

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA



**ANÁLISE DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS (SP)**

Juliana Aparecida Oliveira

Itajubá, Abril de 2011.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Juliana Aparecida Oliveira

**ANÁLISE DA PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS (SP)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Coorientador: Prof. Dr. Fernando G. Braga da Silva

Abril de 2011

Itajubá – MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB_6/1700

O48a

Oliveira, Juliana Aparecida

Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP / Juliana Aparecida Oliveira. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2011.

76 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas.

Coorientador: Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Sistema de Informação Geográfica. 2. Equação universal de perda de solo. 3. Potencial natural de erosão. 4. Perda de solo. I. Dupas, Francisco Antonio, orient. II. Silva, Fernando das Graças Braga da, coorient. III. Universidade Federal de Itajubá. IV. Título.



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

A N E X O II

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: **“Análise da Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)”**

Autor: **Juliana Aparecida Oliveira**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito	Rubrica
	A = Aprovado - R = Reprovado - I = Insuficiente	
1º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
2º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
3º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
4º	A	<i>[Handwritten signature]</i>

Observações:

- (1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
 - (2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
 - (3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.
- Este documento terá a validade de 60 (sessenta) dias a contar da data da defesa da Dissertação.

Resultado Final: Conceito: A, ou seja, aprovado

Observações: Fica condicionada às condições de terminadas pela banca.

Itajubá, 19 de abril de 2011.

[Handwritten signature]
Prof. Dr. Alexandre Marco da Silva
1º Examinador - UNESP/SO

[Handwritten signature]
Profª. Drª. Nívea Adriana Dias Pons
2º Examinador - UNIFEI

[Handwritten signature]
Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva
3º Examinador - UNIFEI - (Co-Orientador)

[Handwritten signature]
Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas
4º Examinador - UNIFEI - (Orientador)

Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - Av. BPS, 1303 - Caixa Postal 50 - 37500-903 - ITAJUBÁ/MG - BRASIL
Tel.: (35) 3629-1118 - 3629-1121 - Fax (35) 3629-1120 - posgrad@unifei.edu.br

Dedicatória

Dedico esse trabalho aos meus pais, irmãos, sobrinhos, cunhados e ao meu tio Monsenhor Antônio Osório, que mesmo longe esteve sempre presente (*in memoriam*).

Agradecimentos

- Primeiramente a Deus, por mais uma conquista, a minha família pelo apoio e aos meus amigos.
- Aos diretores, coordenadores e funcionários da iX Consultoria e Representações Ltda.
- À Fapesp (Fundação de Amparo e à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento de bolsas e auxílios à pesquisa para o processo 98/10924-3.
- Ao IIE (Instituto Internacional de Ecologia) pela disponibilização dos dados.
- Ao NEPA (Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática) pelos mapas de tipos de solo e uso e cobertura do solo da região.
- A Bárbara Karoline Flauzino pela ajuda, paciência e incentivo nesse trabalho.
- Ao meu orientador Prof. Dr Francisco Antônio Dupas pela paciência durante todo o período do curso.
- A todos o meu muito obrigada.

RESUMO

O planejamento e controle da erosão em bacia hidrográfica são de grande interesse para o planejamento de geração de energia hidrelétrica, produção agrícola e qualidade da água dos mananciais, dentre outros. Assim, este estudo determinou um conjunto de informações sobre os fatores envolvidos no processo erosivo para a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, abrangendo os municípios de São Carlos, Analândia e Itirapina, no estado de São Paulo, na grande bacia do Tietê. Para calcular as perdas por erosão hídrica, utilizou-se o modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), que permite estimar a erosão sob as mais variadas condições de uso e manejo do solo, declividade, comprimento de rampa, chuva e práticas conservacionistas. Os resultados da aplicação da equação utilizando recursos do Sistema de Informações Geográficas (SIG) são apresentados em mapas temáticos. A aplicação da EUPS permitiu prever a perda de solo da área da bacia e os riscos de erosão, que correspondem a uma faixa de 0 a >200 t/ha.ano. Em função das limitações de métodos para a aplicação na equação da EUPS, os resultados mostraram que o potencial natural de erosão é variável dentro da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, considerando os fatores envolvidos. Assim, na referida bacia os resultados demonstram que são necessárias medidas de caráter preventivo e corretivo para um bom planejamento da cobertura do solo e utilização de práticas conservacionistas, com ênfase para as áreas com maior potencial de perda de solo.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica, Equação Universal de Perda de Solo, Potencial Natural de Erosão, Perda de Solo.

ABSTRACT

The planning and erosion control in river basin are of great interest for the planning of hydroelectric power generation, agricultural production and water quality of water sources, among others. Thus, this study determined a set of information about the factors involved in erosion for River basin Bean, comprising the municipalities of San Carlos, and Analândia Itirapina in the state of São Paulo, in the great basin of the Tietê. To calculate the losses by water erosion, we used the mathematical model of Equation Universal Soil Loss (USLE), which allows the estimation of erosion under various conditions of use and management of soil, slope, slope length, rainfall and conservation practices. The results of applying the resources of the equation using Geographic Information System (GIS) are presented in thematic maps. The possible application of USLE to predict soil loss in watershed area and erosion risks, which represent a range of 0 to > 200 t / ha year. Due to limitations of methods for applying the USLE equation, the results showed that the potential for erosion is variable within the River basin Bean, considering the factors involved. Thus, in the basin and the results show that measures are necessary preventive and corrective to a good planning of land cover and use of conservation practices, with emphasis on the areas with greatest potential for soil loss.

Keywords: Geographic Information System, Universal Soil Loss Equation, Natural Potential for Erosion, predict soil loss,

SUMÁRIO

	Páginas
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE EQUAÇÕES.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xi
ANEXO I.....	73
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo Geral	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 Sensoriamento Remoto.....	5
2.2 Sistema de Informações Geográficas.....	7
2.3 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	8
2.4 Erosão.....	9
2.4.1 Impactos da erosão.....	17
2.5 Uso e Cobertura do Solo	21
2.6 Perda de Solo	23
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
4 METODOLOGIA	32
4.1 Materiais	32
4.2 Métodos	32
4.2.1 Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)	33
4.2.2 Determinação dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo	33
4.2.3 Equação Universal de Perda de Solo.....	38
4.2.4 Simulação dos cenários de Perda de Solo	39
5 RESULTADOS E ANÁLISES	40
5.1 Obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE).....	40
5.2 Obtenção dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo	40

