área em %	7,72	30,30	47,37	13,84	0,71	0,05	0,00	100
Areias	Área em Km <sup>2</sup>	73,98	242,63	594,89	446,85	61,01	4,44	0,00	1423,8
	Área em %	5,19	17,04	41,78	31,38	4,28	0,31	0,00	100
Areias-Antas	Área em Km <sup>2</sup>	34,59	41,01	63,23	27,64	2,19	0,17	0,00	168,83
	Área em %	20,48	24,29	37,45	16,37	1,29	0,10	0,00	100
Capivari	Área em Km <sup>2</sup>	51,13	134,25	244,12	204,18	14,44	0,28	0,00	648,4
	Área em %	7,88	20,70	37,65	31,49	2,23	0,04	0,00	100
Descoberto	Área em Km <sup>2</sup>	132,55	404,15	428,84	290,61	40,90	3,55	0,01	1300,57
	Área em %	10,19	31,07	32,97	22,34	3,14	0,27	0,00	100
Ouro - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	71,25	178,90	414,71	318,41	36,53	2,31	0,00	1022,11
	Área em %	6,97	17,50	40,57	31,15	3,60	0,23	0,00	100
Pirapitinga-Sarandi	Área em Km <sup>2</sup>	34,75	35,99	56,21	35,85	5,50	0,72	0,01	169,028
	Área em %	20,55	21,29	33,25	21,20	3,25	0,42	0,01	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área em Km<sup>2</sup></b>	<b>563,46</b>	<b>1644,35</b>	<b>2773,25</b>	<b>1816,14</b>	<b>215,84</b>	<b>19,10</b>	<b>0,36</b>	<b>7032,50</b>

Cada intervalo acima citado representa formas de relevo encontrado nas áreas de estudo, como se observa abaixo:

- 0-2% - correspondem as áreas planas ou quase planas onde o escoamento superficial é lento e áreas de baixa ou média susceptibilidade;
- 2-5% - porção do relevo que apresentam declive suave a suave ondulado, onde o escoamento superficial é lento ou médio;
- 5-10% - apresenta relevo ondulado e escoamento superficial médio ou rápido dependendo do tipo de solo;
- 10-20% - apresenta escoamento superficial rápido, os solos são bem susceptíveis à erosão, relevo muito ondulado e correspondem às cabeceiras de drenagens;
- 20-30% - relevo fortemente ondulado, escoamento muito rápido e independe do tipo de solo;

- 30-40% - porção do relevo que apresenta declive fortemente ondulado com vertentes bastantes inclinadas, apresentando escoamento muito rápido.
- >45% - a velocidade de escoamento independe do tipo de solo.

#### **4.6. GEOMORFOLOGIA**

A área de estudo possui diferentes compartimentos de relevo que serão descritos a seguir com base no mapeamento realizado pela CPRM (2003).

##### **4.6.1. RELEVO DE AGRADAÇÃO**

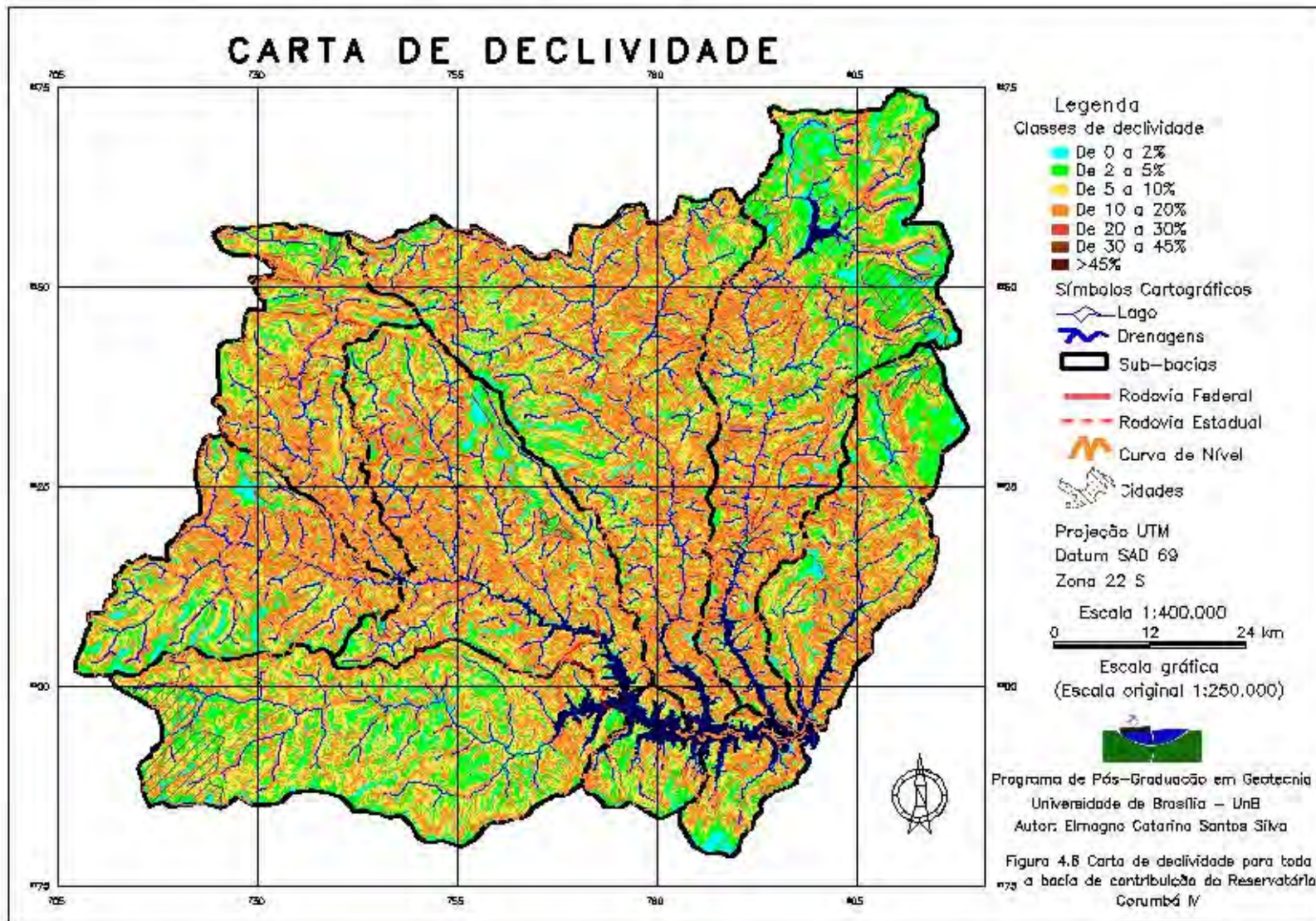
- Planícies fluviais (Apf): Superfícies sub-horizontais constituídas de depósitos arenosos ou areno-argilosos, bem selecionados, situados nos fundos de vales. Distribuem-se de forma dispersa na área de estudo, com ocorrência mais expressiva nos planaltos retocados. Representa 74,31km<sup>2</sup> ou 1,09% de toda a área de estudo, com predomínio na sub-bacia do Descoberto.

##### **4.6.2. RELEVO DE APLAINAMENTO**

- Topo de chapada (Dp e Dv): Superfícies planas ou aplainadas, não dissecadas, com gradientes inferiores a 3°, estando capeadas por uma couraça detrítico-laterítica. Os rebordos dessas superfícies são delimitados por vertentes íngremes e representam remanescentes de uma antiga superfície de erosão. Presença esporádica de vales fluviais (Dv) sulcando as superfícies aplainadas. Juntos representam 884,00km<sup>2</sup>, ou seja, 12,95% de toda a área de estudo, com predomínio na sub-bacia Descoberto seguida da Ouro - Corumbá (Dp) e Alagado (Dv).

##### **4.6.3. RELEVOS DE APLAINAMENTO/DISSECAÇÃO**

- Superfícies tabulares (Dt11, 12, 21, 22 e 23): Superfícies planas ou aplainadas, sulcadas por uma rede de canais de baixa densidade de drenagem de padrão dendrítico a subdendrítico. Apresentam vales muitos amplos e abertos com gradientes entre 3° e 5° e amplitudes de relevo entre 20 e 50m. Trata-se do padrão de relevo típico dos planaltos retocados, podendo ocorrer, de forma subordinada, nos planaltos dissecados. Para fins de mapeamento este padrão encontra-se subdividido em áreas planas e vales. As superfícies tabulares representam juntas 660,34km<sup>2</sup>, ou seja, 9,67% de toda a área de estudo, predominando na sub-bacia Descoberto.



**Figura 4.6** – Carta de declividade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV



#### **4.6.4. RELEVOS DE DISSECAÇÃO**

- Domínio colinoso (Dc12, 22, 23 e 33): Colinas convexas ou convexo-côncavas, com vertentes de gradiente suave ( $5^{\circ}$  a  $15^{\circ}$ ) e topos arredondados, com amplitudes de relevo entre 30m e 60m. Média densidade de drenagem com padrão dendrítico a treliça. Ocorrem em amplas áreas de planalto. Esses domínios representam juntos  $1927,91\text{km}^2$ , ou seja, 28,23% de toda a área estudada, predominando na sub-bacia Alto - Corumbá.
- Domínio de colinas e morros (Dc34, 35, 44 e 45): Colinas dissecadas e morros com geometria convexo-côncava, vertentes de gradiente suave a médio ( $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ) e topos arredondados ou alinhados, sendo freqüente a ocorrência de pequenas mesas, cristas e topos aguçados sustentados por remanescentes da couraça detrítico-laterítica. Amplitudes de relevo entre 40m e 100m e densidade de drenagem média a alta, com padrão treliça a retangular. Ocorrem em amplas áreas dos planaltos dissecados e dos vales encaixados. Esses domínios juntos representam  $3073,98\text{km}^2$  ou 45,02% de toda a área estudada.
- Domínio serrano (Da45): Relevo de morros alinhados, alinhamentos serranos ou serras isoladas com geometria retilíneo-côncava, vertentes de gradiente elevados ( $20^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ) e topos aguçados ou em cristas. Amplitudes de relevo superiores a 80m e densidade de drenagem alta, com padrão treliça a retangular. Formam imponentes relevos residuais nas depressões intermontanas. Este tipo de domínio representa  $134,00\text{km}^2$ , ou seja, 1,95% de toda a área de estudo, predominando na sub-bacia Alto - Corumbá.

#### **4.6.5. DEGRAUS ESTRUTURAIS**

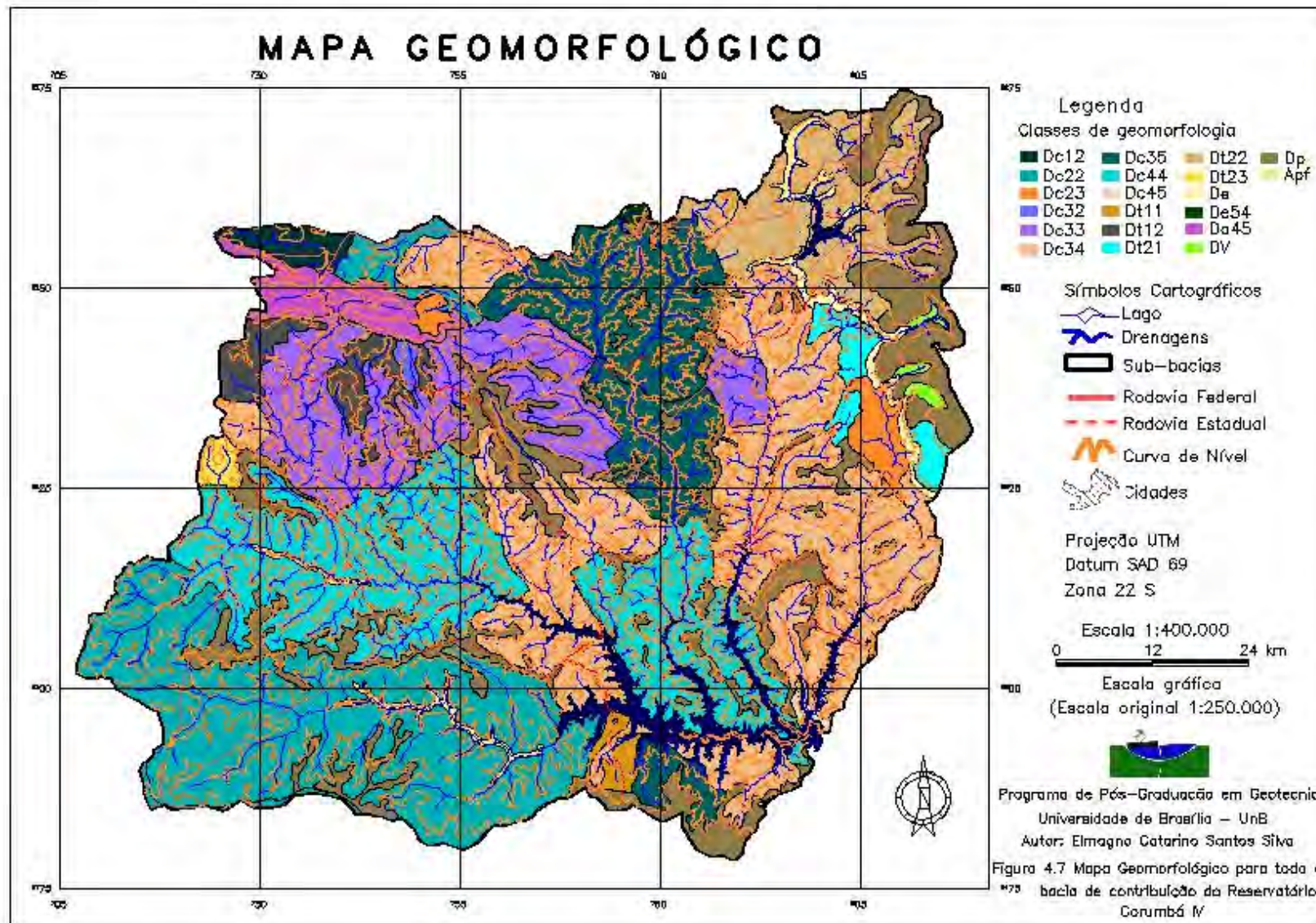
- De: Relevo caracterizado por degraus lito-estruturais com vertentes íngremes, retilíneas e pouco dissecadas, o com gradientes elevados ( $30^{\circ}$  a  $45^{\circ}$ ). Por vezes, esses degraus apresentam-se rampeados e suavizados. Amplitudes de relevo entre 40m e 70m e drenagem pouco expressiva. Esta unidade representa  $51,93\text{km}^2$  de toda a área de estudo.

#### **4.6.6. ESCARPAS DE BORDA DE PLANALTO**

- De54: Relevo montanhoso, muito acidentado, transicional entre dois padrões de relevo. Apresentam vertentes muito íngremes e dissecadas, com geometria retilíneo-côncava e gradientes muito elevados ( $30^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ ). Amplitudes de relevo superiores a 100m e alta densidade de drenagem com padrão paralelo a retangular. Esta unidade representa  $6,08\text{km}^2$ , ou seja, 0,09% de toda a área de estudo, estando presente na sub-bacia Areias.

**Tabela 4.4 – Distribuição das classes geomorfológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

Sub-bacias	Classes (m)	Apf	Dc12	Dc22	Dc23	Dc32	Dc33	Dc34	Dc35	Dc44	Dc45	Dt11	Dt12	Dt21	Dt22	Dt23	De	De54	Da45	Dp	DV	Total
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	15,92	0,00	0,00	61,85	0,00	0,00	347,14	0,00	0,04	14,97	0,00	0,00	29,20	0,00	0,00	20,18	0,00	0,00	94,33	14,69	598,32
	Área %	2,66	0,00	0,00	10,33	0,00	0,00	58,01	0,00	0,01	2,50	0,00	0,00	4,88	0,00	0,00	3,37	0,00	0,00	15,76	2,45	100
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	57,79	12,78	1,59	0,00	218,01	30,46	0,00	56,51	0,00	0,00	84,93	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	113,65	7,32	0,00	583,23
	Área %	0,00	9,90	2,19	0,27	0,00	37,38	5,22	0,00	9,69	0,00	0,00	14,56	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	19,48	1,25	0,00	100
Antas	Área Km <sup>2</sup>	19,80	0,00	929,15	0,00	0,00	0,00	25,36	0,00	0,00	0,00	11,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,05	0,00	1065,19
	Área %	1,85	0,00	87,22	0,00	0,00	0,00	2,38	0,00	0,00	0,00	1,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,42	0,00	100
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	8,19	21,42	48,24	17,12	0,00	23,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,84	0,00	149,02
	Área %	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	5,49	14,37	32,37	11,48	0,00	15,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,69	0,00	100
Areias	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,46	59,30	12,97	0,00	195,98	163,65	587,20	173,50	0,00	0,00	0,00	0,00	65,07	0,00	0,07	6,08	10,87	120,13	0,00	1395,28
	Área %	0,00	0,03	4,25	0,91	0,00	14,04	11,72	42,08	12,43	0,00	0,00	0,00	0,00	4,66	0,00	0,01	0,43	0,78	8,60	0,00	100
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	9,10	0,00	171,22	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	348,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,66	0,00	0,00	0,00	86,62	0,00	642,97
	Área %	0,00	0,00	26,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,30	0,00	0,00	0,00	13,47	0,00	100
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	29,45	0,00	0,00	1,73	0,00	60,65	432,04	0,58	82,64	0,95	0,00	0,00	57,74	295,59	0,00	31,68	0,00	0,00	257,14	0,00	1250,19
	Área %	2,35	0,00	0,00	0,14	0,00	4,85	34,56	0,04	6,61	0,07	0,00	0,00	4,61	23,64	0,00	2,53	0,00	0,00	20,72	0,00	100
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	2,49	1,50	14,16	134,88	275,95	0,00	351,82	0,00	0,00	64,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,28	146,18	0,00	1002,22
	Área %	0,00	0,00	0,24	0,15	1,41	13,45	27,53	0,00	35,10	0,00	0,00	6,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	14,58	0,00	100
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,64	14,79	14,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,53	0,00	144,39
	Área %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,15	10,24	9,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,61	0,00	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>74,31</b>	<b>58,25</b>	<b>1174,94</b>	<b>79,64</b>	<b>14,16</b>	<b>615,08</b>	<b>1362,70</b>	<b>650,81</b>	<b>1044,55</b>	<b>15,92</b>	<b>35,00</b>	<b>149,89</b>	<b>86,94</b>	<b>360,66</b>	<b>27,85</b>	<b>51,93</b>	<b>6,08</b>	<b>134,80</b>	<b>870,14</b>	<b>14,69</b>	<b>6828,34</b>



**Figura 4.7** – Mapa Geomorfológico para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

## **4.7. GEOLOGIA**

A geologia, incluindo os aspectos litológicos, estratigráficos, estruturais e sua evolução histórica, representa a base do conhecimento para a caracterização do meio físico de determinada região.

A região do Distrito Federal e Entorno é constituída em grande parte por rochas metassedimentares dobradas, de baixo grau metamórfico, fácies xisto-verde, pertencentes aos grupos: Araxá, Canastra, Paranoá, Ibiá e Bambuí, que compreendem a Faixa Brasília, sobrepostas a um embasamento granito-gnáissico de idade paleo-mesoproterozóica representado pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu, Associação Ortognáissica Migmatítica e pela Seqüência Metavulcanossedimentar Rio do Peixe.

Na área de estudo se pode observar as seguintes unidades lito-estratigráficas com suas descrições baseadas no texto da CPRM, (2003):

### **4.7.1. CENOZÓICO**

TQdl: Coberturas Detrito-lateríticas Terciário-Quaternárias: depósitos de latossolos vermelhos-amarronzados, constituindo perfis maduros e imaturos com níveis de cascalhos. Tem ampla distribuição na área de estudo formando superfícies aplainadas com altitudes entre 900 e 1.150m, atualmente em processo de dissecação marginal pela erosão. Esta cobertura representa 1390,52km<sup>2</sup>, ou seja, 20,37% de toda a área de estudo, com predomínio na sub-bacia Descoberto.

QHa: Aluviões Holocênicos depósitos aluvionares arenosos e argilo-arenoso localmente com níveis de cascalhos. Representa 47,23km<sup>2</sup>, ou seja, 0,70% de toda a área de estudo, predominando na sub-bacia Antas.

QP<sub>i</sub>: Cobertura Arenosa Indiferenciada: areia finas médias, siltico-argilosa, grãos arredondados e esféricos, localmente com níveis de cascalhos. Ocupam principalmente a região do vale do rio Antas. Este tipo de cobertura representa 7,80km<sup>2</sup>, ou seja, 0,11% de toda a área de estudo, onde assentam discordantemente sobre as unidades sotopostas, sendo que na área, estão sobre as lateritas.

#### **4.7.2. GRUPO CANASTRA**

O Grupo Canastra está bem exposto nas porções norte, oeste e centro-sul da área de estudo em contato tectônico com o Grupo Paranoá (falha de empurrão), constituído por litologias que se distribuem com maior ou menor representatividade por toda a área de exposição, ocorrendo de maneira indivisa ou em faixas extensas, bem diferenciadas, onde atingem dezenas de quilômetros. Pertencem a esta unidade uma grande variedade de tipos petrográficos originados pelo metamorfismo de sedimentos diversos predominantemente pelitos e psamitos, e subordinadamente pelito-carbonáticos ou químicos.

O grupo Canastra agrupado, ou seja, independente da formação, representam aproximadamente 2850km<sup>2</sup>, ou seja, 41,74% de toda a área de estudo.

Mcp1 e Mcp1mm: Formação Chapada dos Pilões: predominância de quartzo-sericita-clorita xistos intercalados com quartzitos micáceos brancos (Mcp1mm). Ocorrem lentes de mármore.

Mpc: Formação Paracatu: clorita-sericita xisto carbonoso, muito fino, eventualmente cortado por veios de quartzo e níveis de pirita. Localmente ocorrem lentes de quartzito, mármore e milonitos.

Mcp2 e Mcp2qt: Predominância de quartzitos micáceos brancos intercalados com quartzo-sericita-clorita xistos. Lentes de quartzo puros (qt).

#### **4.7.3. GRUPO ARAXÁ**

MaB: Unidade B: calci-clorita-biotita xisto, calci-clorita-biotita xisto feldspático, alci-granada-biotita xisto feldspático, granada-clorita xisto, homblenda-granada xisto feldspático, grafita xisto, lentes demetacalcario, subordinadamente quartzito micáceos.

Sua área de maior ocorrência situa-se na porção sudoeste da área de estudo, em torno das cidades de Anápolis, Abadiânia e Alexânia, onde se observa sua disposição por aloctonia sobre o Complexo Granulítico e a seqüência rio do Peixe, em regime tectônico de baixo ângulo, com desenvolvimento de notável superfície de descolamento.

#### **4.7.4. METAULTRAMAFITOS TIPO MORRO FEIO**

M<sub>μ</sub>: Metaultramáficas, serpentinitos, talco-clorita xistos, talco xistos. As litologias identificadas como Metaultramafitos tipo Morro Feio constituem uma série de corpos esparsos, de pequenas dimensões e formas variadas. Suas melhores exposições são encontradas a noroeste da cidade de Abadiânia e sul de Corumbá de Goiás, sudoeste da área. A grande dificuldade de obter-se uma boa definição de seus contatos está no fato que estas rochas se mostram muito intemperizadas, tendo como encaixantes rochas do Grupo Araxá.

#### **4.7.5. SEQÜÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES**

M<sub>rp</sub>: Rio do Peixe: biotita-hornblenda-plagioclásio gnaisse (metatonalito) protomilonítico, epidoto-quartzo anfibolito, epidoto-plagioclásio anfibolito, granada-clorita-biotita-plagioclásio-quartzo xisto, clorita-muscovita-quartzo xisto, muscovita-quartzo xisto, cloritóide quartzito, muscovita-biotita-feldspato xisto, muscovita-plagioclásio-quartzo-hornblenda-carbonato xisto, meta-alcaligranito, metamicrogabro, metabasalto.

Na área em estudo ocorre principalmente no extremo oeste do vale do rio Corumbá as litologias: xisto, gnaisse e quartzo.

#### **4.7.6. PALEO-MESOPROTEROZÓICO COMPLEXOS INDIFERENCIADOS**

##### **4.7.6.1. ASSOCIAÇÃO ORTOGNÁISSICA MIGMATÍTICA**

Py1: Ortognaisses graníficos, tonalíticos, granodioríficos, com restitos de rochas granulíticas e anfibolíticas.

Esta unidade ocorre em faixas alongadas freqüentemente associadas às rochas granulíticas, com as quais faz contato tectônico marcado por extensas zonas de cisalhamento de direções NW-SE.

##### **4.7.6.2. COMPLEXO GRANULÍTICO ANAPÓLIS – ITAUÇU**

Pais: Associação de Supracrustais Granulitizadas: gnaisse granadiféros e calcissilicáticos, silmanita gnaisse, gnaisse, diopsídio mármore, granada quartzitos gonditos e, subordinadamente, anfibolitos.

Paio: Associação de Ortogranulítica: granulitos básico-ultrabásicos, metagabros, metanoritos, metapiroxenitos, hiperstenitos, talcocrita xistos, serpentinito. Gnaisses charnoquíticos e enderbíticos, hiperstenitos tonalíticos com intercalações de anfibolito.

Essas unidades ocorrem em faixas estreitas e alongadas, orientadas preferencialmente segundo NW-SE, nas proximidades da cidade de Anápolis.

#### **4.7.7. MESO – NEOPROTEROZÓICO: GRUPO PARANOÁ**

Mpa3 e Mpa3qt: Unidade Ritmica Quartzítica Intermediária: quartzitos finos a médio (qt) com intercalações de metassiliticos carbonosos, raras lentes de conglomerado intraformacional, metassilitos, metargilitos e ardósias na base.

Estas unidades ocorrem amplamente na sua porção central em uma faixa contínua que se bifurca nas direções NW e NE em contato por falha de empurrão com o Grupo Canastra. Afloram ainda de maneira descontínua no extremo-sul da área como formadora do Domo de Cristalina.

#### **4.7.8. ARCO MAGMÁTICO DE GOIÁS: GRANITOS SINTECTÔNICOS**

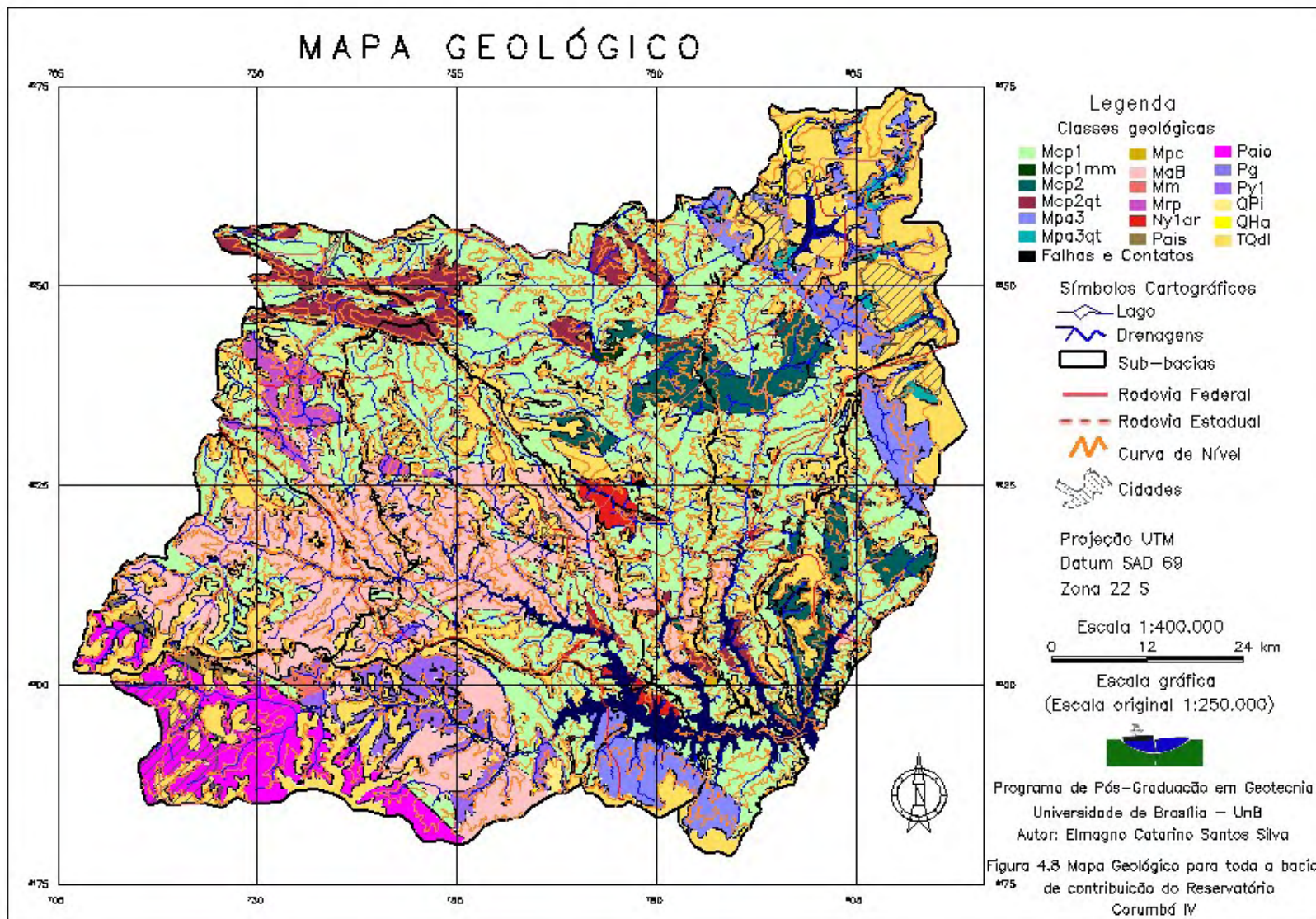
Nylar: Granitos tipo Aragoiânia: granada-biofita-muscovita metagranito, biotita metagranodiorto e metagranito, gnaisses e pegmatitos associados.

Ocorre, exclusivamente, a NE de Alexânia e a SE, nas proximidades do rio Areias com o rio Corumbá. Encontram-se encaixados em xistos do Grupo Canastra, concordantes com sua foliação S.

**Tabela 4.5 – Distribuição das classes geológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

Sub-bacias	Classes (m)	Mpa3qt	Mpa3	Mcp1	Mcp2qt	Mcp2	Mcp1mm	Mpc	MaB	Mrp	Mm	Py1	Paio	Pais	QHa	Qpi	Ny1ar	TQdl	Falhas e Contatos	Pg	Total
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	7,40	70,19	183,74	0,42	99,58	0,00	0,00	5,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	152,31	40,14	0,00	573,57
	Área %	1,29	12,24	32,03	0,07	17,36	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,55	7,00	0,00	100,00
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,00	238,65	79,81	0,00	0,00	0,00	78,25	0,00	397,44	0,00	0,00	0,52	0,21	0,00	49,02	28,37	0,00	673,57
	Área %	0,00	0,00	0,00	35,43	11,85	0,00	0,00	0,00	11,62	0,00	54,63	0,00	0,00	0,07	0,03	0,00	7,28	4,21	0,00	100,00
Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,00	12,36	116,54	1,01	0,00	0,00	0,00	187,01	0,00	8,97	132,26	280,62	8,58	22,61	7,55	0,00	197,99	47,38	0,00	1039,70
	Área %	0,00	1,19	11,21	0,09	0,00	0,00	0,00	17,89	0,00	0,86	12,72	27,00	0,82	2,17	0,73	0,00	19,04	4,55	0,00	100,00
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,00	69,98	20,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,19	24,54	7,70	0,00	160,04
	Área %	0,00	43,72	13,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,11	15,33	4,81	0,00	100,00
Areias	Área Km <sup>2</sup>	3,58	20,74	821,47	110,08	87,29	6,83	2,45	36,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	30,72	152,13	63,94	0,00	1350,60
	Área %	0,26	1,53	60,82	8,15	6,46	0,50	0,18	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,27	11,26	4,73	0,00	100,00
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	126,59	0,00	0,00	0,00	0,00	271,99	0,00	0,55	0,00	23,36	9,33	6,42	0,00	0,00	147,30	27,20	0,00	612,76
	Área %	0,00	0,00	20,66	0,00	0,00	0,00	0,00	44,38	0,00	0,09	0,00	3,81	1,52	1,05	0,00	0,00	24,04	4,44	0,00	100,00
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	30,15	108,87	374,80	17,37	105,27	0,47	4,75	9,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,44	0,00	0,00	483,03	51,74	0,00	1227,41
	Área %	2,46	8,87	30,53	1,41	8,57	0,04	0,38	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	39,35	4,21	0,00	100,00
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	366,41	19,26	0,00	0,00	0,00	353,17	9,07	0,00	4,60	0,00	0,00	3,24	0,01	3,55	158,34	38,40	0,00	975,43
	Área %	0,00	0,00	37,56	1,97	0,00	0,00	0,00	36,20	0,92	0,00	0,47	0,00	0,00	0,33	0,00	0,36	16,23	3,94	0,00	100,00
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	0,00	30,83	73,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,86	7,71	0,00	161,66
	Área %	0,00	19,07	45,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	4,77	0,00	100,00
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>41,13</b>	<b>312,97</b>	<b>2083,61</b>	<b>386,79</b>	<b>371,95</b>	<b>7,30</b>	<b>7,20</b>	<b>863,24</b>	<b>87,32</b>	<b>9,52</b>	<b>534,30</b>	<b>303,98</b>	<b>17,91</b>	<b>47,23</b>	<b>7,79</b>	<b>42,46</b>	<b>1390,52</b>	<b>312,58</b>	<b>0,00</b>	<b>6827,80</b>





**Figura 4.8** – Mapa Geológico para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

#### 4.8. PEDOLOGIA

Em regiões tropicais os estudos de sistemas pedológicos são fundamentais no entendimento da dinâmica da paisagem e do equilíbrio geoambiental (*apud* Martins, 1998), sendo a ocupação humana considerada por estes autores o fator mais ativo nas modificações dos sistemas pedológicos. A seguir são descritas as principais classes de solos que ocorrem na área de estudo baseadas no texto da CPRM, (2003):

- LAd: Latossolo amarelo distrófico petroplântico textura argilosa cascalhenta A moderado fase endopedregosa cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado.
- LVd1: Latossolo vermelho distrófico típico textura muito argilosa A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio relevo plano e suave ondulado.
- LVd3: Associação de latossolo vermelho + latossolo vermelho-amarelo, ambos distróficos típicos A moderado textura argilosa fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado (80 e 20%).
- LVd5: Associação de latossolo vermelho + latossolo vermelho-amarelo, ambos distróficos típicos A moderado textura muito argilosa fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado (70 e 30%).
- LVAd1: Latossolo vermelho-amarelo distrófico típico textura média A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado.
- LVAd2: Latossolo vermelho-amarelo distrófico endopetroplântico textura argilosa/muito argilosa cascalhenta A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio relevo plano e suave ondulado.
- LVAd6: Associação de latossolo vermelho-amarelo + latossolo vermelho, ambos Distróficos típicos textura argilosa A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado relevo plano e suave ondulado (60 e 40%).
- LVAd7: Associação de latossolo vermelho-amarelo textura média + latossolo vermelho-amarelo textura argilosa, ambos relevo plano e suave ondulado + cabissolo háplico Tb

textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado, todos distróficos típicos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (45, 35 e 20%).

- LVAd8: Associação de latossolo vermelho-amarelo endopetroplíntico textura argilosa/argilosa cascalhenta fase endopedregosa + latossolo vermelho-amarelo típico textura argilosa + latossolo vermelho típico textura argilosa, todos distróficos fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado relevo plano e suave ondulado (40, 35 e 25%).
- LAVd10: Associação de latossolo vermelho-amarelo endopetroplíntico A moderado textura média/argilosa cascalhenta fase cerrado tropical subcaducifólio + latossolo vermelho-amarelo petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase campo cerrado e cerrado tropical subcaducifólio, ambos relevo plano e suave ondulado + cabissolo háplico Tb típico textura média cascalhenta fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo suave ondulado, todos distróficos A moderado (40, 30 e 30%).
- LVAd12: Associação de latossolo vermelho-amarelo textura argilosa relevo plano e suave ondulado + cabissolo háplico Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado, ambos Distróficos típicos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (70 e 30%).
- LVAd14: Associação de latossolo vermelho-amarelo endopetroplíntico textura argilosa/argilosa cascalhenta relevo plano e suave ondulado + cabissolo háplico Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado, ambos distróficos típicos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (60 e 40%).
- LVAd15: Associação de latossolo vermelho-amarelo típico textura argilosa + latossolo amarelo petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase endopedregosa, ambos distróficos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado (60 e 40%).
- CXbd2: Cabissolo háplico Tb distrófico típico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta A moderado fase pedregosa

cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo suave ondulado e ondulado.

- CXbd4: Associação de cambissolo fase cerrado e cerradão tropicais subcaducifólios relevo ondulado e forte ondulado + cambissolo fase cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado e ondulado, ambos háplico Tb distróficos petroplínticos textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta A moderado (60 e 40%).
- CXbd6: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico típico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado + latossolo amarelo distrófico petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase endopedregosa relevo plano e suave ondulado, ambos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (70 e 30%).
- CXbd7: Associação de cambissolo háplico Tb típico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa cerrado tropical subcaducifólio e campo tropical relevo ondulado + latossolo amarelo distrófico petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase endopedregosa cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado, ambos Distróficos A moderado (70 e 30%).
- CXbd8: Associação de cambissolo háplico Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta fase pedregosa + latossolo vermelho-amarelo textura argilosa, ambos Distróficos típicos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo plano e suave ondulado (60 e 40%).
- CXbd9: Associação de cambissolo háplico Tb textura média cascalhenta/ argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo ondulado e forte ondulado + latossolo vermelho-amarelo textura argilosa relevo plano e suave ondulado, ambos Distróficos típicos A moderado cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (60 e 40%).
- CXbd12: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico textura argilosa cascalhenta A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado e ondulado + latossolo vermelho-amarelo distrófico textura argilosa A moderado fase cerradão e cerrado tropicais subcaducifólios relevo plano e suave ondulado + argissolo vermelho

eutrófico textura argilosa/muito argilosa A proeminente ou moderado fase floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado e ondulado, todos típicos (50, 30 e 20%).