5.2.1	Fator R: Erosividade da Chuva	40
5.2.2	Fator K: Erodibilidade do Solo.....	43
5.2.1	Fator LS: Fator Topográfico	45
5.2.2	Fator C: Uso e Manejo do Solo	49
5.2.1	Fator P: Práticas Conservacionistas.....	51
5.3	Cenários de Perda de Solo	51
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1 – Fatores (a) ligados a erosão do solo; (b) causas da erosão; (c) interação entre eles (Lal, 2001).....	2
Figura 2 – Curvas de reflectância espectral de diferentes classes de uso de solo (PUC-Rio, 2004).....	5
Figura 3 – Sensor AVNIR-2 (IBGE, 2010).	6
Figura 4 – Mapa de fator topográfico da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha (Neves <i>et al</i> 2008).....	10
Figura 5 – Mapa de perda de solo da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha (Neves <i>et al</i> 2008).....	11
Figura 6 – Mapa de perda de solo da bacia hidrográfica do rio Dikrong (Dabral <i>et al</i> , 2008). ...	12
Figura 7 – Impacto de gota de água contra o solo (Amaral, 1981 <i>apud</i> Carvalho, 2008).....	15
Figura 8 – Erosão laminar (IPEA, 2010).	15
Figura 9 – Efeito e erosão em sulcos (Amaral, 1981 <i>apud</i> Carvalho, 2008).	16
Figura 10 – Voçoroca (Embrapa, 2006).....	16
Figura 11 – Perdas de solo em diferentes cenários (Silva <i>et al</i> , 2010).	18
Figura 12 – Mapa de perda de solo da barragem do DNOS/CORSAN na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim (Miguel, 2010).	21
Figura 13 – Mapa de potencial natural de solo das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG (Paes, 2010).....	23
Figura 14 – Mapa de perda de solo das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG (Paes, 2010).....	24
Figura 15 – Mapa de perda de solo na bacia hidrográfica do rio Manso (Cândido & Santos, 2009).....	27
Figura 16 – Localização das drenagens do Estado de São Paulo e da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	29
Figura 17 – Localização ampliada da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão em relação aos municípios do entorno.	30
Figura 18 – Fluxograma da metodologia aplicada.	34
Figura 19 – Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	41
Figura 20 – Área de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	42
Figura 21 – Distribuição da erosividade durante o ano na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	43
Figura 22 – Tipos de solos da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Embrapa, 1981).	44

Figura 23 – Dados de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	46
Figura 24 – Dados de direção de fluxo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	47
Figura 25 – Dados de fator topográfico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	48
Figura 26 – Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Cunha, 2011).	50
Figura 27 – Potencial Natural de Erosão da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	52
Figura 28 – Estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	54
Figura 29 – Porcentagem de áreas de perda de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	55
Figura 30 – Solo da formação serra geral na bacia hidrográfica do Laranja Azeda (NEPA, 2011).....	55
Figura 31 – Pontos de análise da perda de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Mapa de perda de solo ampliada).	57
Figura 32 – Bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (NEPA, 2011).	57
Figura 33 – Cabeceira da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão com as cuestas ao fundo (NEPA, 2011).	58
Figura 34 – Eucalipto e solo quartzoso na formação botucatu (NEPA, 2011).....	60
Figura 35 – Laranja com plantio espaçado e relectância de pastagem na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (NEPA, 2011).	60
Figura 36 – Cultura de milho na microbacia hidrográfica do ribeirão Laranja Azeda com terraceamento (NEPA, 2011).	61

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 1 – Características do Sensor <i>AVNIR-2</i>	6
Tabela 2 – Recursos hídricos utilizados para abastecimento da cidade de São Carlos/SP.	31
Tabela 3 – Especificações de precisão do SRTM.....	33
Tabela 4 – Dados de erosividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	40
Tabela 5 - Valores de erodibilidade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	45
Tabela 6 - Valores de C para cada uso e cobertura do solo.	51
Tabela 7 - Valores de P.....	51
Tabela 8 – Estimativa de perdas de solo para cada tipo de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	53
Tabela 9 – Estimativa de perdas de solo para cada cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	56
Tabela 10 – Pontos analisados na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	56

LISTA DE EQUAÇÕES

	Páginas
Equação 1	33
Equação 2	36
Equação 3	37
Equação 4	38
Equação 5	38

LISTA DE SIGLAS

A – Estimativa média anual de perda de solo

At – Índice de perda de solo tolerável

ANA – Agência Nacional de Águas

C – Fator de cobertura, uso e manejo

SIG – Sistema de Informações Geográficas

EUPS – Equação Universal da perda de solo

IC – Índice de criatividade

K – Fator de erodibilidade do solo

L – Fator de comprimento de rampa

LS – Fator topográfico

MDE – Modelo Digital de Elevação

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NGA – National Geospatial – Intelligence Agency

P – Fator de práticas conservacionistas

PNE – Perda Natural de erosão

R – Fator de erosividade das chuvas

S – Fator de declividade

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UTM – Universal Transverso de Mercator

USLE – Universal Soil Loss Equation

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

IRN – Instituto de Recursos Naturais

UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá

NEPA - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática

IIE - Instituto Internacional de Ecologia

Fapesp - Fundação de Amparo e à Pesquisa do Estado de São Paulo

1 INTRODUÇÃO

Atualmente há um crescimento populacional extremamente desordenado, ocorrendo assim uma utilização não racional do solo. Esse crescimento pode trazer como consequência uma maior demanda por alimentos, aumentando a pressão de terras, e causando a exploração de áreas inapropriadas (Miguel, 2010). Com isso, o solo pode ter sua capacidade produtiva comprometida, o que leva a necessidade de se ter conhecimento das relações entre os fatores que causam as perdas de solo e os que permitem reduzi-las (Nóbrega *et al*, 2005; Moreti *et al*, 2003).

Por outro lado, os fenômenos erosivos são causados pela cobertura de forma desordenada do solo (

Figura 1), causando problemas de ordem ambiental e socioeconômica, tendo como consequências a redução da fertilidade dos solos, assoreamento de cursos de água, enchentes, voçorocas, entre outros (Vieira, 2008).

A degradação do solo é um processo cíclico e biofísico agravada por fatores sócio-econômicos e políticos. Processos físicos do solo implicam uma diminuição da estrutura do solo, levando a um aumento na densidade do solo, a diminuição no total da macroporosidade, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial, e exacerbação da erosão laminar e eólica (Lal, 2001).

Com todos esses processos erosivos, os solos, sobre os quais os homens tentam continuar desenvolvendo suas atividades e expandindo suas cidades, estão cada vez mais degradados. Isto, em grande parte, é devido à sua própria ação, pois o uso indiscriminado do solo, sem a mínima preocupação com a conservação e manejo deste, faz com que áreas produtivas se degradem a ponto de atingir estágios irreversíveis. Como exemplo, podemos citar as voçorocas extensas que ameaçam não só áreas rurais, mas também áreas urbanas.

Na grande maioria dos estados brasileiros se constata grandes perdas de solo ocasionadas pela erosão, tornando-se este um dos principais problemas relacionados aos recursos naturais. Ocorre um cenário de constante deterioração, principalmente do solo e da água.

Tendo em vista os argumentos acima, segundo Ribeiro & Alves (2007) vários são os métodos utilizados para quantificar essa perda de solo. Uma das equações utilizadas com o auxílio computacional é a equação de EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), a qual permite uma análise da perda de solo levando em conta a intensidade da chuva na região, a erodibilidade dos solos, o comprimento da encosta, o declive e as medidas de uso e conservação do solo. A aplicação de modelos quantitativos de perda de solo foi facilitada após o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica (SIG), muito utilizado em trabalhos de simulação das condições de contorno em bacias hidrográficas (Beskow *et al.*, 2009).

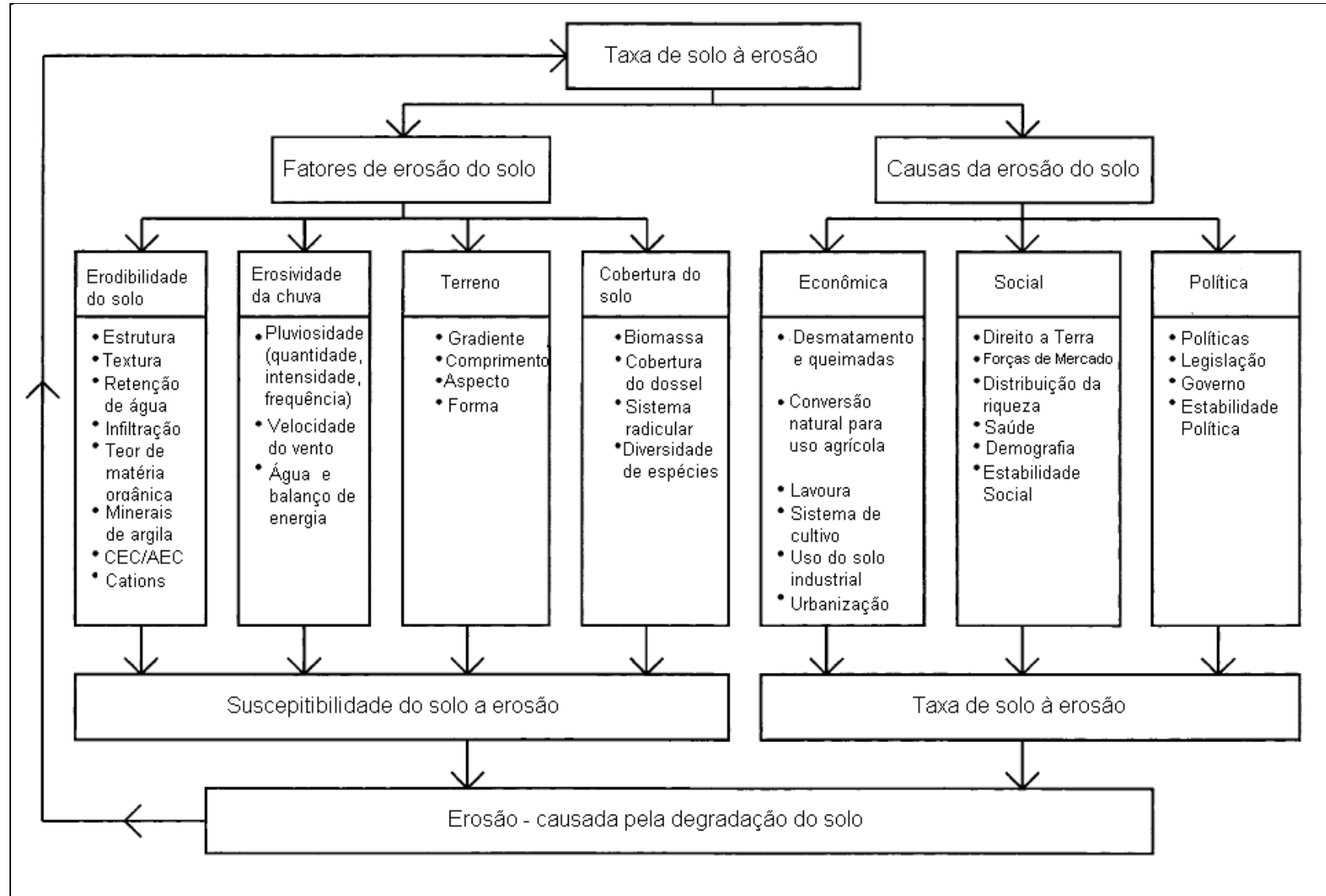


Figura 1 – Fatores (a) ligados a erosão do solo; (b) causas da erosão; (c) interação entre eles (Lal, 2001).

Este trabalho procurou avaliar a perda de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão por meio da determinação dos fatores da EUPS, com o auxílio do SIG. Esta avaliação envolveu a geologia, a topografia, o uso e cobertura do solo que exercem uma influência na vazão, na qualidade e quantidade de biodiversidade aquática e na composição química da região. Os resultados obtidos permitiram determinar indicadores ambientais que demonstrem as condições para diagnosticar, planejar e controlar a qualidade da bacia hidrográfica.

O presente trabalho foi dividido em sete capítulos. No capítulo um faz-se uma introdução, uma justificativa e apresentam-se os objetivos gerais e específicos. O capítulo dois mostra a revisão bibliográfica de alguns temas utilizados na metodologia. O capítulo três fala sobre a caracterização da área de estudo. O capítulo quatro mostra a metodologia aplicada. O capítulo cinco descreve os resultados e análises obtidos. O capítulo seis apresenta as considerações finais e por fim, o capítulo sete, apresenta as referências bibliográficas.

Este trabalho está vinculado ao projeto de Políticas Públicas intitulado “Uso atual e potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e regional”, processo n. 98/10924-3 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). No ANEXO I é mostrado a estrutura dos trabalhos desenvolvidos e em desenvolvimento relacionados ao tema planejamento de bacias hidrográficas dentro do manancial do ribeirão do Feijão (São Carlos, SP) e de outros locais.

1.1 Justificativa

O clima, tipos de relevo, solo e cobertura vegetal, provocam um processo natural de perda de solo que tem sido acelerado devido à ocupação humana em áreas consideradas vulneráveis sob o ponto de vista agrícola e de urbanização em áreas de recarga e mananciais. Como a perda de solo, acelerada pela antropização, constitui-se em uma das causas da redução do volume de água útil em reservatórios de geração hidrelétrica, da má qualidade da água dos mananciais e da queda da produtividade agrícola, torna-se necessário estabelecer planos de uso e cobertura do solo para minimizar os efeitos dessa perda de solo.

Com este trabalho será estimada a perda de solo através da aplicação de um modelo quantitativo, a Equação Universal de Perda de Solo, utilizando como tecnologia de apoio o Sistema de Informações Geográficas. Assim, essa perda de solo poderá ser controlada a fim de amenizar o volume de água útil de reservatórios, a má qualidade das águas dos mananciais e a queda da produtividade agrícola.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar a perda de solo para diferentes cenários, utilizando a tecnologia de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para auxiliar no planejamento de uso do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP).

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- Escolha do método adequado de previsão de perda;
- Determinação dos fatores integrantes do modelo quantitativo;
- Aplicação da integração dos fatores do modelo quantitativo, com a utilização de SIG,
- Qualificar em relação à produção de sedimentos, áreas consideradas prioritárias para possíveis intervenções em bacias hidrográficas, mananciais e à montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a revisão de literatura para os estudos já realizados e para os termos abordados na metodologia aplicada pelo presente trabalho. O item 2.1 descreve sobre o sensoriamento remoto. O item 2.2 descreve sobre o SRTM. O item 2.3 define Sistema de Informações Geográficas. O item 2.4 disserta sobre a erosão, os seus processos erosivos e a sua classificação. O item 2.5 descreve o uso e cobertura do solo e o item 2.6 fala sobre a perda de solo.