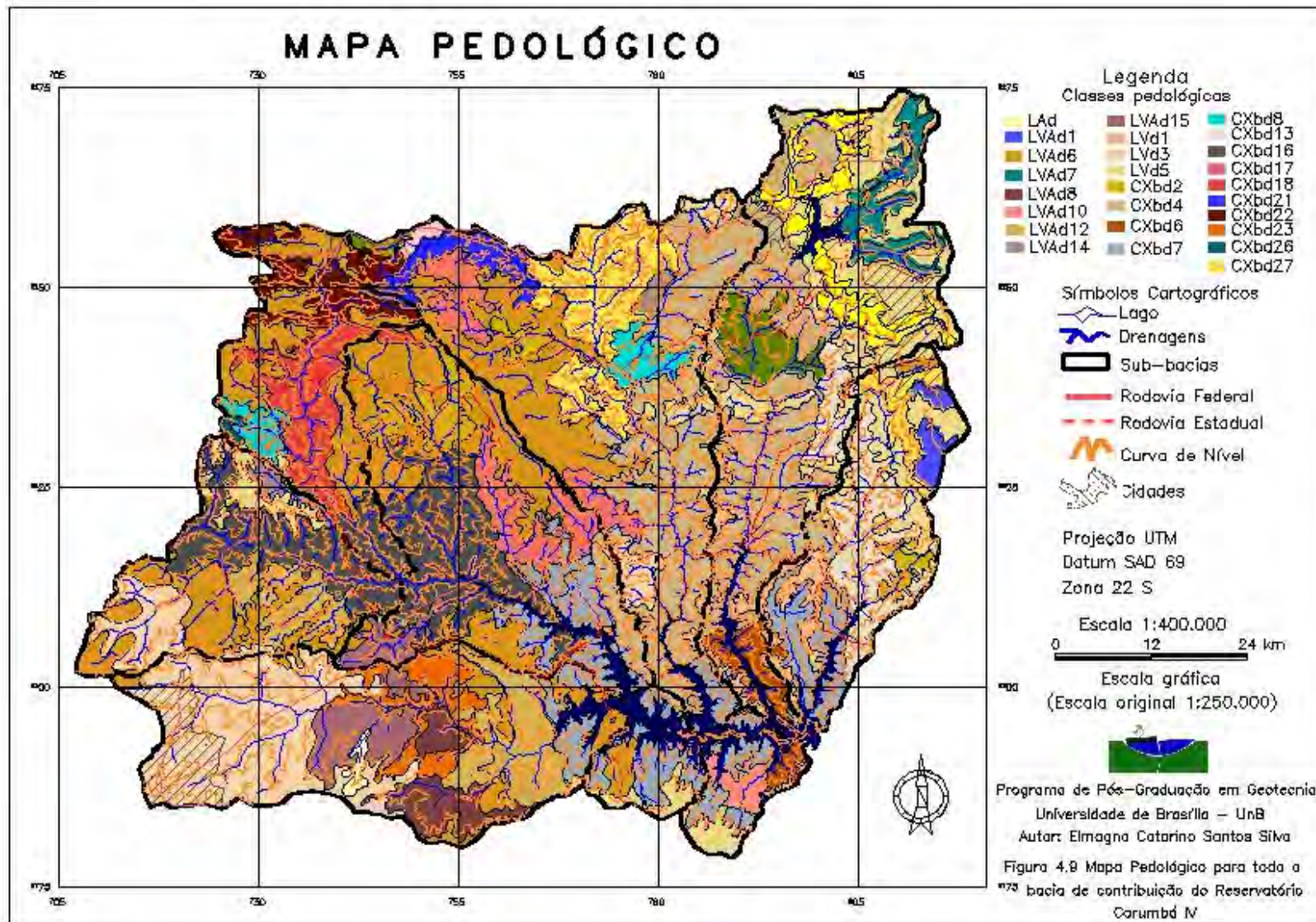
- CXbd13: Associação de cambissolo típico textura média cascalhenta fase campo cerrado tropical relevo suave ondulado e ondulado + cambissolo petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase campo cerrado tropical e campo tropical relevo suave ondulado, ambos háplico Tb distróficos A moderado + afloramentos de rocha (50, 30 e 20%).
- CXbd16: Associação de cambissolo distrófico fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical + cambissolo eutrófico fase floresta tropical subcaducifólia, ambos háplico Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo ondulado e forte ondulado + argissolo vermelho distrófico ou eutrófico textura média cascalhenta/argilosa cascalhenta ou argilosa/argilosa cascalhenta fase endopedregosa ou não floresta tropical subcaducifólia relevo suave ondulado e ondulado, todos típicos A moderado (40, 30 e 30%).
- CXbd17: Associação de cambissolo háplico Tb textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado + latossolo vermelho-amarelo textura argilosa relevo plano e suave ondulado + latossolo vermelho textura argilosa relevo plano e suave ondulado, todos distróficos típicos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (40, 30 e 30%).
- CXbd18: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical + argissolo vermelho distrófico ou Eutrófico textura média/argilosa cascalhenta ou argilosa/argilosa cascalhenta fase endopedregosa ou não floresta tropical subcaducifólia + cambissolo háplico Tb Eutrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa floresta tropical subcaducifólia, todos típicos A moderado relevo suave ondulado e ondulado (50, 30 e 20%).
- CXbd21: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa campo

cerrado tropical e campo tropical + argissolo vermelho distrófico ou eutrófico textura média/argilosa cascalhenta ou argilosa/argilosa cascalhenta fase endopedregosa ou não floresta tropical subcaducifólia + cambissolo háplico Tb eutrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa floresta tropical subcaducifólia, todos típicos A moderado relevo suave ondulado e ondulado (50, 25 e 25%).

- CXbd22: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase cerrado tropical subcaducifólio e campo tropical relevo suave ondulado e ondulado + neossolo litólico distrófico textura média cascalhenta fase campo cerrado tropical relevo montanhoso e escarpado, ambos típicos A moderado fase pedregosa + afloramentos de rochas (50, 30 e 20%).
- CXbd23: Associação de cambissolo háplico Tb típico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase pedregosa relevo suave ondulado e ondulado + latossolo vermelho-amarelo endopetroplíntico textura argilosa/argilosa cascalhenta fase endopedregosa relevo plano e suave ondulado + latossolo amarelo petroplíntico textura argilosa cascalhenta fase endopedregosa relevo plano e suave ondulado, todos distróficos A moderado fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical (50, 30 e 20%).
- CXbd26: Associação de cambissolo háplico Tb distrófico textura média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase cerrado tropical subcaducifólio e campo cerrado tropical relevo ondulado e forte ondulado + neossolo litólico distrófico textura média cascalhenta fase campo cerrado tropical e campo tropical relevo forte ondulado e montanhoso + cambissolo háplico Tb eutrófico média cascalhenta ou argilosa cascalhenta ou média cascalhenta/argilosa cascalhenta fase floresta tropical subcaducifólia relevo ondulado e forte ondulado, todos típicos A moderado fase pedregosa + afloramentos de rochas (30, 30, 20 e 20%).
- CXbd27: Associação de cambissolo petroplíntico textura média/argilosa cascalhenta fase cerradão tropical subcaducifólio relevo ondulado e forte ondulado + cambissolo típico textura média cascalhenta fase cerrado tropical subcaducifólio relevo suave ondulado, ambos háplico Tb distróficos A moderado (60 e 40%).

**Tabela 4.6 – Distribuição das classes pedológicas por sub-bacia e para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

Sub-bacias	Classes (m)	LVd1	LVd3	LVd5	LVAd1	LVAd2	LVAd6	LVAd7	LVAd8	LVAd10	LVAd12	LVAd14	LVAd15	LAd	CXbd2	Cxbd4	CXbd6	CXbd7	CXbd8	CXbd9	Cxbd12	CXbd13	CXbd16	CXbd17	CXbd18	CXbd21	Cxbd22	Cxbd23	CXbd26	CXbd27	Total	
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	59,03	0,00	115,31	36,43	0,00	7,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,66	16,85	3,00	104,98	0,00	0,00	0,00	180,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,78	615,23
	Área %	9,60	0,00	18,74	5,92	0,00	1,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,33	2,74	0,49	17,06	0,00	0,00	0,00	29,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,25	100
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	6,85	0,00	0,00	192,61	0,00	0,00	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,08	0,00	0,00	0,00	52,36	0,00	160,58	6,20	117,55	0,00	6,21	0,00	583,26	
	Área %	0,00	0,00	1,17	0,00	0,00	33,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,35	0,00	0,00	0,00	8,98	0,00	27,53	1,06	20,15	0,00	1,06	0,00	100	
Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,00	443,85	3,13	0,00	0,00	99,43	0,00	100,36	0,00	158,00	0,00	104,16	12,88	0,00	0,00	0,00	52,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	105,93	0,00	0,00	1095,65	
	Área %	0,00	40,51	0,28	0,00	0,00	9,07	0,00	9,16	0,00	14,42	0,00	9,51	1,17	0,00	0,00	0,00	4,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,67	0,00	0,00	100	
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	28,42	0,00	0,00	24,85	0,00	0,00	5,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,33	0,00	76,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	168,55	
	Área %	0,00	0,00	16,86	0,00	0,00	14,74	0,00	0,00	33,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	0,00	45,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	
Areias	Área Km <sup>2</sup>	21,17	34,37	52,09	0,00	14,17	252,80	0,00	0,00	0,00	0,00	15,98	0,00	0,00	22,07	479,98	0,00	29,03	49,59	0,00	12,25	0,00	0,00	93,30	0,00	73,53	14,91	0,00	0,00	241,01	1420,39	
	Área %	1,49	2,42	3,66	0,00	1,00	17,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,12	0,00	0,00	1,55	33,79	0,00	2,04	3,49	0,00	0,86	0,00	0,00	6,57	0,00	5,17	1,05	0,00	0,00	16,97	100	
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	0,00	94,62	60,07	0,00	0,00	169,00	0,00	0,00	0,00	94,87	20,96	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	205,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	645,92	
	Área %	0,00	14,65	9,30	0,00	0,00	26,16	0,00	0,00	0,00	14,69	3,24	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	47,30	0,00	322,94	0,00	0,00	0,00	100,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	455,21	55,77	3,81	0,00	140,08	90,57	55,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1296,80	
	Área %	3,65	0,00	24,90	0,00	0,00	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,10	4,30	0,29	0,00	10,80	6,98	4,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	100	
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,51	3,01	0,00	0,00	0,00	298,94	0,00	0,00	0,00	0,92	0,00	41,32	0,00	71,82	48,05	0,00	136,96	0,00	0,00	0,00	0,00	281,22	109,80	8,78	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00	1020,30	
	Área %	0,05	0,30	0,00	0,00	0,00	29,30	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	4,05	0,00	7,03	4,70	0,00	13,42	0,00	0,00	0,00	0,00	27,56	10,76	0,86	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	100	
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	6,04	0,00	31,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	34,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,66	53,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	168,55	
	Área %	3,58	0,00	18,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,07	31,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>134,05</b>	<b>575,85</b>	<b>619,83</b>	<b>36,43</b>	<b>14,17</b>	<b>1045,18</b>	<b>100,57</b>	<b>100,36</b>	<b>40,54</b>	<b>253,79</b>	<b>39,44</b>	<b>146,43</b>	<b>12,88</b>	<b>120,55</b>	<b>1005,42</b>	<b>77,43</b>	<b>457,66</b>	<b>86,67</b>	<b>140,08</b>	<b>102,82</b>	<b>235,42</b>	<b>539,02</b>	<b>203,10</b>	<b>169,36</b>	<b>79,73</b>	<b>132,46</b>	<b>106,79</b>	<b>6,21</b>	<b>292,09</b>	<b>6874,33</b>	



**Figura 4.9** – Mapa Pedológico para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV



#### 4.9. USO E COBERTURA DO SOLO

No decorrer da pesquisa foram feitas três visitas de campo na área estudada. Durante todo percurso se pode verificar que na pecuária (pastagem), predomina a criação de bovinos de corte (raça Nelore) e leiteiro (raça Holandesa), com destaque para os municípios de Luziânia e Pirenópolis. No que se refere à agricultura se observou um intenso plantio de grandes culturas de cereais, principalmente soja e milho. As grandes culturas comerciais são beneficiadas pelo sistema de irrigação tipo pivô central, onde a lavoura tem se expandido em áreas anteriormente ocupadas por cerrado. Nos solos são aplicados constantemente defensivos agrícolas e fertilizantes para compensar as deficiências naturais e eliminar gramíneas indesejáveis para o plantio de certas cultivares (Figura 4.10). Está presente também em grande parte da sub-bacia do Descoberto a silvicultura: áreas de reflorestamentos com pinheiros e eucalipto.



**Figura 4.10** – Aplicação de defensivos agrícolas

O mapa de uso e cobertura do solo subsidiou nesta pesquisa a elaboração da carta de erosão laminar potencial das sub-bacias do rio Corumbá. Foram identificadas 10 classes: cerrado, campo sujo, campo limpo, área urbana, agricultura, mata galeria, solo exposto, pastagem, silvicultura e corpos d'água (Tabela 4.7).

A classe campo sujo caracterizou-se como o principal uso e cobertura do solo nas sub-bacias estudadas, ocupando 2231km<sup>2</sup> de toda a área, os quais correspondem a 32.61% da área total, seguida da classe campo limpo a qual representa as pastagens com arbustos de baixo porte, com 26,60% cobrindo uma área de 1820 km<sup>2</sup> de todas as sub-bacias estudadas. Vale ressaltar que a classe campo limpo é bastante utilizada para criação de bovinos, assim como a classe pastagem propriamente dita.

**Tabela 4.7 – Classes de uso e cobertura do solo presentes em todas as sub-bacias estudadas**

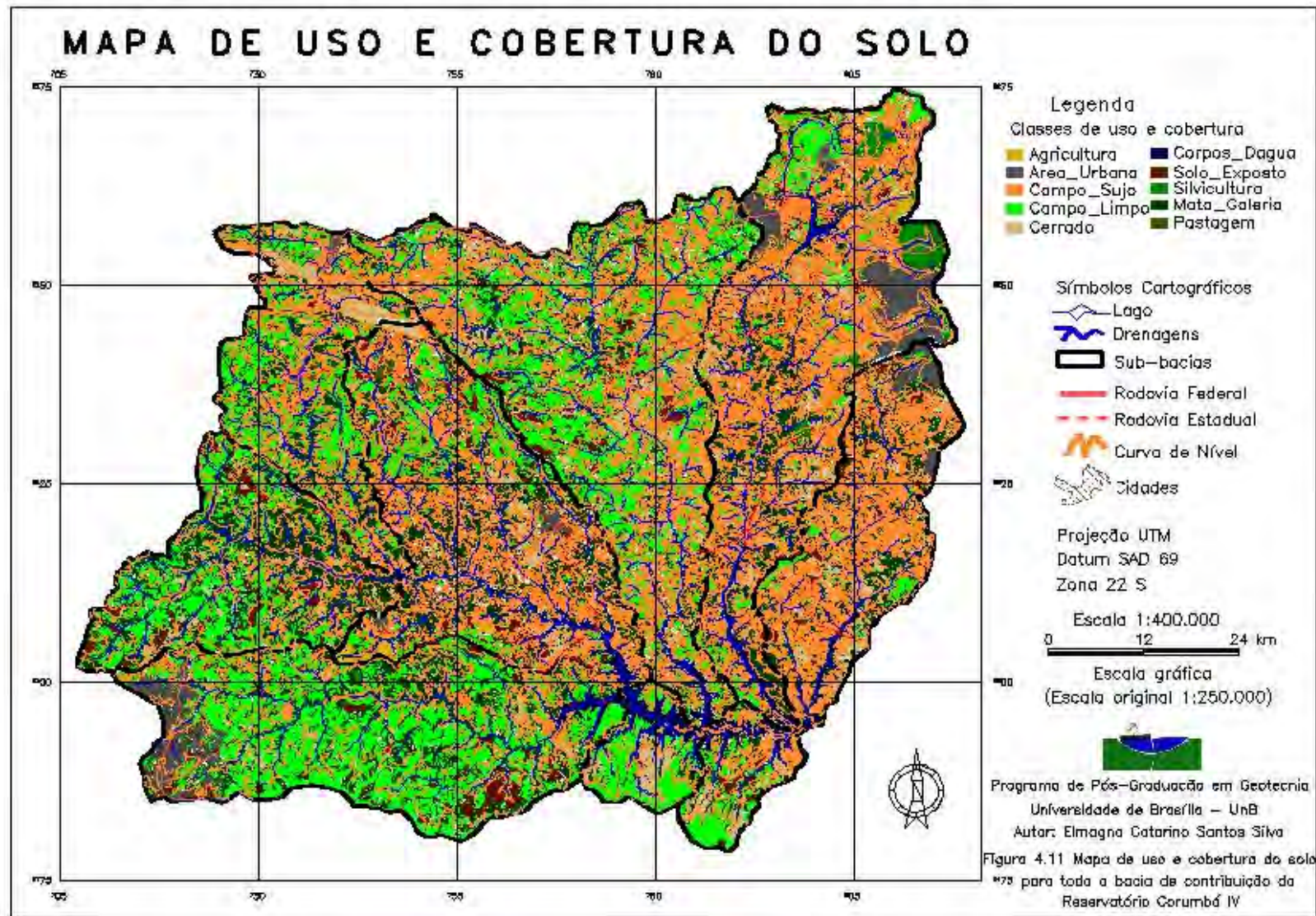
Sub-bacias	Classes (m)	Corpos d'água	M. Galeria	Área Urbana	Solo exposto	Silvicultura	C. limpo	C. sujo	Cerrado	Agricultura	Pastagem	Total
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	13,72	135,30	23,57	25,35	0,00	29,49	315,88	61,90	0,00	0,00	605,21
	Área %	2,26	22,35	3,89	4,19	0,00	4,87	52,19	10,23	0,00	0,00	100
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	0,00	145,98	6,10	9,79	0,00	184,44	181,43	42,88	0,78	2,13	573,53
	Área %	0,00	25,45	1,06	1,70	0,00	32,16	31,63	7,48	0,14	0,37	100
Antas	Área Km <sup>2</sup>	15,96	252,12	80,45	80,98	2,94	508,94	107,47	14,98	0,00	6,80	1070,64
	Área %	1,49	23,62	7,52	7,56	0,00	47,72	10,04	1,40	0,00	0,64	100
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	31,38	21,52	0,00	0,32	0,00	70,00	16,12	27,46	0,00	0,00	166,8
	Área %	18,81	12,90	0,00	0,19	0,00	41,96	9,66	16,46	0,00	0,00	100
Areias	Área Km <sup>2</sup>	15,38	195,78	12,33	84,40	0,00	498,14	508,25	53,83	0,00	0,00	1368,11
	Área %	1,12	14,31	0,90	6,17	0,00	36,41	37,20	3,93	0,00	0,00	100
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	0,00	273,11	0,00	48,50	0,00	221,53	54,98	37,66	0,00	0,44	636,22
	Área %	0,00	42,93	0,00	7,62	0,00	3,82	8,64	5,92	0,00	0,07	100
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	29,85	210,69	85,50	45,92	66,21	122,45	611,14	93,10	3,31	1,90	1270,07
	Área %	2,35	16,59	6,73	3,61	5,16	9,64	48,12	7,37	0,25	0,15	100
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	20,42	306,62	14,14	50,20	2,81	139,48	393,11	41,15	13,11	5,10	986,14
	Área %	2,08	31,31	1,45	5,28	0,00	14,88	40,24	4,20	0,02	0,51	100
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	24,46	22,00	0,00	11,94	0,00	46,04	42,09	17,55	0,00	0,00	164,08
	Área %	14,91	13,41	0,00	7,27	0,00	0,00	25,60	10,70	0,00	0,00	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>151,17</b>	<b>1563,12</b>	<b>222,09</b>	<b>357,40</b>	<b>71,96</b>	<b>1820,51</b>	<b>2230,47</b>	<b>390,51</b>	<b>17,20</b>	<b>16,37</b>	<b>6840,8</b>

Em terceiro lugar têm-se as matas ciliares e matas mesofíticas ambas denominadas de classe mata galeria, cobrindo uma área de 1564 km<sup>2</sup>, a qual representa 22,86% da área. Em quarto tem-se cerrado, cerradão e cerrado ralo ambos denominado como classe cerrado, que representa 5,72% correspondente a 391 km<sup>2</sup> de toda a área estudada.