2.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto consiste em uma forma de se obter informações de um objeto por fontes naturais como o sol e a terra, ou por fontes artificiais como o radar, realizado através da detecção da energia eletromagnética dele proveniente. Pode ser subdividido em dois subsistemas: subsistema de coleta de dados e subsistema de análise de dados (Lillesand & Kiefer, 1989; Rosa, 1995; Novo, 1995).

Por outro lado, as imagens orbitais trazem informações que caracterizam diferentes classes de uso do solo com base em seus níveis de reflectância (Figura 2). Uma das vantagens para o uso de imagens orbitais para a caracterização e mapeamento de agroecossistemas é a sua grande abrangência em termos de cobertura e seu custo acessível (Machado *et al*, 2009).

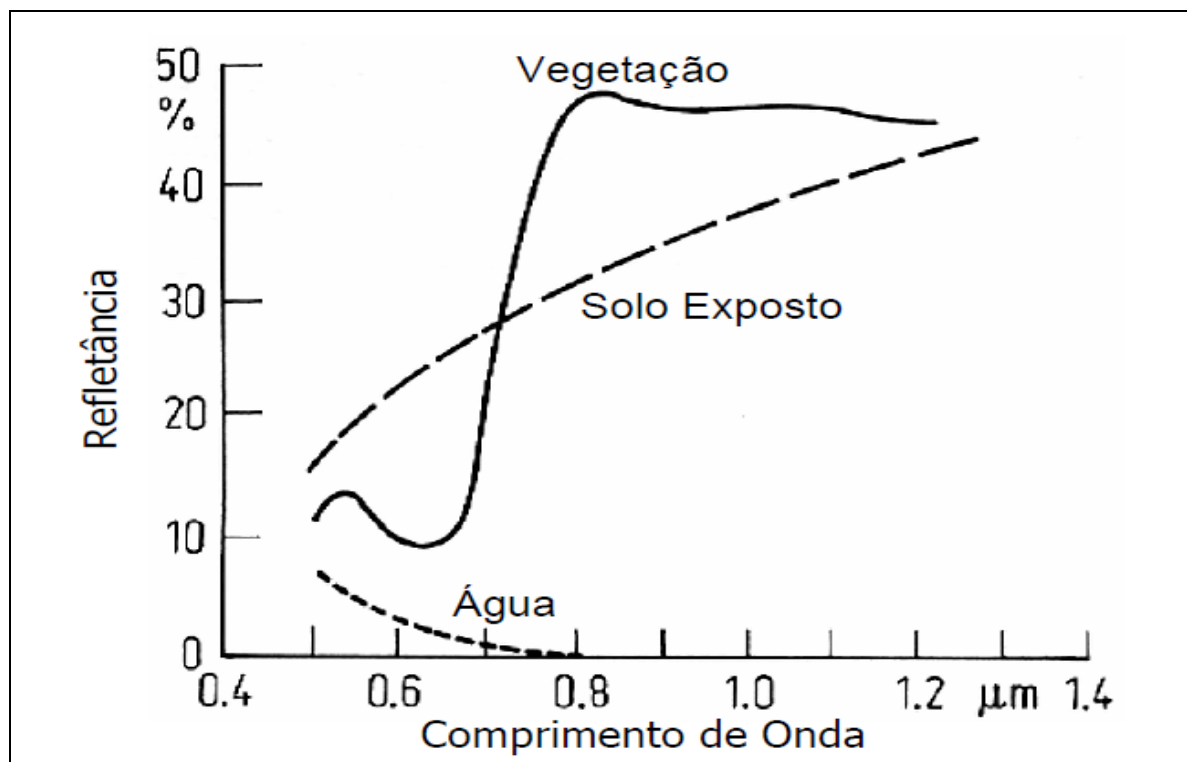


Figura 2 – Curvas de reflectância espectral de diferentes classes de uso de solo (PUC-Rio, 2004).

Dessa forma, os sistemas e técnicas permitem o estudo da evolução ambiental de uma região através de análises multitemporais, estabelecendo comparações de uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, podendo desta forma auxiliar no monitoramento ambiental da região (Grigio, 2003).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor AVNIR-2 (*Advanced Visible-Near IR Radiometer*) que possui as características apresentadas na Tabela 1 e é mostrado na Figura 3.

Tabela 1 – Características do Sensor AVNIR-2.

Bandas Espectrais	Banda 1: 0,42 - 0,50 μm
	Banda 2: 0,52 - 0,60 μm
	Banda 3: 0,61 - 0,69 μm
	Banda 4: 0,76 - 0,79 μm (infravermelho)
Resolução Espacial	10 m no Nadir
Largura da Faixa (FOV)	70 km
Inclinação Lateral	$\pm 44^\circ$ (transversal à trajetória)

Fonte: Gomes (2008).

as

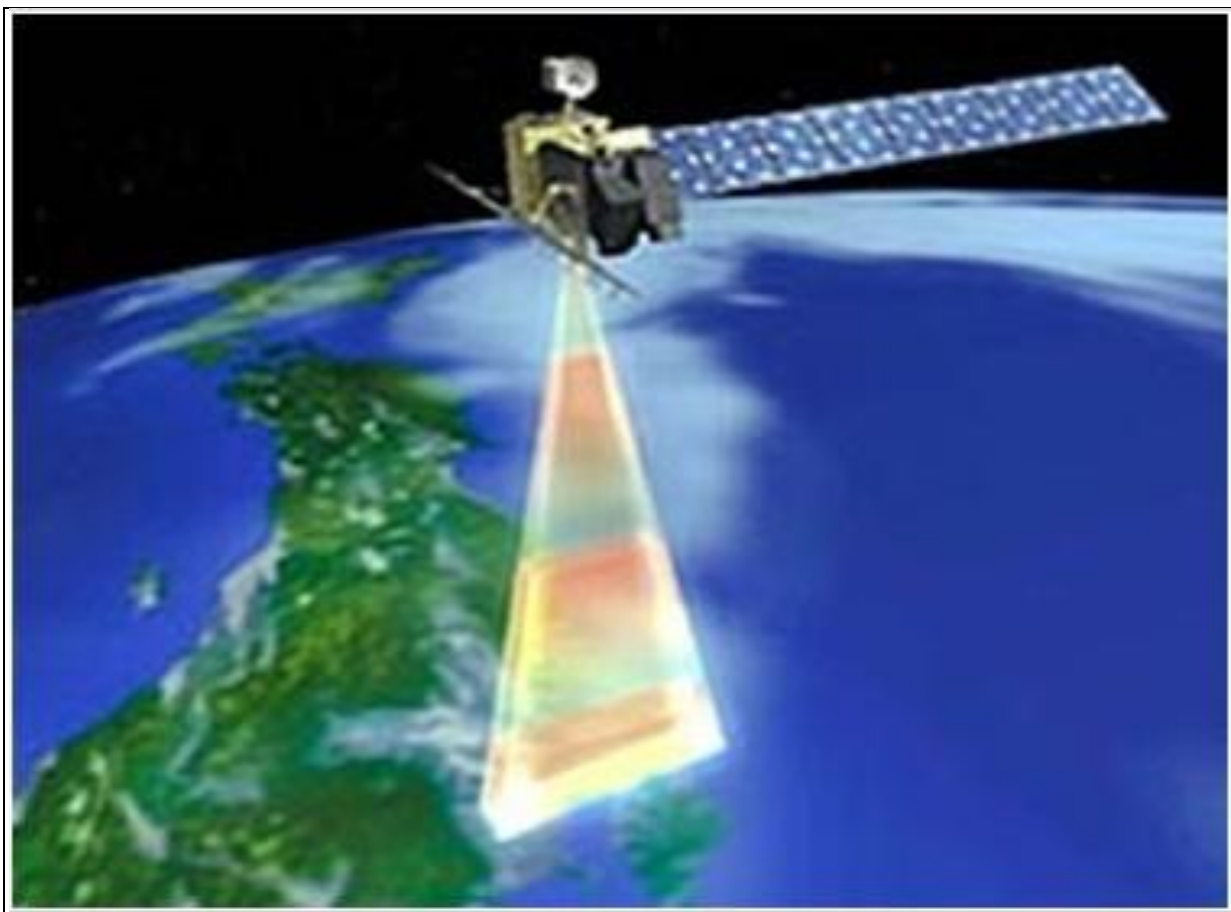


Figura 3 – Sensor AVNIR-2 (IBGE, 2010).

O sensor *AVNIR-2* é um dos sensores do satélite *ALOS (Advanced Land Observing Satellite)* que segundo Gomes (2008) foi lançado no Japão no dia 24 de Janeiro de 2006. Possui uma órbita de 692 km, inclinação 98,16°. Tem um período de revisita de 46 dias, uma vida útil de três anos e mais dois sensores o *PALSAR* e *PRISM*.

Podem-se citar como suas aplicações: cartografia, recursos naturais, observação de uso e cobertura do solo, monitoramento de desastres naturais, geologia e desenvolvimento de tecnologia.

Essas imagens do sensor *AVNIR-2* foram trabalhadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

2.2 Sistema de Informações Geográficas

O sistema de Informações Geográficas (SIG's) pode ser definido como um conjunto de procedimentos concebidos e estruturados com o objetivo de organizar, armazenar, aceder e manipular informação georreferenciada (Moreno 2009 *apud* Aronoff, 1995).

Além disso, os SIG's são *softwares* de manipulação de informações geográficas, no qual apresentam em sua estrutura os seguintes mecanismos: entrada de dados, armazenagem de banco de dados, análise espacial e saída cartográfica (Silva, 2009).

A esta definição pode ainda ser completada com a Moreno 2009 (in Teixeira *et al*, 1995) que um SIG's deve conter quatro funções: entrada; armazenamento e recuperação; manipulação e análise e representação de dados.

É de salientar que são várias as definições encontradas para SIG's. A variação ocorre em função da área do pesquisador e do propósito a que se destina, mas a essência de um SIG's é a mesma. Assim, de uma maneira mais abrangente, o SIG's é um sistema com a finalidade de coletar, armazenar, manipular e analisar informações que possam de alguma forma ser georreferenciadas, e para isso, o sistema necessita de uma base de dados, um software, um hardware e uma organização (Silva, 1999).

Hoje existe uma demanda em relação aos SIG's, no qual através destes *softwares* pode-se armazenar uma gama de dados considerável, bem como trabalhar com uma alta precisão em relação aos mapas antigos. Assim, considera os SIG's como uma ferramenta de fundamental importância no planejamento territorial. Os sistemas consolidaram nas universidades, em instituições públicas e privadas como uma ferramenta de planejamento e análise ambiental, mas ainda as suas aplicações continuam sendo utilizadas, na maioria das vezes, somente em estudos sobre os meio físicos e ambientais (unidades de paisagem, geomorfologia, recursos minerais e aptidão agrícola) (Silva, 2009).

A maior limitação ao uso de modelos é a dificuldade em trabalhar grande quantidade de dados que descrevem a heterogeneidade dos sistemas naturais. Por essas razões, os SIG's são empregados na criação do banco de dados desses modelos. A união dessas duas tecnologias representa um importante passo para o manejo de bacias hidrográficas. Com esta combinação, é possível não só visualizar cenários passados atuais, mas também simular cenários futuros com baixo custo e de forma rápida (Machado *et al* 2003 *apud* Grigg, 1996).

A principal vantagem da metodologia do SIG é o fornecimento rápido de informações sobre o valor estimado de perda de solo para qualquer parte da área investigada (Shinde *et al*, 2010).

2.3 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

De acordo com Cunha (2009) o projeto *SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)* é obtido da cooperação entre a *NASA* e a *NIMA (National Imagens and Mapping Agency)* do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América do Norte e das agências espaciais da Itália e da Alemanha, respectivamente.

Os produtos da *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* – Missão Topográfica de Radar Transportado - fazem parte de um conjunto de imagens de radar, logo são capazes de reproduzir altitudes. Trata-se de um modelo digital do terreno, ou seja, representa em três dimensões espaciais o relevo, latitude, longitude e altitude (x, y, z) (Carvalho, 2007).

Os dados da *SRTM* apresentam características indesejáveis, além das informadas pelo fornecedor, como falhas negativas e sua sensibilidade a quaisquer objetos presentes sobre a superfície do terreno e mesmo variações da cobertura vegetal (Florenzano, 2008). Para amenizar esses erros algumas técnicas são usadas, como filtragens e métodos de interpolação. Com isso, a Embrapa, por exemplo, obteve os dados brutos dos quais foram corrigidos e padronizados, a fim de se eliminar problemas por radar.

Esta tecnologia já apresenta diversos exemplos de aplicações para o desenvolvimento sustentável da agricultura, dentre elas: programas de manejo de bacias hidrográficas, eletrificação rural, conservação de solos, preservação de recursos florestais, cumprimento do código florestal, gestão dos recursos hídricos, planejamento territorial, implantação de estradas rurais, melhoria da cartografia topográfica disponível (principalmente na Amazônia), zoneamento ecológico – econômico, monitoramento ambiental, etc (Miranda, 2005).

Os exemplos de aplicações comentados permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e com o uso do SIG, variáveis morfométricas (altitude, declividade, orientação das vertentes) que são essenciais em estudos geomorfológicos. Desde agosto de 2003, os dados da *SRTM* da América do Sul estão disponíveis, com acesso livre na rede mundial de computadores.

Em seu estudo “Aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego Cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela MT” Neves *et al* (2008) a fim de avaliar a perda de solo da região, utilizado no planejamento ambiental, aplicou a metodologia da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Utilizou-se também de imagens do SRTM para obtenção de uma das variáveis da equação, o fator topográfico (LS). Para a geração dos modelos digitais de terreno é necessário a digitalização das curvas de nível das cartas topográficas, porém com o uso das imagens SRTM este processo não é necessário, pois trata-se de produtos de interferometria, ou seja, são modelos de elevação do terreno (MDE). Um modelo digital de terreno (MDT) é obtido com dados reais da elevação do relevo, já um MDE é um modelo de elevação do relevo e pode ser influenciado por árvores, prédios e etc, já um MDT não, pois se usa dados obtidos através de topógrafos. Os resultados elaborados foram os mapas temáticos de erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, fator topográfico e uso e manejo do solo. Esses mapas foram trabalhados no *software* ArcGIS, que possibilitou a quantificação das perdas de solo na bacia de estudo. O mapa topográfico elaborado a partir do SRTM mostrou maiores detalhamentos das formas de vertentes, possibilitando a produção dos mapas finais. A perda estimada foi de 219,6 t/ha.ano, sendo esses valores de perda uma primeira aproximação, pois se trata de uma análise preliminar da distribuição espacial da erosão hídrica laminar da área de estudo. Na Figura 4 é mostrado o mapa de fator topográfico gerado por Neves *et al* (2008) utilizando do SRTM através do SIG. Já na Figura 5 é mostrado o mapa de perda de solo.