O solo exposto apresentou 358km<sup>2</sup>, correspondente a 5,23% de toda a área. A área urbana representa 3,26%, correspondente a 223km<sup>2</sup> de toda a área das Sub-bacias. A classe corpos d'água, a qual compreende lagos, lagoas, outras, representam 2,22% de toda a área, correspondente a 152km<sup>2</sup>. Os pinhos e eucaliptos foram incluídos na classe silvicultura, que representa 1,06% de toda a área, correspondente a 72km<sup>2</sup>.

As plantações de milho e soja foram incluídas na classe agricultura que representa 0,26% de toda a área estudada, correspondente 18km<sup>2</sup>.

Por fim a classe pastagem representou 0,25% de toda a área, correspondente a 17km<sup>2</sup>. Vale ressaltar que essa foi classificada levando em conta a presença de criações vista em visita de campo.



**Figura 4.11** – Mapa de uso e cobertura do solo para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

#### 4.10. CLIMA

As áreas estudadas apresentam precipitações médias anuais bastante expressivas, variando de 1.200 a 1800 mm. Entretanto, observa-se uma má distribuição das chuvas ao longo do ano, visto que as áreas se enquadram no tipo de clima a duas estações: uma seca e outra úmida. O início do período chuvoso ocorre por volta do mês de outubro prolongando até abril, quando começa a se firmar o período seco, o qual se estende até setembro. A partir do mês de novembro até março observa-se o período de maior concentração de chuvas, mas é em janeiro que se registram os maiores índices pluviométricos (entorno de 300mm).

As temperaturas médias anuais variam de 22 a 26°C. As médias mais elevadas se dão nos meses de setembro-outubro e variam de 25 a 26°C. As médias mais baixas se observam nos meses de junho-julho, quando caem para 18 a 21°C. O clima da área de estudo pode ser caracterizado, de uma forma em geral, como tropical chuvoso com estações bem definidas. A distribuição pluviométrica apresenta índices superiores a 200 mm mensais entre dezembro e janeiro, de 200 a 70 mm entre fevereiro e abril e entorno de 5 mm entre maio e agosto.

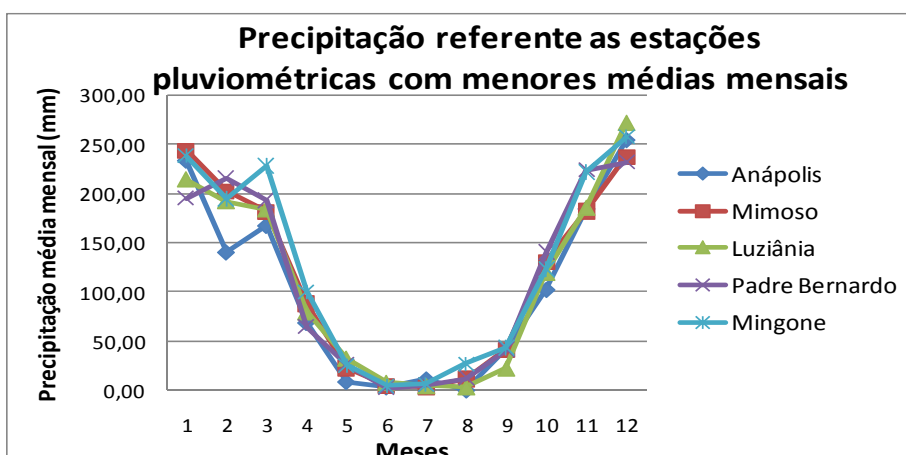


Figura 4.12 – Estações pluviométricas com menores médias mensais

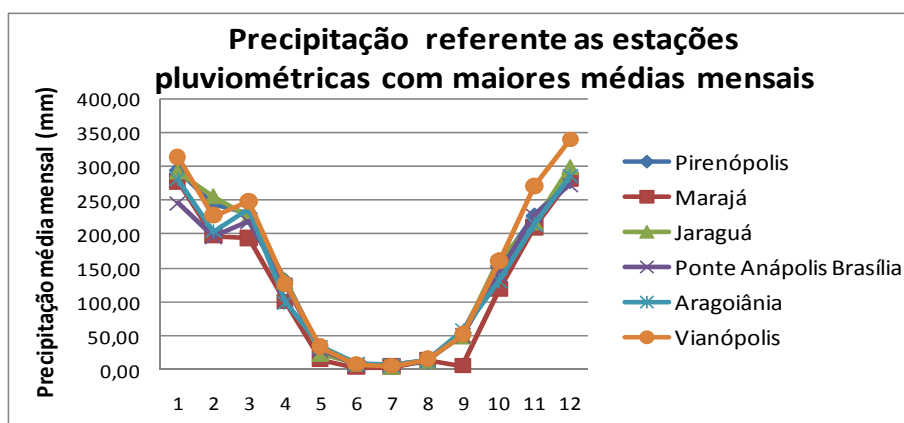


Figura 4.13 – Estações pluviométricas com maiores médias mensais

## 5. RESULTADOS E ANALISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa de acordo com a metodologia adotada.

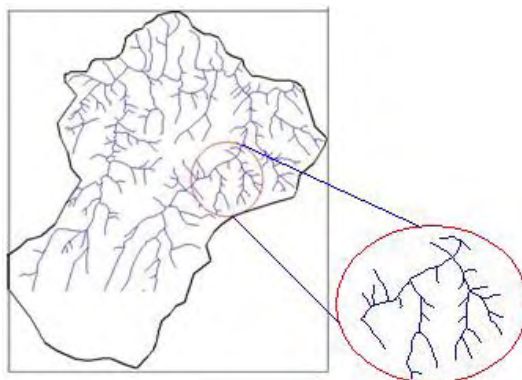
### 5.1. REDE DE DRENAGEM

Em toda a área estudada onde há predomínio de áreas urbanizadas (sub-bacia Descoberto) ocorreram alterações significativas na rede de drenagem, onde se verificou uma mudança dos padrões das drenagens, fator ocorrido na sub-bacia Alto - Corumbá. Nas sub-bacias com predomínio agrícola (sub-bacia Antas) as alterações foram menos pronunciadas.

Onde existe o predomínio do manejo agrícola (sub-bacia Ouro - Corumbá), principalmente em áreas próximas às cabeceiras, os canais de primeira ordem têm sofrido impactos, fazendo com que esses desapareçam e deixem de ser um contribuinte do Reservatório Corumbá IV.

No que se refere à densidade de drenagem, verificou-se uma baixa densidade de drenagem nas sub-bacias Pirapitinga-Sarandi e Antas, demonstrando ser um terreno poroso (maior infiltração), onde ocorre um predomínio da associação de cambissolos háplicos e associação de latossolos vermelho + latossolos vermelho – amarelo, já as demais apresentaram uma alta densidade de drenagem quando comparadas com aquelas, o que implica em terrenos de menor permeabilidade.

Também se conclui que a maioria das drenagens obtidas na área estudada pertence ao padrão dendrítico, porém na sub-bacia Pirapitinga-Sarandi se observa uma sobreposição dos padrões dendríticos com o paralelo (Figura 5.1).



**Figura 5.1** - Drenagens de padrão dendríticas

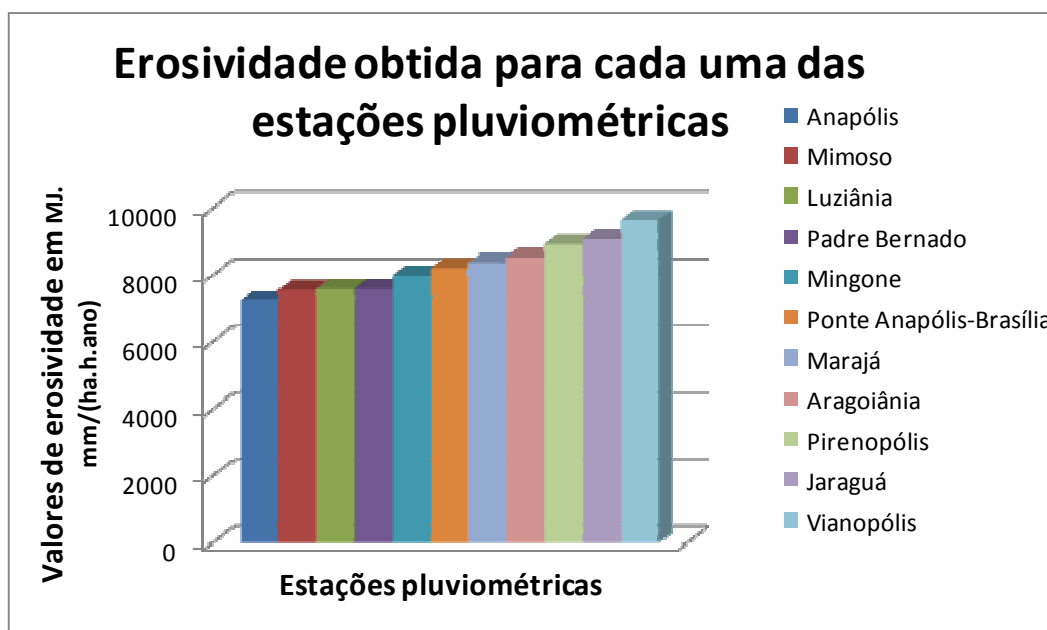
## 5.2. ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLO POR EROSIÃO LAMINAR

Para estimativa da perda de solo por erosão laminar adotou-se a Equação 2.1. Os valores de cada parâmetro da USLE foram calculados a partir dos mapas temáticos elaborados no SIG. O Sistema de Informação Geográfica utilizado foi o SPRING 4.3.3.

### 5.2.1. CARTAS DAS VARIÁVEIS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDAS DE SOLO

Para obter os valores de erosividade foi necessário adquirir dados pluviométricos. Esses dados foram obtidos da estação climatológica da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo consideradas as médias mensais totais de períodos correspondentes aos anos de 1944 a 2008, variando de estação para estação. Para efeito de cálculo foram utilizadas as Equações 2.2 e 2.3

A Tabela 5.1 mostra os valores de erosividade obtidos para cada uma das estações pluviométricas utilizadas.



**Figura 5.2** - Valores de erosividade obtidos em cada uma das estações pluviométricas

Por meio do gráfico da Figura 5.2 se pode observar que a estação denominada de Vianópolis foi a que apresentou maior valor de erosividade, portanto, as áreas que são cobertas por esta estação apresentará maiores evidências de processos erosivos, lembrando que isso dependerá de outras características presente nos locais, como por exemplo, a cobertura vegetal e o tipo de solo.

**Tabela 5.1 - Valores de precipitação média total mensal e erosividade para todas as estações estudadas**

Estações Pluviométricas		Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Anual
Pirenópolis	Período 1969 a 2007													
	Média total mensal (mm)	293,90	244,80	230,50	132,10	26,90	8,40	5,00	12,10	54,90	153,50	227,40	278,00	1667,50
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1930,08	1414,54	1276,96	495,64	33,13	4,58	1,89	8,51	111,40	639,76	1247,90	1755,95	8920,34
Marajá	Período 1984 a 2006													
	Média total mensal (mm)	277,90	198,10	194,20	99,30	15,10	3,00	3,80	14,50	4,50	118,10	210,10	280,80	1419,40
	EI30 MJ.mm/(há.h)	2012,30	1131,83	1094,22	349,86	1,23	0,91	1,36	13,28	1,81	469,80	1250,84	2048,12	8375,56
Jaraguá	Período 1964 a 2006													
	Média total mensal (mm)	292,20	255,90	225,40	130,60	23,20	8,50	4,30	13,30	48,90	162,10	217,30	298,80	1680,50
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1898,47	1515,18	1221,15	482,90	25,59	4,64	1,47	9,93	90,90	697,23	1147,49	1971,94	9066,89
Luziânia	Período 1949 a 1961													
	Média total mensal (mm)	213,60	191,40	183,10	78,40	31,30	6,80	3,30	2,20	21,30	118,50	184,70	271,00	1305,60
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1381,20	1146,13	1062,92	251,34	57,77	3,94	1,15	0,57	27,43	507,28	1078,76	2070,04	7588,53
Mingone	Período 1944 a 2006													
	Média total mensal (mm)	238,00	194,30	227,40	99,60	25,20	4,50	6,00	26,20	43,30	122,70	221,40	256,80	1465,40
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1504,83	1065,88	1392,67	342,25	33,09	1,77	2,88	35,35	83,05	487,91	1330,79	1712,45	7992,92
Ponte Anápolis Brasília	Período 1944 a 1947													
	Média total mensal (mm)	245,50	196,20	218,90	124,70	29,10	7,80	6,70	13,40	50,40	140,80	227,10	272,40	1533,00
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1526,67	1042,91	1256,25	482,65	40,67	4,33	3,35	10,88	103,46	593,31	1337,29	1821,84	8223,61
Vianópolis	Período 1944 a 2006													
	Média total mensal (mm)	313,80	227,50	248,30	126,30	33,40	6,90	5,70	15,60	51,30	159,90	270,60	339,10	1798,40
	EI30 MJ.mm/(há.h)	2022,37	1171,07	1358,86	430,62	44,86	3,07	2,22	12,30	93,09	643,07	1572,80	2308,20	9663,32
Anápolis	Período 1944 a 1947													
	Média total mensal (mm)	233,10	140,00	166,90	68,50	8,60	3,10	11,10	0,00	41,60	102,00	184,20	253,90	1231,00
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1705,72	716,97	966,63	212,69	6,24	1,10	9,64	0,00	91,10	418,51	1143,09	1972,49	7244,18
Mimoso	Período 1973 a 2007													
	Média total mensal (mm)	243,30	202,50	181,20	87,70	22,40	4,00	2,60	10,90	40,60	130,10	181,90	237,40	1344,30
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1681,08	1227,37	1018,63	296,65	29,14	1,56	0,75	8,57	80,10	579,98	1025,33	1612,37	7561,53
Padre Bernardo	Período 1986 a 2007													
	Média total mensal (mm)	194,60	215,00	192,70	64,00	24,90	1,70	4,20	11,80	40,60	139,70	223,50	231,50	1344,20
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1150,05	1362,45	1131,03	173,65	34,89	0,36	1,70	9,80	80,10	654,65	1455,28	1544,94	7598,90
Aragoiânia	Período 1973 a 2006													
	Média total mensal (mm)	279,80	204,00	237,90	98,50	33,40	7,70	6,40	13,30	57,20	131,20	214,20	284,50	1563,90
	EI30 MJ.mm/(há.h)	1864,47	1095,63	1422,86	317,78	50,54	4,17	3,05	10,56	126,14	517,34	1190,38	1928,55	8531,47

Analisando a Tabela 5.1 se verifica que os maiores índices de precipitação corresponderam aos meses de dezembro e janeiro, portanto, apresentando maiores possibilidades nesses meses de sofrer erosão, uma vez que a maior erosividade nesses meses contribui para tal fenômeno.

### 5.2.1.1. CARTA DE EROSIVIDADE – FATOR R

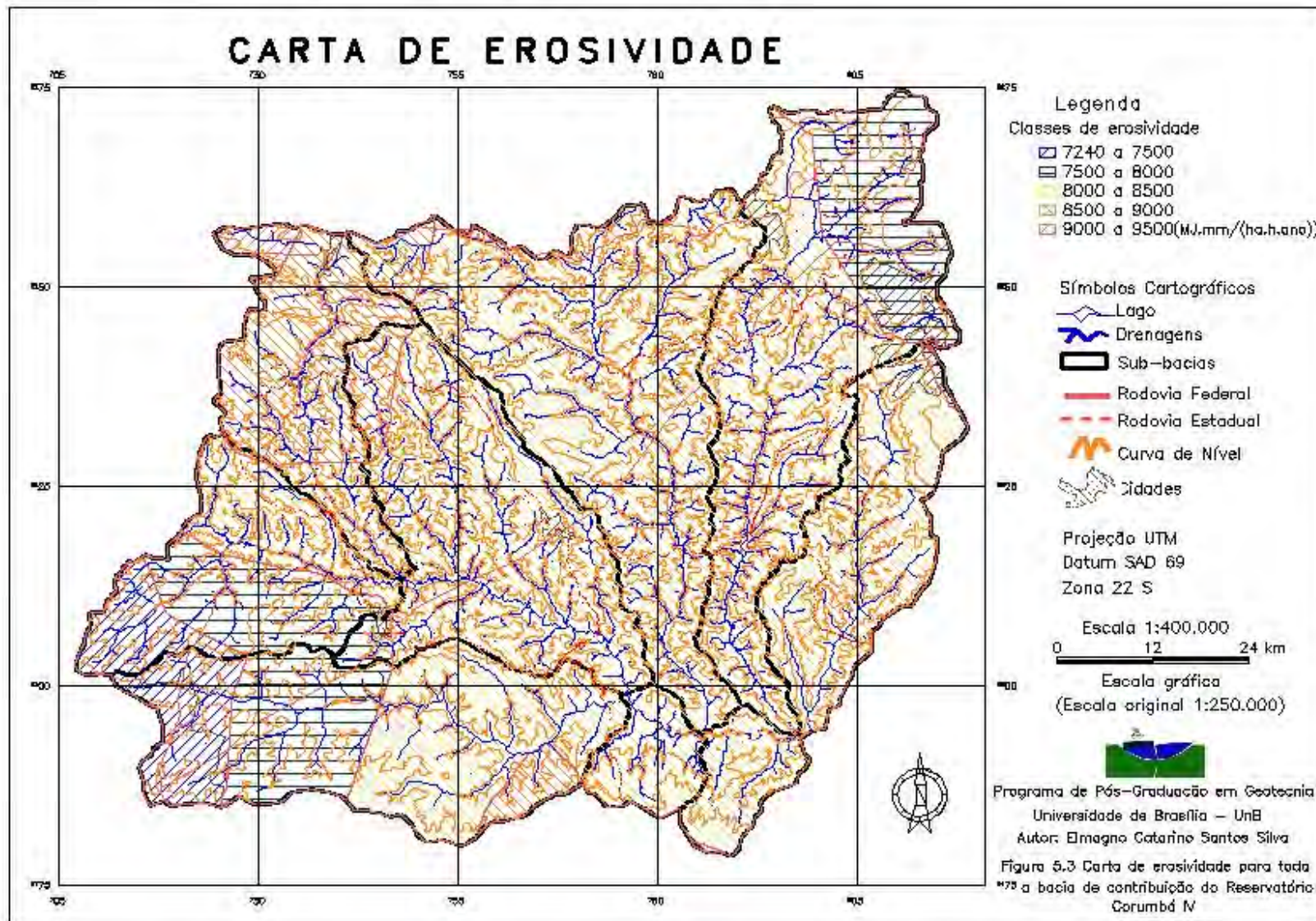
Para elaboração da carta de erosividade foram definidas seis classes temáticas baseadas nos valores numéricos da grade de erosividade obtida. O objetivo principal foi verificar os locais que as chuvas teriam maior ou menor capacidade de provocar erosão. A Tabela 5.2 mostra os intervalos correspondentes desses valores para a área de cada sub-bacia estudada.