2.4 Erosão

A erosão do solo é um problema generalizado. A cada ano, 75 bilhões de toneladas de solo são removidos devido à erosão, com a maior parte proveniente de terrenos agrícolas e como resultado, cerca de 20 milhões de hectares de terra são perdidas. A erosão do solo é muito alta na Ásia, África e América do Sul em média de 30 a 40 t/ha.ano. O estudo de perda de solo foi feito na bacia do rio Dikrong, situado na parte ocidental da Índia, sendo que a erosão do solo média anual foi de 51 t /ha.ano apresentado na Figura 6 (Dabral *et al*, 2008 *apud* Barrow, 1991).

O termo erosão originou-se, segundo Zachar (1982) do latim, derivando do verbo *erodere* (escavar). Dentro das ciências ambientais, trata-se do desgaste ou arrastamento da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros agentes geológicos, incluindo processos como o arraste gravitacional.

A erosão é um dos principais fenômenos geológicos que ocorre na Terra e se processa de várias formas, se for considerado o seu ambiente de ocorrência. Dentre os principais fatores

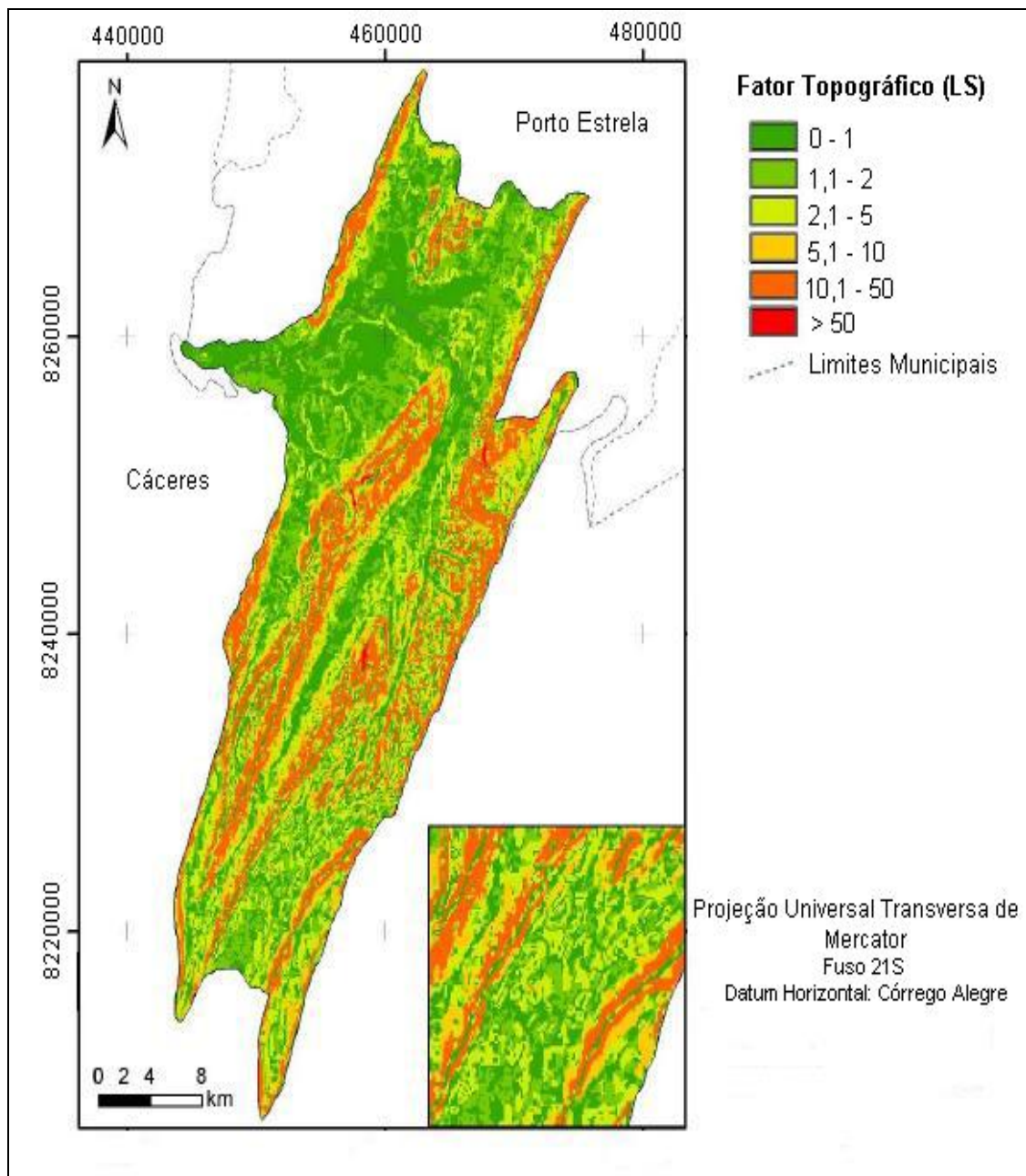


Figura 4 – Mapa de fator topográfico da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha (Neves *et al* 2008).