**Tabela 5.2 - Intervalos de erosividade (MJ. mm/(ha.h.ano)) definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

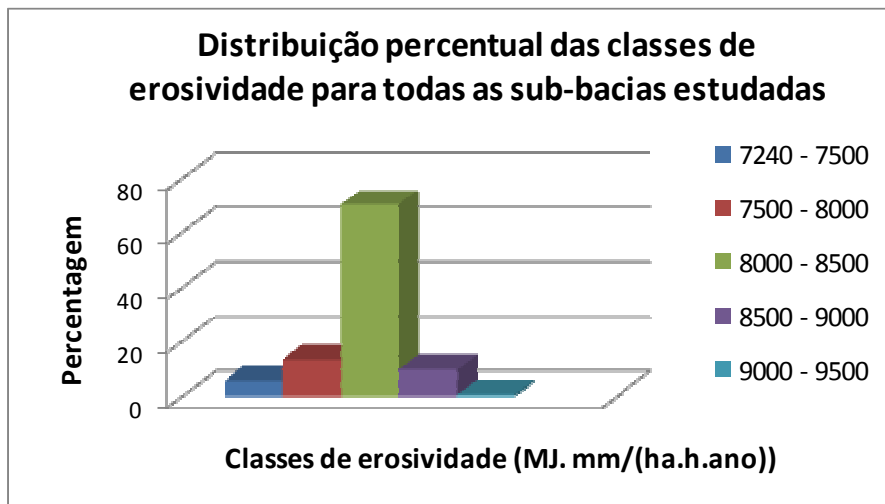
Sub-bacias	Classes	1	2	3	4	5	6
	Intervalos	7240 - 7500	7500 - 8000	8000 - 8500	8500 - 9000	9000 - 9500	Total
Alagado	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	13,87	600,54	0,12	0,00	614,53
	Área em %	0,00	2,26	97,72	0,02	0,00	100
Alto - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	115,49	421,97	45,36	582,85
	Área em %	0,00	0,00	19,81	72,40	7,78	100
Antas	Área em Km <sup>2</sup>	226,89	274,66	532,45	61,72	0,00	1095,72
	Área em %	20,70	25,07	48,60	5,63	0,00	100
Areias	Área em Km <sup>2</sup>	2,00	2,16	1332,08	74,84	5,57	1419,65
	Área em %	0,14	0,15	93,83	5,27	0,39	100
Areias-Antas	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	167,61	0,79	0,00	168,40
	Área em %	0,00	0,00	95,53	4,47	0,00	100
Capivari	Área em Km <sup>2</sup>	172,86	224,04	230,62	18,36	0,00	645,88
	Área em %	26,76	34,70	35,70	2,84	0,00	100
Descoberto	Área em Km <sup>2</sup>	0,52	340,09	956,64	0,20	0,00	1297,45
	Área em %	0,04	26,21	73,73	0,01	0,00	100
Ouro - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	87,27	821,92	109,94	0,00	1019,13
	Área em %	0,00	8,56	80,65	10,79	0,00	100
Pirapitinga-Sarandi	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	0,00	164,86	3,64	0,00	168,5
	Área em %	0,00	0,00	97,84	2,16	0,00	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área em Km<sup>2</sup></b>	<b>402,27</b>	<b>942,09</b>	<b>4922,21</b>	<b>691,58</b>	<b>50,93</b>	<b>7009,08</b>

Na Figura 5.4 se pode observar que para todas as sub-bacias estudadas há um predomínio da classe de erosividade que vai de 7500 – 8500 MJ. mm/(ha.h.ano), ou seja, aproximadamente 70% de toda a área. Pode-se ainda inferir por meio da Carta de Erosividade (Figura 5.3) que os valores mais baixos de erosividade ocorrem em áreas de relevo dissecado. Isso pode ocorrer devido às barreiras geomorfológicas que de uma forma geral pode intervir na distribuição da precipitação em regiões de chapadas.





**Figura 5.3** - Carta de erosividade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

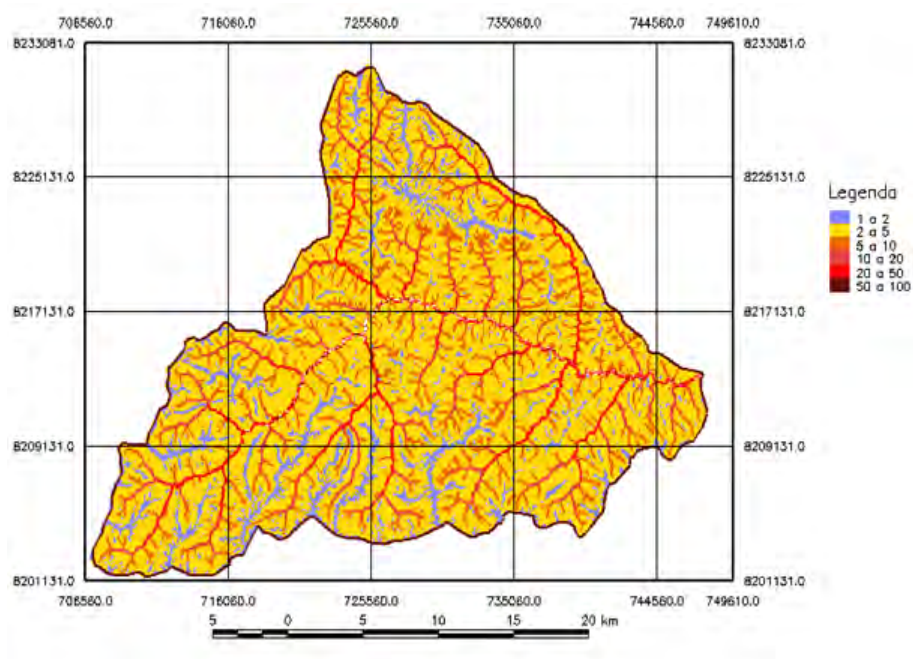


**Figura 5.4** – Percentuais obtidos das classes de erosividade

### 5.2.1.2. CARTA DO FATOR TOPOGRÁFICO – LS

Para obter os valores de LS a serem utilizados como uma das variáveis da equação de perdas de solos foi testada duas metodologias: Foster, *et al.*, (1981) e Moore & Burch (1986), expressa respectivamente pelas Equações 2.6 e 2.7.

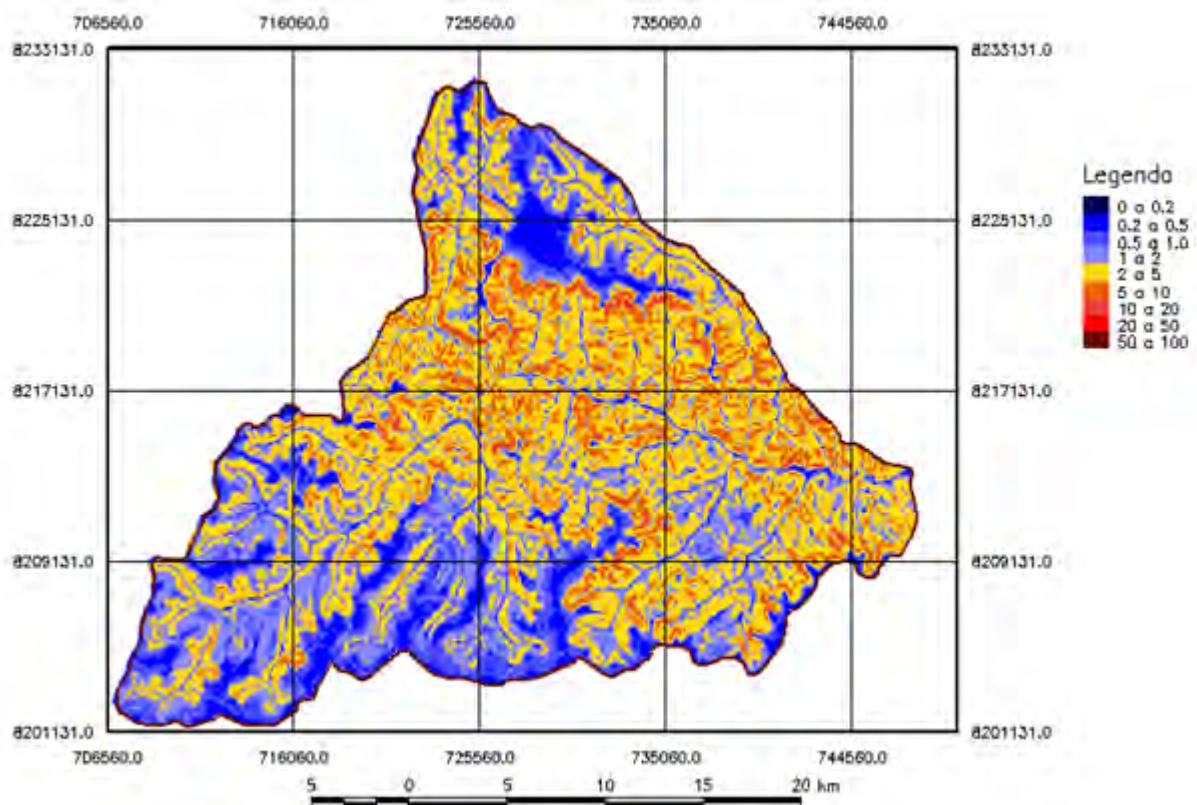
A metodologia proposta por Moore & Burch (1986) não permitiu uma boa descrição dos locais onde as vertentes são mais acentuadas e de maior declividade (Figura 5.5), fato ocorrido em todas as sub-bacias.



**Figura 5.5** – Carta representando fatores de relevo (LS) obtido pela metodologia de Moore & Burch (1986).

Já no caso em que foi aplicada a metodologia de Foster, *et al.*, (1981) a carta do fator LS (Figura 5.6) permitiu uma melhor discriminação nos locais onde as vertentes são mais acentuadas e de maior declividade, uma melhor descrição dos divisores de água e dos canais de drenagens.

Sendo assim, se optou em usar a metodologia de Foster, *et al.*, (1981) para obter a grade com os devidos valores de LS e a ser utilizada na equação de perdas de solo.



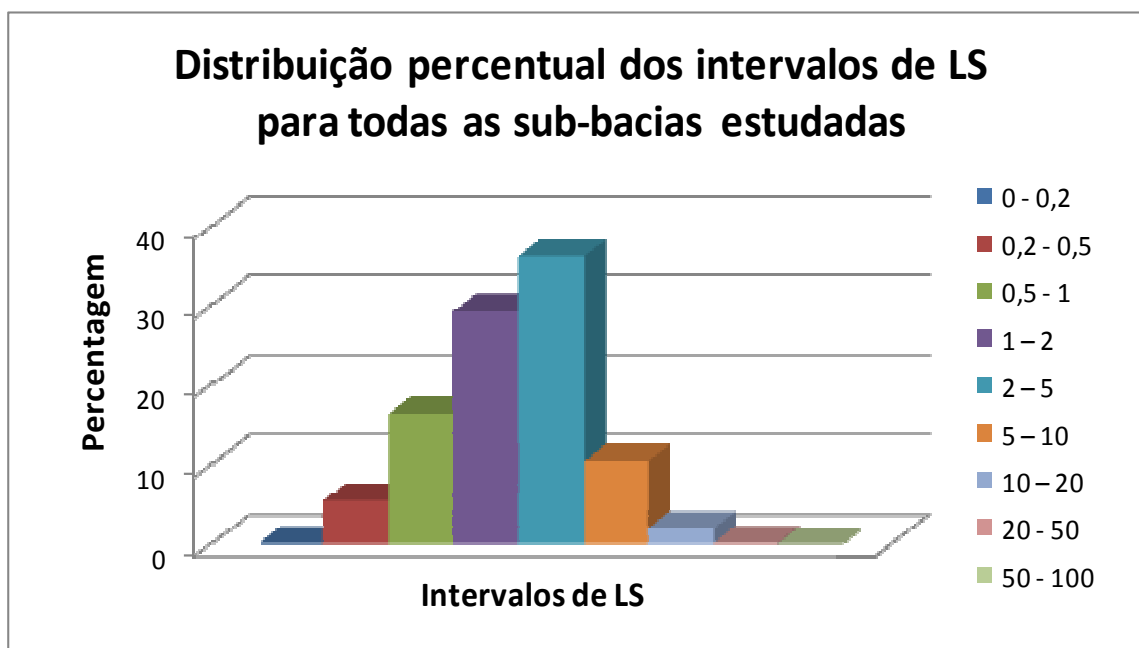
**Figura 5.6** – Carta representando fatores de relevo (LS) obtido pela metodologia de Foster, *et al.* (1981).

A carta do fator topográfico - LS (Figura 5.8) foi elaborada com objetivo principal de representar o relevo para uma unidade de área em declive qualquer em relação ao comprimento de rampa desta área. A Tabela 5.3 mostra os intervalos (adimensional) correspondentes desses valores para a área de todas as sub-bacias estudada.

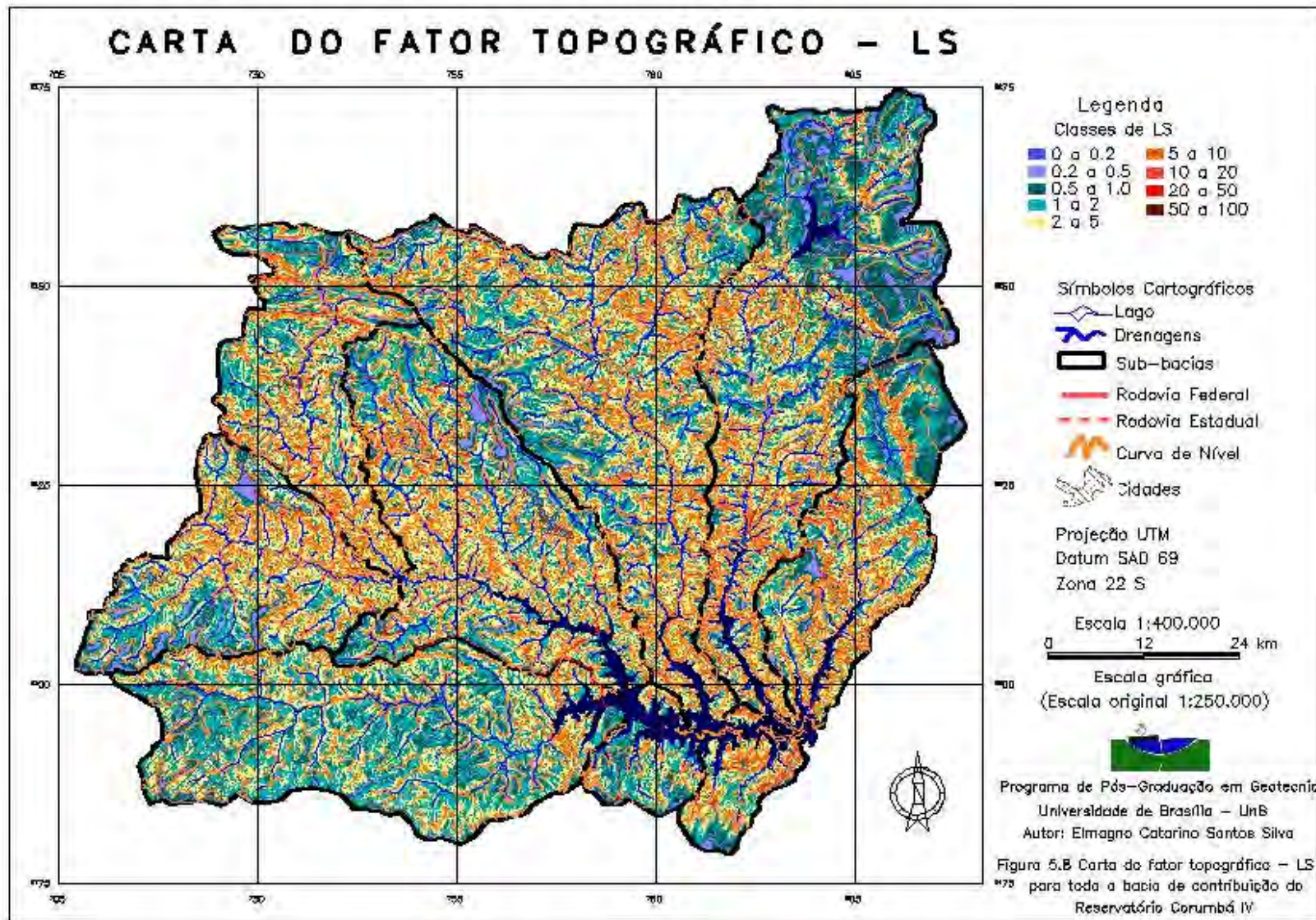
**Tabela 5.3 – Intervalos de LS (adimensional) definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

SUB-BACIAS	Classes Intervalos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Total
		0-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2	2-5	5-10	10-20	20-50	50-100	
Alagado	Área em Km <sup>2</sup>	0,01	27,83	111,40	116,93	199,33	86,87	25,68	2,93	0,00	615,805
	Área em %	0,00	4,52	18,09	26,30	32,37	14,08	4,17	0,47	0,00	100
Alto - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	0,02	16,67	68,82	162,51	241,18	76,64	15,10	2,89	0,02	583,85
	Área em %	0,00	2,85	11,79	27,83	41,30	13,12	2,58	0,50	0,00	100
Antas	Área em Km <sup>2</sup>	0,01	39,83	190,88	446,00	360,74	51,30	7,46	0,52	0,00	1096,74
	Área em %	0,00	3,63	17,40	40,66	32,90	4,67	0,80	0,05	0,00	100
Areias	Área em Km <sup>2</sup>	0,09	47,11	169,58	423,49	568,27	177,36	34,54	1,31	0,00	1421,75
	Área em %	0,01	3,31	11,93	29,78	39,97	12,47	2,43	0,09	0,00	100
Areias-Antas	Área em Km <sup>2</sup>	0,17	8,90	34,15	62,17	53,20	9,14	1,56	0,06	0,00	168,784
	Área em %	0,01	5,03	20,23	36,83	31,52	5,41	0,92	0,03	0,00	100
Capivari	Área em Km <sup>2</sup>	0,12	48,24	94,51	162,40	262,53	72,17	6,85	0,04	0,00	646,862
	Área em %	0,02	7,45	14,61	25,10	40,58	11,15	1,06	0,01	0,00	100
Descoberto	Área em Km <sup>2</sup>	2,96	140,75	317,32	336,88	365,82	111,62	23,06	1,14	0,00	1299,55
	Área em %	0,23	10,83	24,42	25,92	28,15	8,59	1,77	0,08	0,00	100
Ouro - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	0,50	55,27	134,15	297,33	400,14	114,34	18,40	0,46	0,00	1020,59
	Área em %	0,05	5,41	13,14	29,13	39,20	11,20	1,80	0,05	0,00	100
Pirapitinga-Sarandi	Área em Km <sup>2</sup>	0,00	4,44	16,09	36,47	67,62	30,35	10,45	1,70	0,02	168,95
	Área em %	0,00	2,63	10,00	21,88	40,02	18,26	6,18	1,01	0,01	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área em Km<sup>2</sup></b>	<b>3,87</b>	<b>389,04</b>	<b>1136,90</b>	<b>2044,18</b>	<b>2518,83</b>	<b>729,79</b>	<b>143,10</b>	<b>11,05</b>	<b>0,04</b>	<b>6976,80</b>

Analisando a Tabela 5.3 se verifica que os intervalos de LS (adimensional) correspondente a 1-2 e 2-5 juntos predominam em aproximadamente 66% de toda a área estudada, o que permite dizer que estas áreas são mais sujeitas a erosão laminar, devido às maiores extensões do terreno e maiores velocidades das enxurradas.



**Figura 5.7 - Percentuais obtidos dos intervalos de LS (adimensional)**



**Figura 5.8** - Carta do fator topográfico - LS para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

### 5.2.1.3. CARTA DE ERODIBILIDADE – FATOR K

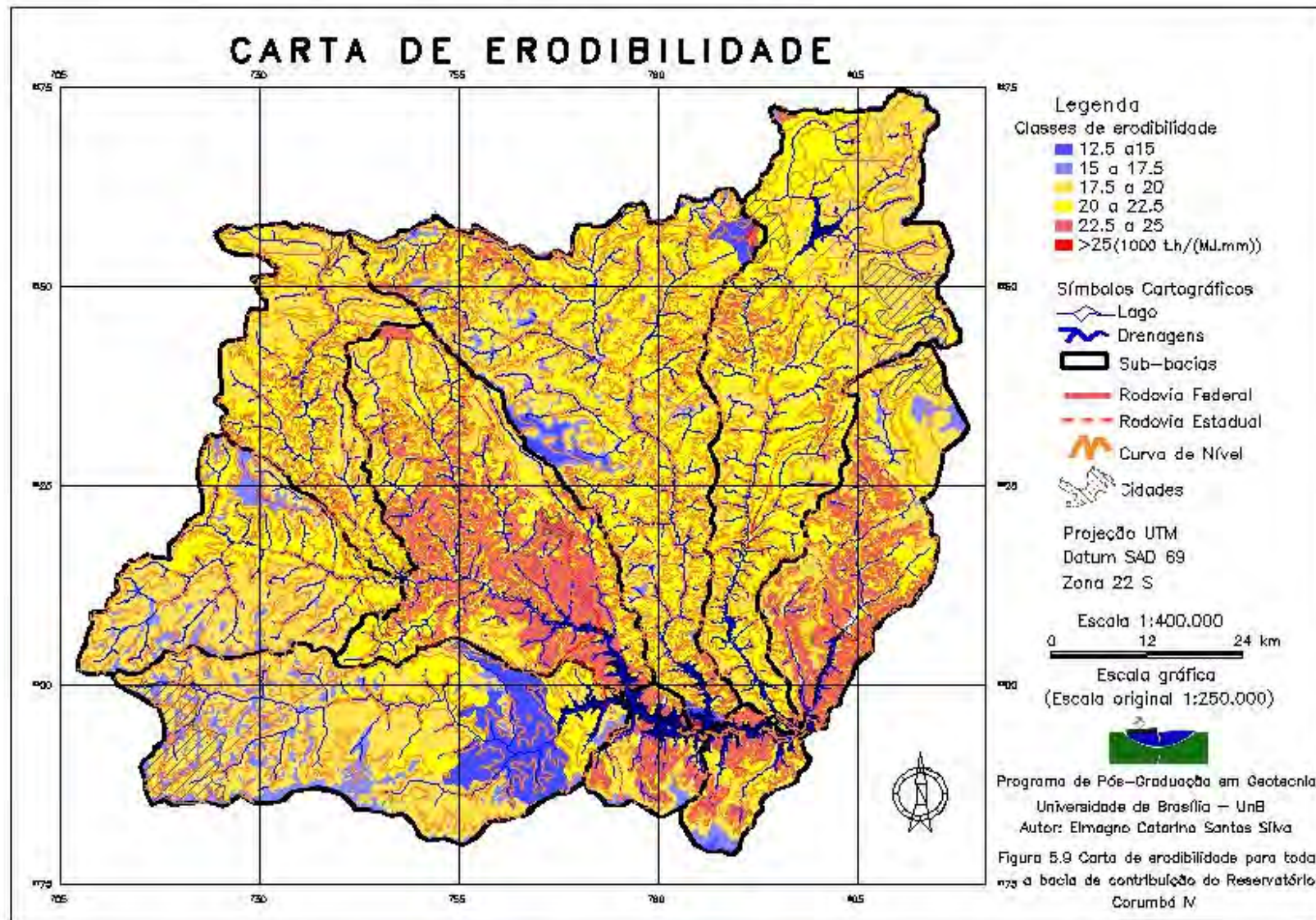
O resultado da espacialização de K está diretamente relacionado às classes pedológicas presentes na área de estudo e aos valores obtidos no cálculo de ponderação por meio do programa Legal (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico)

A Tabela 5.4 mostra a distribuição das classes de erodibilidade para todas as sub-bacias. Os intervalos de 12,50 a 15,00 foram considerados de erodibilidade muito baixa, de 15,00 a 17,50 baixa, de 17,50 a 20,00 moderada, de 20,00 a 22,50 média, de 22,50 a 25,00 alta e >25,00 muito alta.

**Tabela 5.4** - Classes de erodibilidade ( $10^3\text{t.h}/(\text{MJ.mm})$ ) distribuída para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV

Sub-bacias	Classes de Erodibilidade	12,50 – 15,00	15,00 – 17,50	17,50 – 20,00	20,00 – 22,50	22,50 – 25,00	>25,00	Total
Alagado	Área em Km <sup>2</sup>	1,06	23,15	186,15	185,80	214,50	0,00	610,66
	Área em %	0,17	3,80	30,48	30,42	35,13	0,00	100
Alto - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	2,24	2,09	239,42	289,23	45,01	0,17	578,16
	Área em %	0,39	0,36	41,41	50,02	7,78	0,03	100
Antas	Área em Km <sup>2</sup>	159,13	174,62	598,23	164,08	0,18	0,00	1096,24
	Área em %	14,51	15,93	54,57	14,97	0,02	0,00	100
Areias	Área em Km <sup>2</sup>	68,85	86,05	394,68	752,07	117,77	2,51	1421,93
	Área em %	4,84	6,05	27,76	52,89	8,28	0,18	100
Areias-Antas	Área em Km <sup>2</sup>	2,20	8,73	39,20	34,08	84,61	0,00	168,82
	Área em %	1,30	5,17	23,22	20,18	50,13	0,00	100
Cativari	Área em Km <sup>2</sup>	7,43	82,47	357,58	199,32	0,00	0,00	646,80
	Área em %	1,15	12,75	55,28	30,82	0,00	0,00	100
Descoberto	Área em Km <sup>2</sup>	14,77	12,83	424,40	803,64	43,97	0,00	1299,61
	Área em %	1,13	0,98	32,65	61,84	3,40	0,00	100
Ouro - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	5,02	4,16	171,16	389,99	450,11	0,00	1020,44
	Área em %	0,49	0,41	16,77	38,22	44,11	0,00	100
Pirapitinga – Sarandi	Área em Km <sup>2</sup>	5,66	12,84	34,17	44,36	70,38	1,51	168,92
	Área em %	3,35	7,60	20,23	26,26	41,66	0,90	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área em Km<sup>2</sup></b>	<b>266,36</b>	<b>406,94</b>	<b>2444,99</b>	<b>2862,57</b>	<b>1026,53</b>	<b>4,19</b>	<b>7011,58</b>

Analisando a Tabela 5.4 se verifica que há um predomínio das classes de erodibilidade correspondente a 20,00 - 22,50 ( $10^3\text{t.h}/(\text{MJ.mm})$ ), ou seja, 41% de toda a área apresentam média susceptibilidade em sofrer erosão. Os solos com maior capacidade de sofrer erosão laminar correspondem principalmente à associação de cambissolos háplico Tb típico textura média cascalhenta + argissolo vermelho distrófico. Em contraposição, as áreas com menor erodibilidade se encontram em sua maioria nos planaltos e platôs e corresponde aos latossolos vermelho + vermelho - amarelo ambos distrófico.



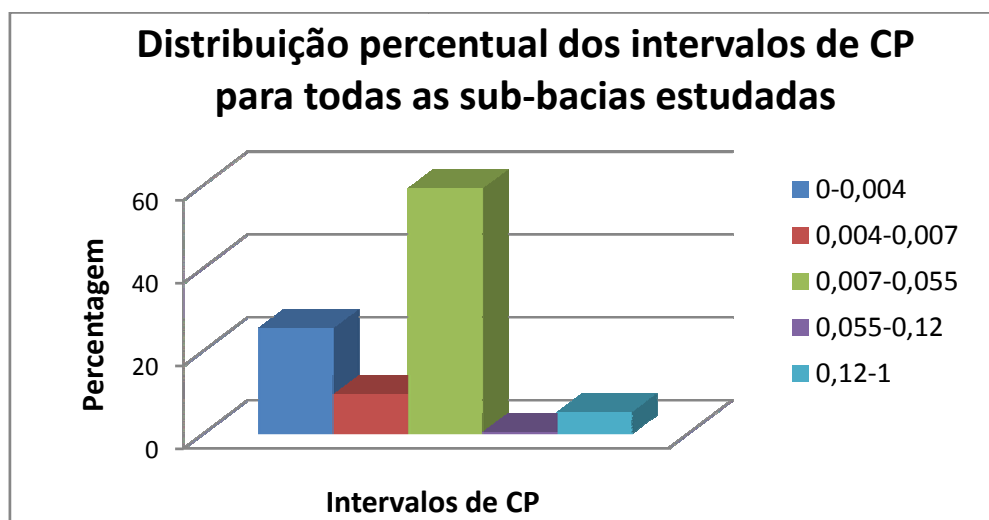
**Figura 5.9** - Carta de erodibilidade para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

### 5.2.1.4. CARTA DO FATOR DE USO E MANEJO DO SOLO E PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS - CP

Os valores de CP foram hierarquizados em cinco (5) intervalos, mostrados na Tabela 5.5 juntamente com a área total para cada sub-bacia e para a bacia toda. Esses intervalos foram definidos a partir das classes de uso e cobertura do solo presentes em toda a área de estudo.

**Tabela 5.5 - Intervalos de CP definidos para toda a bacia de contribuição do Corumbá IV**

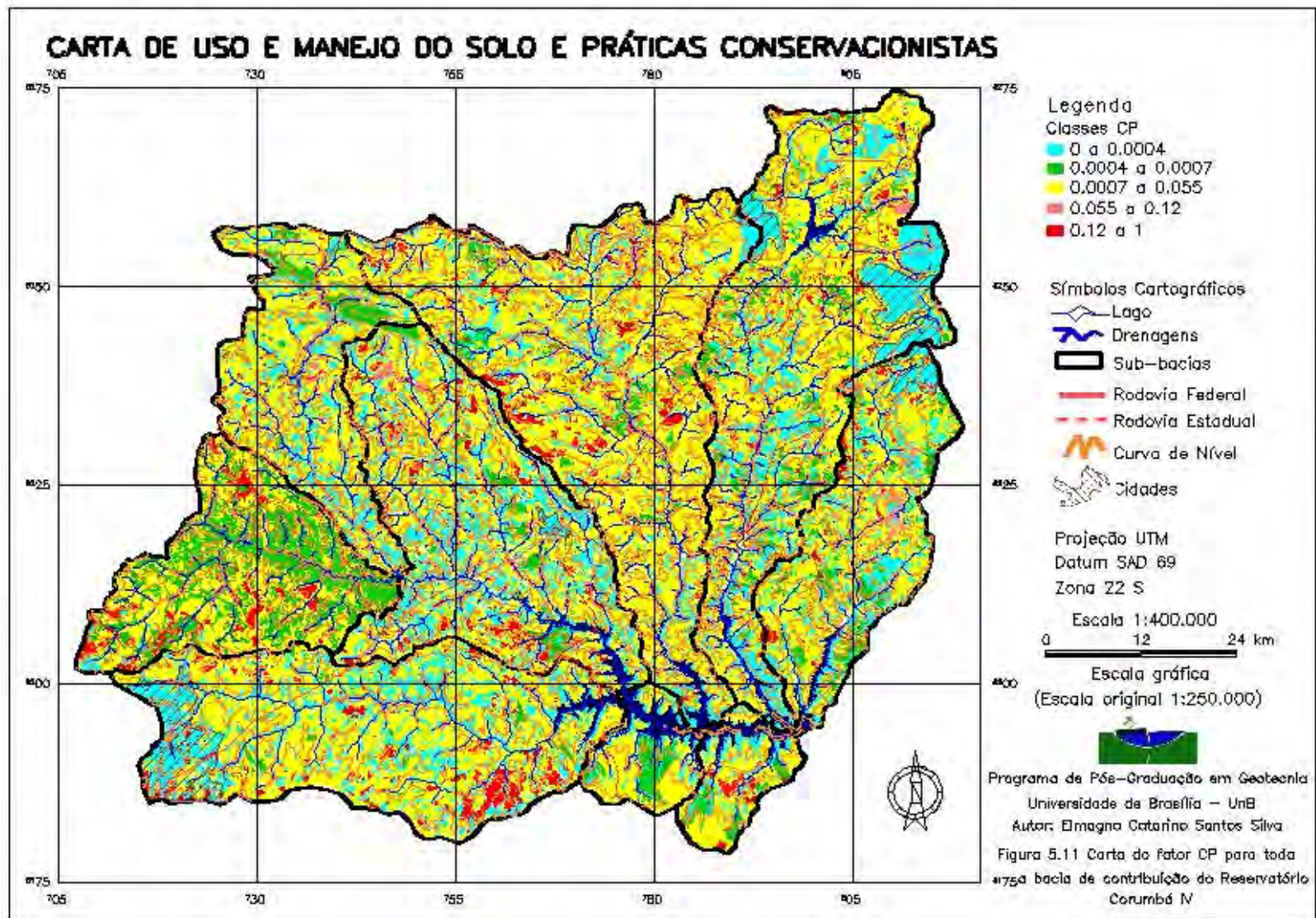
Sub-bacias	Intervalos	0-0,004	0,004-0,007	0,007-0,055	0,055-0,12	0,12-1	Total
Alagado	Área Km <sup>2</sup>	171,62	62,50	329,92	17,61	25,00	606,55
	Área %	28,29	10,30	54,39	2,90	4,20	100
Alto - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	151,73	42,67	366,03	2,94	9,77	573,14
	Área %	26,51	7,61	64,24	0,00	1,64	100
Antas	Área Km <sup>2</sup>	345,09	14,84	613,26	0,00	80,79	1053,99
	Área %	22,74	1,41	58,18	0,00	7,66	100
Areias - Antas	Área Km <sup>2</sup>	53,31	27,35	85,48	0,00	0,08	166,23
	Área %	32,07	16,45	51,42	0,00	0,05	100
Areias	Área Km <sup>2</sup>	230,62	44,80	996,86	0,00	81,63	1353,92
	Área %	17,03	3,31	73,63	0,00	6,03	100
Capivari	Área Km <sup>2</sup>	8,11	303,08	279,05	0,00	47,61	637,85
	Área %	1,27	47,51	43,75	0,00	7,46	100
Descoberto	Área Km <sup>2</sup>	390,60	94,06	733,71	5,21	45,97	1269,56
	Área %	31,57	6,20	58,61	0,00	3,61	100
Ouro - Corumbá	Área Km <sup>2</sup>	341,81	41,18	542,26	5,42	52,25	982,93
	Área %	34,84	4,19	55,64	0,00	5,33	100
Pirapitinga - Sarandi	Área Km <sup>2</sup>	47,01	18,65	87,40	0,00	11,58	164,65
	Área %	28,55	11,33	53,09	0,00	7,03	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área Km<sup>2</sup></b>	<b>1739,9</b>	<b>649,13</b>	<b>4033,97</b>	<b>31,18</b>	<b>354,68</b>	<b>6808,86</b>



**Figura 5.10 - Percentuais obtidos dos intervalos do fator CP**

Observando a distribuição espacial da classificação efetuada se verifica um predomínio do intervalo correspondente a 0,007 – 0,055 o equivalente a 59,25% de toda área. Quando comparada a sub-bacia Alagado com as outras se verifica uma forte influencia antrópica nessa, o que leva a concluir que aquela apresentará uma susceptibilidade à erosão maior que as demais.





**Figura 5.11** - Carta do fator CP para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

### 5.3. VALIDAÇÃO DOS VALORES DE ERODIBILIDADE

Com o intuito de obter a erodibilidade do solo e validar os valores adotados, foram coletadas amostras em vinte e dois pontos ao longo de toda a área. Com essas foram realizados os ensaios de granulometria e de caracterização química (matéria orgânica, CTC, pH em água e KCl).

Com estes ensaios realizados obteve-se uma série de parâmetros, sendo eles: percentagens de areia, silte e argila; capacidade de troca catiônica (CTC); pH em KCl e em água, matéria orgânica e outros. A Tabela 5.6 mostra os resultados obtidos das amostras de solos.

Os valores de CTC são relativamente baixos e compatíveis com a mineralogia do solo. Já o teor de matéria orgânica obtidos foi elevado.

As valores de pH, medidos em água (1:2.5) e em solução de KCl (1:1) variaram de 3,9 a 7,2, caracterizando em sua maioria como solos ácidos.