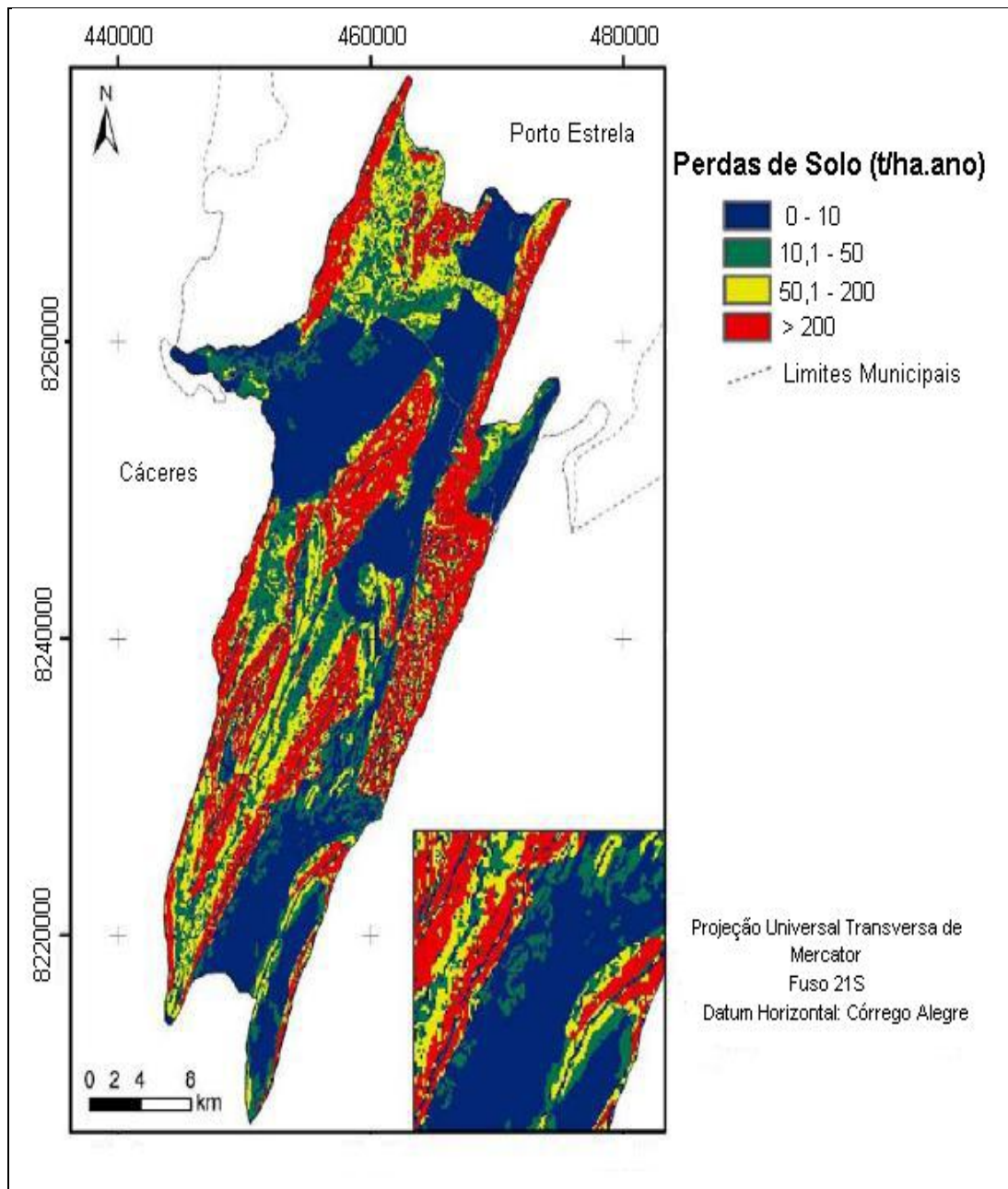


Figura 5 – Mapa de perda de solo da bacia hidrográfica do córrego Cachoeirinha (Neves *et al* 2008).

destacam-se o solo, o embasamento geológico, as condições climáticas, a topografia e a cobertura do solo.

A erosão do solo caracteriza o resultado da atuação de diversos fenômenos que tendem a modificar o ambiente de uma bacia hidrográfica, dos quais se destaca a transformação da paisagem para utilização agrícola. Tais problemas, conforme enfatiza Tomazoni *et al.* (2005), são causados principalmente pelo uso inadequado agrícola, que tende a acelerar a erosão e assim poluir e causar assoreamento nos rios e represas com material particulado.

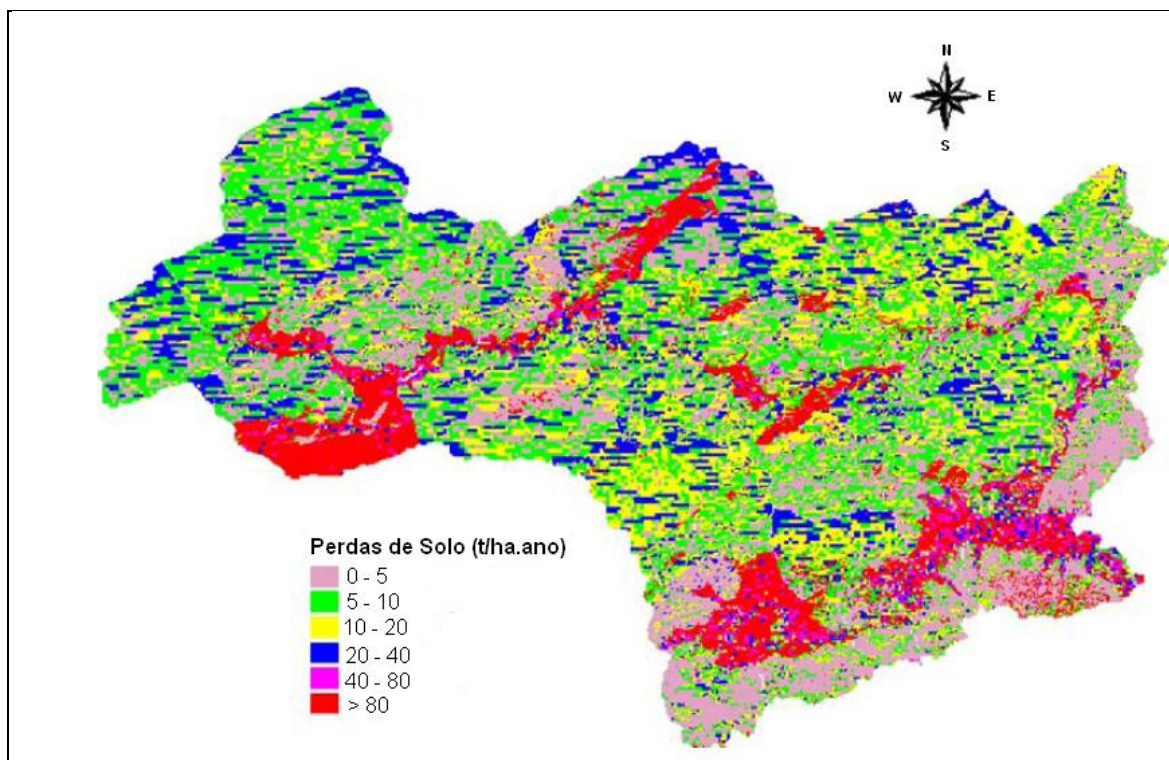


Figura 6 – Mapa de perda de solo da bacia hidrográfica do rio Dikrong (Dabral *et al*, 2008).

Todavia, a erosão causa diversos problemas como redução da fertilidade dos solos, podendo surgir ravinas e voçorocas, o que torna, às vezes, impossível utilização agrícola. Ela quase sempre leva a uma série de problemas ambientais localmente ou em grandes áreas como, por exemplo, reservatórios de água. Além disso, as partículas transportadas pela água, em áreas agrícolas, podem conter defensivos agrícolas e contaminar os mananciais (Guerra & Cunha, 2007).

Alves (2000) enfatiza que atividades agrícolas constituem nos principais agentes deflagradores dos processos erosivos, quando a erosão normal, causada pelos fatores naturais, dá lugar à erosão acelerada, resultado da interferência antrópica.

Desta forma, o controle da erosão deve ser efetuado mediante o uso de ações de caráter preventivo e após sua ocorrência através de ações corretivas, sendo que as informações quanto às potencialidades das terras, quanto ao seu uso e cobertura, devem ser obtidas através do mapa de perda de solo (Ribeiro *et al*, 2005).

A elaboração e aplicação de modelos matemáticos em estudos de erosão vem sendo um recurso amplamente utilizado para melhor compreender este processo, conforme as peculiaridades da área de interesse. Ao mesmo tempo, a aplicação de técnicas de geoprocessamento tem colaborado fortemente no sentido de agilizar a obtenção de resultados

e produtos, possibilitando, ainda, investigar o processo considerando-se situações hipotéticas (Silva *et al.*, 2003).