A diferença entre o pH em KCl e o pH em água, chamada de  $\Delta\text{pH}$  permite fazer uma estimativa das cargas líquidas dos solos. Portanto, se pode verificar que todas as amostras apresentam predominância de cargas negativas com exceção da amostra P122 que apresentou predominância positiva.

A partir dos valores de matéria orgânica e de textura foi possível obter os valores de erodibilidade das amostras, onde se utilizou a Equação 2.4. Sendo assim, fez-se uma relação (Tabela 5.7) dos valores de erodibilidade adotados, dos obtidos a partir das amostras, com os tipos de solos presentes em cada ponto das referidas amostras, cujo objetivo foi verificar se os valores adotados teriam compatibilidade com os obtidos.

No que se refere à validação dos resultados, verificou-se que os valores de K adotados em função da pedologia foram maiores em oito amostras, menor em quatro e se encontrou dentro do intervalo em dez, isso quando comparado com os valores de K obtidos por meio da Equação 2.4.

Em termos gerais para as sub-bacias estudadas essa validação representou o que realmente pode acontecer na prática em relação à susceptibilidade dos solos em sofrer erosão, ou seja, quais os solos erodem mais facilmente em função da pedologia.

**Tabela 5.6 - Resultados laboratoriais obtidos a partir das amostras de solo**

Amostras	Composição Granulométrica (g/kg)	pH em KCl (1:1)	pH em água (1:2,5)	CTC	Amostras	Composição Granulométrica (g/kg)	pH em KCl (1:1)	pH em água (1:2,5)	CTC		
<b>P13</b>	Areia (2 - 0,05mm)	525,00	4,10	5,00	4,30	<b>P61</b>	Areia (2 - 0,05mm)	575,00	4,10	5,40	3,80
	Silte (0,05 - 0,002mm)	150,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	200,00			
	Argila <<0,002mm	350,00					Argila <<0,002mm	225,00			
	Materia Orgânica	36,50					Materia Orgânica	29,20			
<b>P26</b>	Areia (2 - 0,05mm)	626,00	3,90	4,80	3,61	<b>P68</b>	Areia (2 - 0,05mm)	675,00	4,30	5,40	2,65
	Silte (0,05 - 0,002mm)	75,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	150,00			
	Argila <<0,002mm	300,00					Argila <<0,002mm	175,00			
	Materia Orgânica	32,70					Materia Orgânica	13,10			
<b>P33</b>	Areia (2 - 0,05mm)	575,00	4,70	5,90	5,59	<b>P71</b>	Areia (2 - 0,05mm)	425,00	4,80	5,60	3,93
	Silte (0,05 - 0,002mm)	125,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	275,00			
	Argila <<0,002mm	300,00					Argila <<0,002mm	300,00			
	Materia Orgânica	38,20					Materia Orgânica	24,10			
<b>P34</b>	Areia (2 - 0,05mm)	550,00	5,40	6,50	6,27	<b>P77</b>	Areia (2 - 0,05mm)	625,00	3,90	5,20	4,21
	Silte (0,05 - 0,002mm)	150,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	175,00			
	Argila <<0,002mm	300,00					Argila <<0,002mm	200,00			
	Materia Orgânica	38,50					Materia Orgânica	31,80			
<b>P36</b>	Areia (2 - 0,05mm)	575,00	4,20	5,10	4,64	<b>P82</b>	Areia (2 - 0,05mm)	450,00	4,20	5,00	5,72
	Silte (0,05 - 0,002mm)	100,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	175,00			
	Argila <<0,002mm	325,00					Argila <<0,002mm	375,00			
	Materia Orgânica	32,70					Materia Orgânica	42,70			
<b>P38</b>	Areia (2 - 0,05mm)	575,00	4,50	5,70	5,56	<b>P85</b>	Areia (2 - 0,05mm)	475,00	4,10	4,80	5,40
	Silte (0,05 - 0,002mm)	125,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	175,00			
	Argila <<0,002mm	300,00					Argila <<0,002mm	350,00			
	Materia Orgânica	44,40					Materia Orgânica	53,70			
<b>P42</b>	Areia (2 - 0,05mm)	600,00	6,10	7,20	6,36	<b>P98</b>	Areia (2 - 0,05mm)	575,00	5,00	6,30	5,17
	Silte (0,05 - 0,002mm)	125,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	150,00			
	Argila <<0,002mm	275,00					Argila <<0,002mm	275,00			
	Materia Orgânica	43,90					Materia Orgânica	35,30			
<b>P47</b>	Areia (2 - 0,05mm)	400,00	4,00	4,60	5,03	<b>P103</b>	Areia (2 - 0,05mm)	700,00	4,10	5,30	2,97
	Silte (0,05 - 0,002mm)	200,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	75,00			
	Argila <<0,002mm	400,00					Argila <<0,002mm	225,00			
	Materia Orgânica	35,60					Materia Orgânica	6,50			
<b>P50</b>	Areia (2 - 0,05mm)	550,00	4,20	5,60	6,45	<b>P110</b>	Areia (2 - 0,05mm)	650,00	4,10	5,40	6,68
	Silte (0,05 - 0,002mm)	175,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	75,00			
	Argila <<0,002mm	275,00					Argila <<0,002mm	275,00			
	Materia Orgânica	42,70					Materia Orgânica	46,80			
<b>P53</b>	Areia (2 - 0,05mm)	500,00	5,60	6,50	5,98	<b>P122</b>	Areia (2 - 0,05mm)	550,00	5,80	5,70	3,05
	Silte (0,05 - 0,002mm)	200,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	200,00			
	Argila <<0,002mm	300,00					Argila <<0,002mm	250,00			
	Materia Orgânica	34,10					Materia Orgânica	17,70			
<b>P58</b>	Areia (2 - 0,05mm)	675,00	4,40	5,60	4,07	<b>P134</b>	Areia (2 - 0,05mm)	525,00	4,20	5,10	3,15
	Silte (0,05 - 0,002mm)	150,00					Silte (0,05 - 0,002mm)	200,00			
	Argila <<0,002mm	175,00					Argila <<0,002mm	275,00			
	Materia Orgânica	33,00					Materia Orgânica	23,00			

**Tabela 5.7** - Valores de K ( $10^3$ t.h/MJ.mm) obtidos para as devidas amostras

Amostras	Tipo de Solo	K adotado	K 1ª instância	K final
P13	CXbd4	23,0	15,1	21,7
P26	CXbd16	24,0	14,0	20,6
P33	LVAd15	19,0	14,9	18,2
P34	LVAd15	19,0	15,8	19,1
P36	LVAd15	19,0	13,9	17,2
P38	LVAd6	16,5	13,8	17,1
P42	LVAd6	16,5	14,9	18,2
P47	CXbd13	25,0	13,7	20,3
P50	CXbd13	25,0	17,5	24,1
P53	LVd5	14,0	18,5	21,8
P58	CXbd13	25,0	23,2	29,8
P61	CXbd13	25,0	23,7	30,3
P68	CXbd6	22,0	28,5	35,1
P71	LVd1	17,2	23,9	27,2
P77	CXbd7	26,5	23,3	29,9
P82	CXbd9	23,6	12,8	19,4
P85	LVd5	14,0	11,8	15,1
P98	LVAd2	17,4	17,5	20,8
P103	CXbd22	21,0	22,6	29,2
P110	CXbd18	25,9	12,7	19,3
P122	LVAd6	16,5	27,0	28,9
P134	CXbd4	23,0	22,3	30,3

Observando os resultados acima citados se verifica valores correspondentes a três tipos de K. Tanto o K de primeira instância como o K final foram obtidos por meio da Equação 2.4. Para obter o K de primeira instância adotou a estrutura do solo como granular fina e o perfil de permeabilidade moderado, enquanto que para obter o K final adotou o perfil de permeabilidade lento a moderado, permanecendo com o mesmo valor para a estrutura do solo.

Vale ressaltar que o perfil de permeabilidade considerado para os latossolos foi lento a moderado (4) e para os cambissolos foi lento (5).

Sendo assim, se verificou na tabela acima que para os tipos de solos presentes nas sub-bacias, os valores estimados apresentaram boa relação quando comparados com os obtidos a partir dos ensaios realizados, pois os mesmos se encontraram numa ordem bem próximos.

#### **5.4. CARTA DE EROÇÃO LAMINAR POTENCIAL**

As classes da Carta de Erosão Laminar Potencial foram definidas por faixas de valores calculados em ( $10^3$ t/(ha.ano) e agrupadas em categorias denominadas de muito baixa (12,50 – 15,00), baixa (15,00 – 17,50), moderada (17,50 – 20,00), média (20,00 – 22,50), alta (22,50 –

25,00) e muito alta susceptibilidade a erosão (>25,00). A Tabela 5.8 demonstra as áreas de cada uma das sub-bacias estudadas.

**Tabela 5.8** - Classes de perdas de solo ( $10^3t/(ha.ano)$ ) distribuída para todas as sub-bacias

Sub-bacias	Classes de Perdas de Solo	Muito baixa	Baixa	Moderada	Média	Alta	Muito alta	Total
Alagado	Área em Km <sup>2</sup>	289,29	11,46	12,02	17,71	24,38	254,10	608,96
	Área em %	47,50	1,88	1,97	2,91	4,00	41,72	100
Alto - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	218,88	9,68	9,47	9,68	16,66	273,59	537,96
	Área em %	40,69	1,80	1,76	1,80	3,09	50,85	100
Antas	Área em Km <sup>2</sup>	600,91	47,14	49,11	51,12	38,60	259,70	1046,58
	Área em %	57,42	4,50	4,70	4,88	3,70	24,81	100
Areias	Área em Km <sup>2</sup>	607,79	37,34	38,46	42,27	49,59	646,46	1421,91
	Área em %	42,74	2,62	2,70	2,97	3,50	45,46	100
Areias-Antas	Área em Km <sup>2</sup>	81,46	3,24	3,28	3,80	3,98	68,54	164,30
	Área em %	49,58	1,97	2,00	2,31	2,42	41,72	100
Capivari	Área em Km <sup>2</sup>	417,61	16,37	18,38	26,53	23,00	122,40	624,29
	Área em %	66,90	2,62	2,94	4,25	3,68	19,60	100
Descoberto	Área em Km <sup>2</sup>	557,29	29,52	30,97	38,80	46,29	532,40	1235,27
	Área em %	45,11	2,40	2,50	3,14	3,75	43,00	100
Ouro - Corumbá	Área em Km <sup>2</sup>	479,73	16,65	15,53	15,67	20,47	382,31	930,36
	Área em %	51,56	1,79	1,67	1,68	2,20	41,09	100
Pirapitinga – Sarandi	Área em Km <sup>2</sup>	89,78	3,90	4,04	4,14	5,56	54,28	161,70
	Área em %	55,52	2,41	2,50	2,56	3,43	33,57	100
<b>Bacia do Corumbá IV</b>	<b>Área em Km<sup>2</sup></b>	<b>3342,74</b>	<b>175,30</b>	<b>181,26</b>	<b>209,72</b>	<b>228,53</b>	<b>2593,78</b>	<b>6731,33</b>

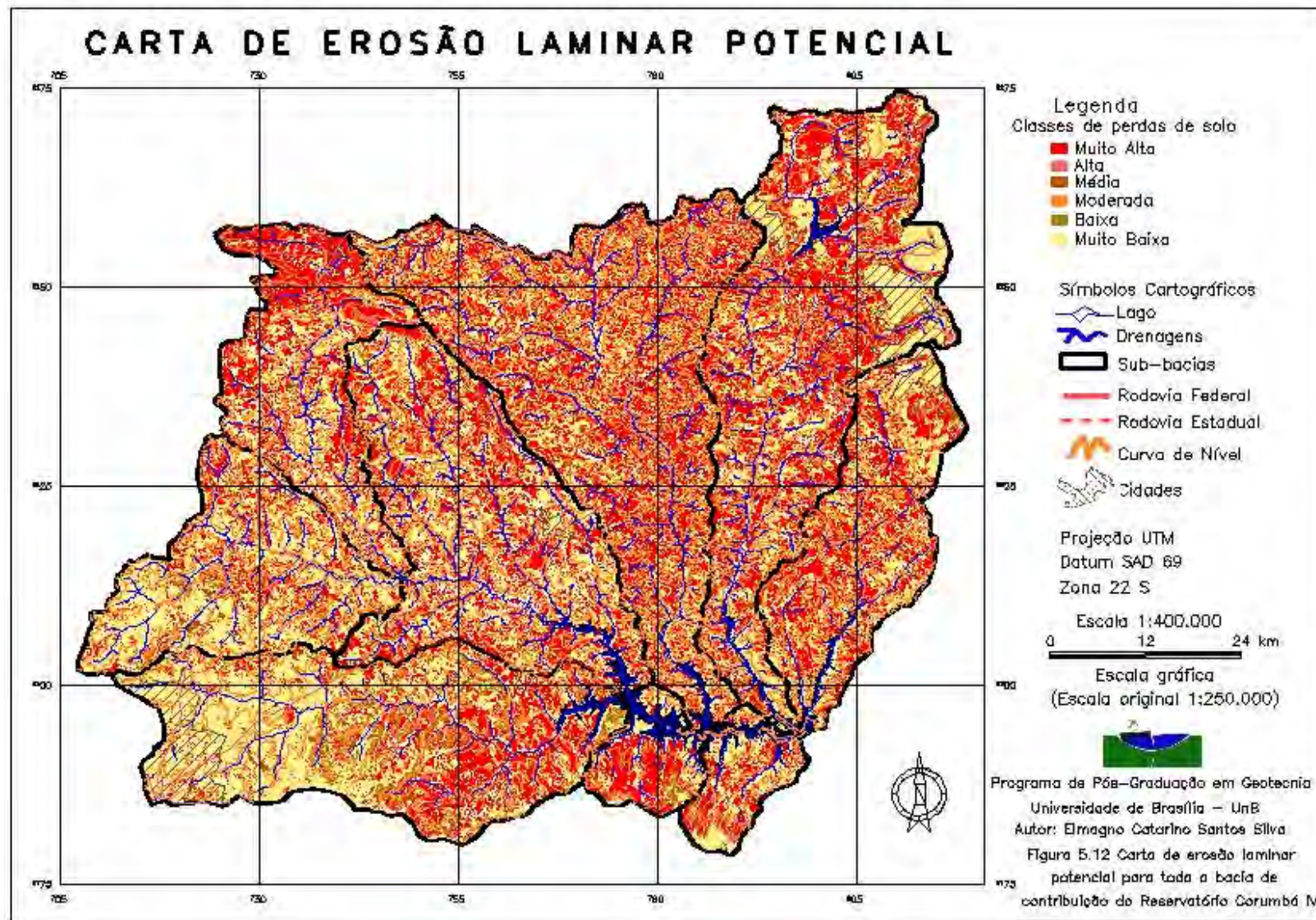
Após obter a Carta de Erosão Laminar Potencial (Figura 5.12), pode-se concluir que:

A classe de perda de solo (susceptibilidade) muito baixa à erosão apresenta uma área de 3343km<sup>2</sup> (49,67%) e se caracteriza por apresentar regiões com solos essencialmente argilosos. Essas regiões apresentam declividades entre 0% e 5%;

A classe de perda de solo baixa à erosão apresenta 176km<sup>2</sup> (2,60%) de área, sendo representada por regiões com ocorrência de solos argilosos com espessuras bastante elevadas. Além disso, podem ocorrer também solos arenosos transportados devido o processo de lixiviação sofrido pelos solos. As declividades desta classe giram entorno de 10%.

A classe de perda de solo moderada abrange 181km<sup>2</sup> (2,69%) de área, sendo representada por regiões com relevo ondulado e escoamento superficial médio ou rápido dependendo do tipo de solo. As declividades desta classe variam de 5 a 10%.

A classe de perda de solo média abrange 210km<sup>2</sup> (3,12%) de área, apresentando textura predominantemente arenosa e espessuras elevadas. Relevo muito ondulado e correspondem às cabeceiras de drenagens. As declividades variam de 10 a 20%.



**Figura 5.12** - Carta de erosão laminar potencial para toda a bacia de contribuição do Reservatório Corumbá IV

A classe de perda de solo alta à erosão abrange 229km<sup>2</sup> (3,41%) de área, sendo representada por regiões de relevo fortemente ondulado e corresponde a materiais arenosos com espessuras que variam de 3 a 5 metros. Os valores de declividade encontram-se entre 10 e 30%.

A Classe de perda de solo muito alta à erosão abrange 2594km<sup>2</sup> (38,54%) de área, representada por porção do relevo com declive fortemente ondulado e vertente bastante inclinada, apresentando escoamento muito rápido. Os valores de declividade encontram-se entre 30 e 40%.

Considerando as classes de perdas de solo à erosão obtidas na área de estudo em questão com os principais tipos de uso e cobertura do solo existentes na área de estudo, podemos dizer que:

Áreas com mata galerias ocorrem em regiões com diferentes susceptibilidades à erosão. Portanto, se deve ter bastante atenção caso esta área seja usada para alguma atividade antrópica.

As regiões que apresenta reflorestamento de eucalipto e pinheiros (silvicultura) estão quase que totalmente inseridas nas classes de muito baixa susceptibilidade (perda) à erosão, devendo-se provavelmente a este fato o tipo de manejo adotado nesta atividade. O relevo nestas áreas é típico dos planaltos retocados, apresentando superfícies planas e redes de canais de baixa densidade. Este tipo de atividade está presente em maior quantidade na sub-bacia Descoberto.

A partir da tabulação cruzada das classes de uso e cobertura do solo com as classes de erodibilidade observou-se que a classe de campo sujo, que ocupa cerca de 33% de toda a área, apresenta 68% de sua área com erodibilidade de média a alta, o que corresponde aos valores de 20,0 a 25,0 (10<sup>3</sup>t.h/MJ.mm). A classe de campo limpo, que ocupa cerca de 27% de toda a área, apresenta 35% de sua área com erodibilidade de média a alta. A classe de mata galeria, que ocupa cerca de 23% de toda a área, apresenta 67% de sua área com erodibilidade de média a alta. A classe de cerrado, que ocupa cerca de 6% de toda a área, apresenta 66% de sua área com erodibilidade de média a alta.

De toda a área 55% possuem erodibilidade média a alta, sendo que 93% dessa área (52% da área total) se encontram nas áreas preservadas com cerrado, mata galeria, campo sujo e campo

limpo. Razão pela qual essas áreas devem ser preservadas, pois caso sejam degradadas poderão gerar uma grande perda de solo e assim levar ao rápido assoreamento do reservatório.

Quando comparado, por tabulação cruzada, as perdas de solo com as classes de uso e cobertura do solo se verificam que as matas galerias apresentam 45% de perdas de solo muito baixa, o campo limpo apresenta 50% e o campo sujo 42% de baixas perdas de solo.

Comparando as perdas de solo com o fator erodibilidade, pode-se verificar que as perdas média, alta e muito alta se encontra com cerca de 80% de erodibilidade de moderada a média, o que compreende ao intervalo de 17,5 a 22,5 ( $10^3$ t.h/MJ.mm) e 74% de perdas de solo baixa a moderada com erodibilidade também de moderada a média. As perdas de solo muito baixa apresenta com 27% de erodibilidade moderada, 37% de erodibilidade média e 26% de erodibilidade alta.

Nas áreas de pastagem são onde ocorrem preferencialmente as feições erosivas, pois os animais de pequeno e alto porte acabam criando caminhos para locomoção, muitas vezes em busca de alimento (melhores pastos e água).

Nas áreas com solo exposto incluem também as áreas de plantio e colheita, onde o solo é bastante prejudicado, sofrendo intensas adubações, devido à rotação de culturas (procedimento adotado para evitar doenças). Portanto, merece atenção no que diz respeito a processos erosivos.

Por fim o avanço das cidades é outro problema que gera preocupação não só relacionado com as erosões como também ambiental na área estudada, pois proprietários de terra devastam as áreas nativas para construir casas e áreas de lazer. Essa classe se encontra entre uma susceptibilidade média a alta.



## **6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **6.1. CONCLUSÕES**

- O programa Spring versão 4.3.3 demonstrou desempenho satisfatório durante a elaboração das cartas e mapas, assim como, no tratamento de imagens satélites;
- O uso do sistema de informações geográficas SIG como ferramenta no gerenciamento de dados, demonstrou viabilidade de uso na obtenção dos produtos cartográficos;
- O banco de dados criado no programa computacional Spring 4.3.3 foi bastante importante no desenvolvimento da pesquisa, no qual permitiu atingir o objetivo principal deste trabalho, sendo que o mesmo poderá ser utilizado em trabalhos futuros;
- O uso da topografia do SRTM em conjunto com imagem Cbers II permitiram a obtenção de uma rede de drenagem confiável para escala regional;
- A imagem de satélite Cbers II constituiu em um instrumento satisfatório para a obtenção do mapa de uso e cobertura, em escala regional;
- As drenagens geradas a partir da topografia do SRTM permitiram juntamente com a imagem Cbers II identificar os canais principais, reconhecer alguns solos e verificar os locais de alta e baixa densidade de drenagem nas sub-bacias;
- A carta hipsométrica permitiu verificar que as sub-bacias denominadas de Alagado, Descoberto e Alto – Corumbá são as que apresentam as maiores altitudes, entretanto, o intervalo de classe de 900 a 1100 metros predomina em 73% de toda a área estudada;
- Por meio da carta do fator topográfico - LS se verificou que cerca de 78% estão entre os valores de 0,5 a 5,0. No entanto, 35% se concentram no valor de LS de 2,0 a 5,0;

- Na carta de erosividade se verificou que grande parte da área, cerca de 62% tem erosividade entre 8000 e 8500 MJ.mm/(há.h.ano). A porção noroeste apresenta valores acima desse valor predominante e os extremos nordeste e sudeste valores abaixo desses;
- Por meio da carta de erodibilidade se verificou que as sub-bacias denominadas de Alagado, Pirapitinga – Sarandi, Areias - Antas e Ouro – Corumbá são as que têm maiores ocorrências de solos susceptíveis a erosão. Os maiores valores de erodibilidade ocorrem próximo do Reservatório de Corumbá IV;
- A partir da tabulação cruzada das classes de uso e cobertura do solo com as classes de erodibilidade observou-se que a classe de campo sujo, que ocupa cerca de 33% de toda a área, apresenta 68% de sua área com erodibilidade de média a alta, o que corresponde aos valores de 20,0 a 25,0 ( $10^3$ t.h/MJ.mm).
- A classe de mata galeria, que ocupa cerca de 23% de toda a área, apresenta 67% de sua área com erodibilidade de média a alta. A classe de cerrado, que ocupa cerca de 6% de toda a área, apresenta 66% de sua área com erodibilidade de média a alta.
- Foi verificado a partir da tabulação cruzada feita entre as perdas de solo e uso e cobertura do solo que as matas galerias apresentam 45% de perdas de solo muito baixa, o campo limpo apresenta 50% e o campo sujo 42% de baixas perdas de solo.
- As perdas de solo média, alta e muito alta se encontra com cerca de 80% de erodibilidade de moderada a média, o que compreende ao intervalo de 17,5 a 22,5 ( $10^3$ t.h/MJ.mm) e 74% de perdas de solo baixa a moderada com erodibilidade também de moderada a média;
- Levando em consideração as classes de perdas de solo, se pode verificar que as sub-bacias denominadas de Capivari, Antas, e Pirapitinga - Sarandi apresentaram perdas de solo muito baixa, mas em contrapartida, as sub-bacias denominadas de Alto – Corumbá, Areias e Descoberto apresentaram perdas muito alta. Como consequência disso, ocorrerá o carreamento dos sedimentos, levando ao assoreamento dos contribuintes e do Reservatório de Corumbá IV;

- Tendo em vista as perdas de solo que ocorrem na área estudada, se pode dizer que o Reservatório de Corumbá IV tem uma forte tendência em sofrer assoreamento no decorrer dos anos, portanto torna necessário fazer um estudo detalhado dos processos que levam a formação destes sedimentos.

## **6.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

- Elaborar mapas de uso ao longo do tempo e do espaço, pois este mapa auxiliará no entendimento dos processos erosivos que ocorrem de forma diferenciada a cada mês;
- Escolher uma sub-bacia e estudá-la com mais detalhe, evidenciando o desenvolvimento dos processos erosivos, visando estabelecer medidas mitigadoras para contenção dos sedimentos;
- Localizar os processos erosivos e a partir desse construir de forma econômica estruturas de contenção, evitando uma possível perda de energia nos reservatórios causada por assoreamento;
- Fazer um estudo abrangendo as erosões lineares no entorno do Reservatório de Corumbá IV;
- Validar e calibrar modelos com base nos dados de estações sedimentométricas; e
- Estudar as taxas de deposição dos sedimentos em aluviões e em reservatório para apoiar a validação e calibração dos modelos de erosão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 7181 (1984). Solo - Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, RJ, 13 p. Origem: MB-32.
- ALBUQUERQUE, A.W., CHAVES, I.B. & VASQUES FILHO, J. (1994). Características físicas da chuva correlacionadas com as perdas de solo num regolito eutrófico de Caruaru (PE). Rev. Bras. Ciência. Solo.nº.18, 279-283p.
- ALCÂNTARA, M. A. T. (1996) Aspectos geotécnicos da erodibilidade do solo. Seminários Gerais: USP/EESC.
- ANA. Agência Nacional de Águas (2008). Brasília, DF. Disponível em: hidroweb.ana.gov.br. Acessado em: 10 Jul.2008.
- ALMEIDA FILHO, Gerson Salviano de & RIDENTE JÚNIOR, José L.(2001). Erosão: Diagnóstico, prognóstico e formas de Controle. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 7, Minicurso. Goiânia - GO: ABGE, 69 p.
- BANDEIRA , J. V. & AUN, P. E. (1989). Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, SP. ABRH, 2v , 361p.
- BAPTISTA, G.M.M. (1997). Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos por meio do geoprocessamento. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, DF, 112p.
- BASTOS, C.A.B. (1999). Estudo Geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados. Tese de Doutorado em Engenharia, UFRGS, Rio Grande do Sul, SC, 269 p.
- BELCHER, D.J. ( 1946). Engineering Applications of Aerial Reconnaissance. Geological Society of America Bulletin. New York, v.57.n.8, 727-734p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. ( 1985). “Conservação do solo”. Editora Livrocetes, Piracicaba, SP, 392p
- BERTONI, J. & LOMBARDI, F. N. (1999). Conservação do Solo. Ícone, 4º ed. São Paulo, SP, 335p.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. (1993). Conservação do Solo. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo, SP.
- BITTAR, Y., et al. (1990). O Meio Físico em Estudos de Impacto Ambiental. São Paulo: IPT, (Boletim, 56).
- BUENO, C. R.P. & STEIN, D.P. (2004). Potencial natural e antrópico na região de Brotas, Estado de São Paulo. Departamento de Solos e Adubos, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo, SP, 1-5p.

- CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2005). Mecanismos de instabilização de taludes de erosões. IV COBRAE - Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Salvador. vol. I, 361 – 372p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J., GUIMARÃES, E.M., LIMA, M.C. & RIBEIRO, M.O. (2002a). Variação no comportamento térmico de caulinitas de uma cobertura superficial do Distrito Federal. XII COBRAMSEG, São Paulo, Vol.1, 537-546p.
- CAMAPUM DE CARVALHO, J. SOUZA, N.M., SALES, M.M. & MELO, MARIA TEREZA DA SILVA. (2006). Processos Erosivos. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Editora FINATEC, Brasília, DF, 39-88p.
- CASTRO JUNIOR, R.M. (2008). Zoneamento e Diagnóstico Geoambiental da Bacia do Rio Castelo usando Geoprocessamento. Tese de doutorado. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 311p.
- CATÃNEO, A., CARVALHO G.M. B. S., VASQUES FILHO, LOMBARDI NETO, F. (1992). Correlação entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa - SP. Científica. 19: 1, 1-7.
- CHAVES, H.M.L (1994). Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco. Relatório final de consulta. Brasília: CODEVASP/FAO, 1994.
- CHAVES, H.M.L, ROSA, J.W.C., SANTOS, M.V., SAMPAIO, C.M., MOTA, I.S.A. (1996). Evolução da erosão atual e potencial no Distrito Federal no período de 1953 a 1991. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Salvador, BA. Anais em CD ROM, 5p.
- CHRISTOFOLETTI, A. (1980). Geomorfologia. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, Edição. São Paulo, SP, 188p.
- CPRM. (2003). Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno: fase I. – Rio de Janeiro: Serviço Geológico do Brasil; Embrapa; MI/SCO, v.: mapas ; 2 CD-Rom.
- DAEE/IPT (1989). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Controle de erosão. Bases conceituais e técnicas. Diretrizes para o planejamento urbano e regional. Orientações para o controle de boçorocas urbanas. IPT, São Paulo, SP, 92p.
- DAEE/IPT. (1990). Controle de erosão. Secretaria de Energia e Saneamento – Departamento de Águas e Energia Elétrica. São Paulo, SP, 92p.
- DE BIASI, M. (1970). Cartas de declividade: confecção e utilização. Geomorfologia. vol.21, p.1-13p.
- DOORAN, J. W. & JONES, A.J. (1996). Methods for Assessing Soil Quality. SSSA Special Publication n. 49. Madison: Soil Science Society of America, 410p.

- EMBRAPA. (1997). Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2ª Edição, Rio de Janeiro, RJ, 212p.
- EMBRAPA. (1999). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. SILVA, F. C. da coord. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 370p.
- FERRARI, J.A.*et.al.* (1996). Mapeamento da suscetibilidade à erosão na bacia do rio Quilombo –SP. Coordenadoria de Informações Técnicas, Documentação e Pesquisa Ambiental Instituto Geológico. Boletim nº12. São Paulo, SP, 56p.
- FERREIRA, C.S.M. (1981). Erosão – Investigações de campo e laboratório desenvolvidas pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, vol. 1, ABGE, São Paulo, SP, 203-216p.
- FOSTER, G.R., MCCOOL, D.K., & MOLDENHAUER, W.C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Jour.Soll Wat. Conserv.*, v.36, 355-359p.
- GUERRA *et. al.* “Erosão e Conservação do Solo”. (1999). Bertrand Brasil, 339p.
- HORTON, R.E. (1945). Erosion development of streams and their drainage basins : hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bullentin of the geological Society of America*. V.56, 275-370p.
- IBGE (2005). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 2. ed. - Rio de Janeiro, RJ : IBGE, 300 p.
- INPE (2008). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>>. Acessado em 10 jun. 2008.
- IPT (1989). Consolidação do projeto orientação para o controle à erosão no Estado de São Paulo. São Paulo: IPT.
- IPT (1986). Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe – Paranapanema. Vol.6. (IPT, relatório, 24.739), (C.P; ME), São Paulo, SP.
- IPT (1991). Manual – Ocupação de Encostas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 33p. Disponível em: <[http://www.arq.ufsc.br/~soniaa/arq1206/2004.2/josicler/Marcio\\_Cunha\\_IPT\\_Manual1991.PDF](http://www.arq.ufsc.br/~soniaa/arq1206/2004.2/josicler/Marcio_Cunha_IPT_Manual1991.PDF)>. Acesso em: 09 Jun. 2008.
- JACINTHO *et al.*, (2006). Processos Erosivos. Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro. Editora FINATEC, Brasília, DF, 93-156p.
- LANE, L.J., RENARD, K.G., FOSTER, G.R., & LAFLEN, J.M. (1992). Development and application of modern soil erosion prediction technology. *Aust.Jour.Soll Res.*30, 893-912p.

- LEMOS, P. C. & FERREIRA, E. (2003). “Análise da relação das áreas de forte risco a erosão com os fragmentos de vegetação nativa arbórea na área de influência da UHE-Funil”. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, MG, INPE, p. 1323 - 1329.
- LEPSCH, I.F. (1983). Manual para levantamento utilitário do meio físico e caracterização de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 175p.
- LIMA, M. C. (1999). Contribuição ao Estudo do processo evolutivo de voçorocas na área urbana de Manaus. Dissertação de Mestrado. Departamento de Pós-Graduação em Geotecnia – Universidade de Brasília. Brasília, DF, 150p.
- LIMA, M.C. (2003). Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto às voçorocas. Tese de Doutorado, Publicação G. TD-17<sup>a</sup>/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília: UnB, DF, 336p.
- LOLLO, J. A. (1996). O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de campinas. Tese de Doutorado. São Carlos, SP, EESC. 2 vol, 320p.
- LOLLO, J.A. (1992). Três Métodos de Produção de Cartas de Declividade: análise dos resultados para a área urbana de Ilha Solteira (SP) e adjacências. In: SEMINÁRIO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS, 12, 1992, Guaratinguetá. Anais..., Guaratinguetá, Associação dos Docentes da UNESP – Campus de Guaratinguetá, SP, 233-236p.
- LOMBARDI N.F., MOLDENHAUER, W.C., (1992). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia* 51, 189– 196p.
- MACEDO, M.A. ; RUDDORF, B.F.T. (2000). Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do Rio São Bartolomeu – DF usando técnicas de geoprocessamento. In: IX Simpósio Latino Americano em Percepção Remota Y Sistemas de Información Espacial. Puerto Iguazu, Misiones. Memórias do IX simposio Latinoamericano de Percepção Remota, 761- 770p.
- MAGDOFF, F. (1992). *Building Soils for Better Crops: Organic Matter Management*. Lincoln: Univ. of Negraska Press, 433p.
- MAURO, J.R., (2001). Carta de susceptibilidade à erosão para a área da bacia do Prosa, Campo Grande, MS, escala: 1:15000. Dissertação de mestrado em Recursos Hídricos e Tecnologia Ambientais. UNESP, Ilha Solteira, SP, 73p.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevo.br.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 jun. 2008.
- MITCHELL, J.K & BUBENZER, G.D.(1980). Soil loss estimation. In : *Soll erosion*. Kirkby, M.J & Morgan, R.P.C. (ed). New York : John Wiley and Sons Ltda.

- MOORE, I.; BURCH, G. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 1294-1298p.
- MORGAN, r.p.c. (1995). *Soil erosion & conservation*. Longman Scientific & Technical, 3th, 298p.
- MORTARI, D (1994). Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal. Dissertação de mestrado em Geotecnia - UnB, Brasília, DF, 200p.
- NASCIMENTO, U., CASTRO, E. (1976). Erosão, critérios de seleção de solos. *Geotecnia*, v.20, 17-33p.
- NISHYAMA, L. (1995). Erosão do solo. Seminários gerais em geotecnia. São Carlos, SP: USP/E.E.S.C.
- OADES, J.M. (1996). An Introduction to Organic Matter in mineral Soils. In: *Mineral Environments*. 2a ed. SSSA Book Séries n. 1. Madison: Soil Science Society of America, 89-159p.
- PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. & VILLELA, S. (1995a). Avaliação da Descarga de Sedimentos afluente à Captação da Estação Elevatória I do Projecto de Transposição das Águas do Rio São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. Vol. 13 , Nº 2, Dezembro/1995a, 47-79p.
- PAIVA, J. B. D. ; PAIVA, E. M. C. D. & VILLELA, S. (1995b). Avaliação hidrossedimentométrica do trecho não revestido do canal adutor do projeto de transposição das águas do rio São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. Vol. 13, Nº 2, 81-114p.
- PFAFSTETTER, O. (1989). Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 19p. Manuscrito não publicado.
- REICHARDT, K. (1990). *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo : Manole.
- SALOMÃO, F.X.T. (1999). Controle e prevenção do processos erosivos. In : GUERRA et.al. *Erosão e conservação dos solos : conceitos, aplicações e temas*. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil. Cap 7, 229-267p.
- SILVA, A.C. *et al.* (1999). Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. *Revista da universidade de Alfenas*, 5 : 21-26p
- SILVA, M.L.N. *et al.* (1997). Métodos estimativos da erodibilidade para latossolos brasileiros: comparação e avaliação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, RJ. Anais... Rio de Janeiro: SBCS (cd-rom).
- SILVEIRA, LEONARDO LUIZ LYRIO DA. (2002). *Elaboração de Carta de Susceptibilidade à erosão das Bacias dos Rios Araraguara e Cubatão-SP, Escala 1 :50000*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia – USP, São Carlos ,SP, 211p.



- SHEN, H. W. (1976). Sediment transport models. In: ----- Stochastic approaches to water resources. Fort Collins. V. 2, cap 26.
- SOUZA, N. M. (2004). Apostila de Cartografia Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília – DF, 43 p.
- STEIN D.P., DONZELLI P.L., GIMENEZ F.A., PONÇANO E.L. & LOMBARDI NETO F. (1987). Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe - Paranapanema. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, Marília, SP, Anais, 105-135p.
- SUMMERFIELD, M. A. (1991). Global Geomorphology. New York: J. Wiley, 537 p.
- SWIFT, R. S. (1996). Organic Matter Characterization. In: Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods-SSSA Book Series nº 5. Madison: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1011-1069p.
- USDA. WEPP project. Internet, Purdue University, 1996, 3p.
- VARNES, D.J. (1974). Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO; Paris, 63p.
- VILELA, C.L. (2003). Comportamento Erosivo de Solos Sob Regeneração em Cicatriz de Movimento de Massa. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, RJ, 130 p.
- VILLELA, S. M. & MATTOS, A. (1975). Hidrologia Aplicada. 1ª edição, Editora McGraw Hill do Brasil, São Paulo, SP.
- WAY, D.S. Terrain Analysis. Strounddsburg : Hutchinson & Ross, 1973, 392p
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C. B. & CROSS, B.V. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Jour. Soil Wat. Conserv., v.26, 189-193p.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. Agr. Handbook, n.537, 58p.
- ZUQUETTE, L.V. & NAKAZAWA, V. A. (1998). Cartas de geologia de engenharia. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. & BRITO, S. N. A. Geologia de Engenharia, ABGE, Cap.17, São Paulo, SP, 283-298p.
- ZUQUETE, L. & GANDOLFI, N. (2004). Cartografia Geotécnica. Oficina de textos, São Paulo, SP, 190p.