Segundo Silva (2009) os processos de erosão dos solos ocorrem em estágios, isto é, agravando-se à medida que atingem outras fases de degradação, por sua vez, este é fenômeno complexo que desencadeia, a partir deste, diversas alterações ambientais. O processo de erosão é um fenômeno que depende das características ambientais, como erodibilidade dos solos, usos da terra, topografia, erosividade e cobertura vegetal. Entretanto, de acordo com Vente *et al.* (2008) os processos naturais de erosão do solo são acelerados, atualmente, pelo uso inadequado e em virtude das mudanças climáticas.

Portanto, vários são os fatores que interferem sobre o processo erosivo: energia cinética da água das chuvas, propriedades químicas e físicas dos solos, comprimento, forma e declividade das encostas, cobertura vegetal, uso e manejo do solo. Em quase todos os casos, o uso e o manejo inadequado levaram à ocorrência dos processos erosivos acelerados, na maioria dos casos, de caráter irreversível (Guerra & Mendonça, 2004).

Os agentes erosivos classificam-se pela sua natureza: passiva ou ativa. Dentro dos agentes ativos podem ser citados a água, temperatura, insolação, vento, gelo, neve, a ação dos microrganismos e a ação humana. Sendo a ação humana, conforme Carvalho (2008) “um agente erosivo ativo que tem atuação crescente com o aumento da população e a ocupação territorial. Essa erosão se manifesta diretamente pelas escavações, movimento de terras na construção, na agricultura e em todas as ações diretas do homem na superfície do solo.” Dentro dos agentes passivos podem ser citados a topografia, o tipo de solo, a cobertura vegetal e as formações superficiais (materiais passíveis de erosão que afloram na superfície, como rochas, rochas alteradas e depósitos aluviais, coluviais e glaciais). A infiltração influi na erosão conforme a velocidade do movimento de água através do solo, quanto maior a velocidade de infiltração, menor a intensidade de enxurrada na superfície e, conseqüentemente menor a erosão.

Contudo, dependendo das características físicas da área – geomorfológicas, pedológicas, geológicas e climáticas – dois tipos de erosão podem se desenvolver: a erosão laminar ou a erosão linear (Nóbrega *et al.*, 2005).

Mas, a erosão quando ocorre de forma natural é classificada como gradual e lenta, tendendo o solo a uma condição relativamente mais estável. Entretanto, quando o homem atua como agente acelerador do processo erosivo, devido a não adoção de técnicas apropriadas de diagnóstico e conservação do solo, os danos ambientais podem ser severos (Valle Junior, 2008).

Também, a erosão pode ser classificada de acordo com os seus agentes erosivos, sendo assim, a erosão relacionada à precipitação das chuvas dita de erosão pluvial; a decorrente da

força modeladora dos ventos por erosão eólica; e a atrelada aos processos erosivos dos rios de erosão fluvial. A seguir é apresentada a classificação proposta por (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A - Erosão Hídrica

A erosão hídrica é decorrente da ação das águas, originada pela ação das chuvas e, posteriormente, pelo deslocamento hídrico superficial. Como exemplo, pode-se citar a erosão pelo impacto das chuvas (*splash*), a erosão laminar, a erosão em sulcos, as voçorocas, a erosão em pedestal e a erosão em pináculo.

A.1 - Erosão pelo impacto das chuvas (efeito splash)

É um dos principais processos de erosão, pois está relacionado com a intensidade das chuvas e o uso dos solos. As primeiras gotas que colidem contra a superfície do terreno desagregam pequenas partículas dos solos, retirando, ao mesmo tempo, a camada mais fértil dos solos. Na Figura 7 é apresentada a erosão *efeito splash*.

A.2 - Erosão Laminar

É uma forma de erosão mais perigosa, visto que sua ação não é tão perceptível visualmente, pois erode de forma homogênea o terreno. Este tipo de erosão carrega pequenas partículas inorgânicas e orgânicas dos solos, o que acaba por interferir na produtividade agrícola.

Os estudos de erosão laminar (Figura 8) contam hoje com modelos de previsão, que associados às técnicas de geoprocessamento permitem a previsão de perdas de solo, possibilitando a seleção de práticas de manejo e controle que possibilitem o uso racional dos recursos solo e água mediante uso do planejamento ambiental (Valle Junior, 2008).

A.3 - Erosão em sulcos

A concentração do escoamento superficial hídrico se dá pela irregularidade no micro-relevo, acarretando, posteriormente, a erosão em sulcos. Esta forma de erosão é percebida como pequenos rasgos no solo que são chamados de ravinas. Na Figura 9 é apresentada a erosão em sulcos.

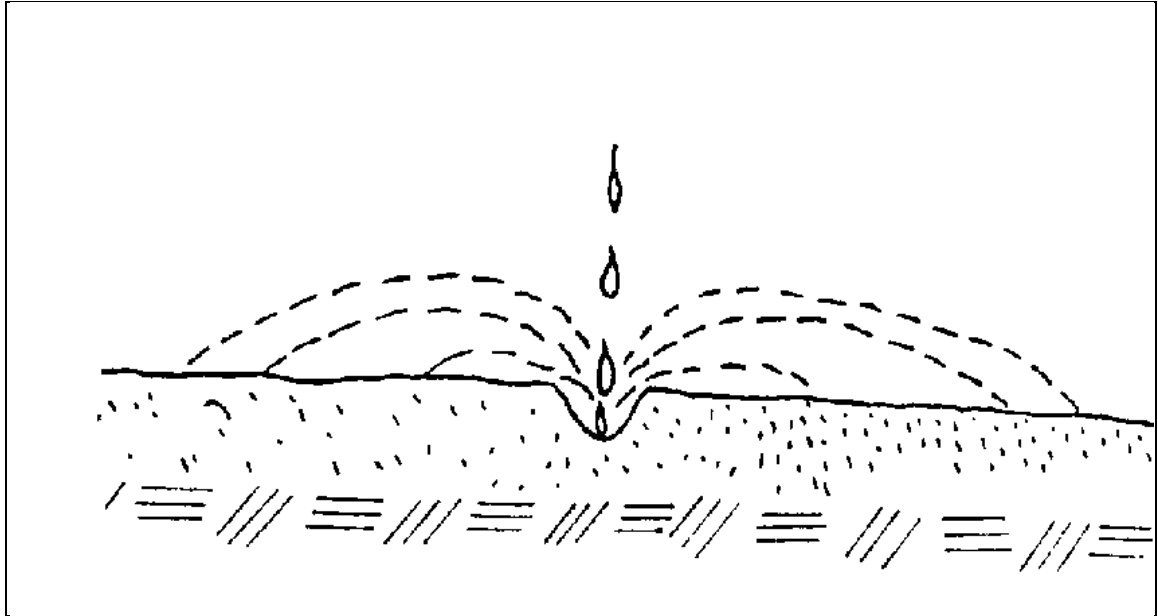


Figura 7 – Impacto de gota de água contra o solo (Amaral, 1981 *apud* Carvalho, 2008).



Figura 8 – Erosão laminar (IPEA, 2010).

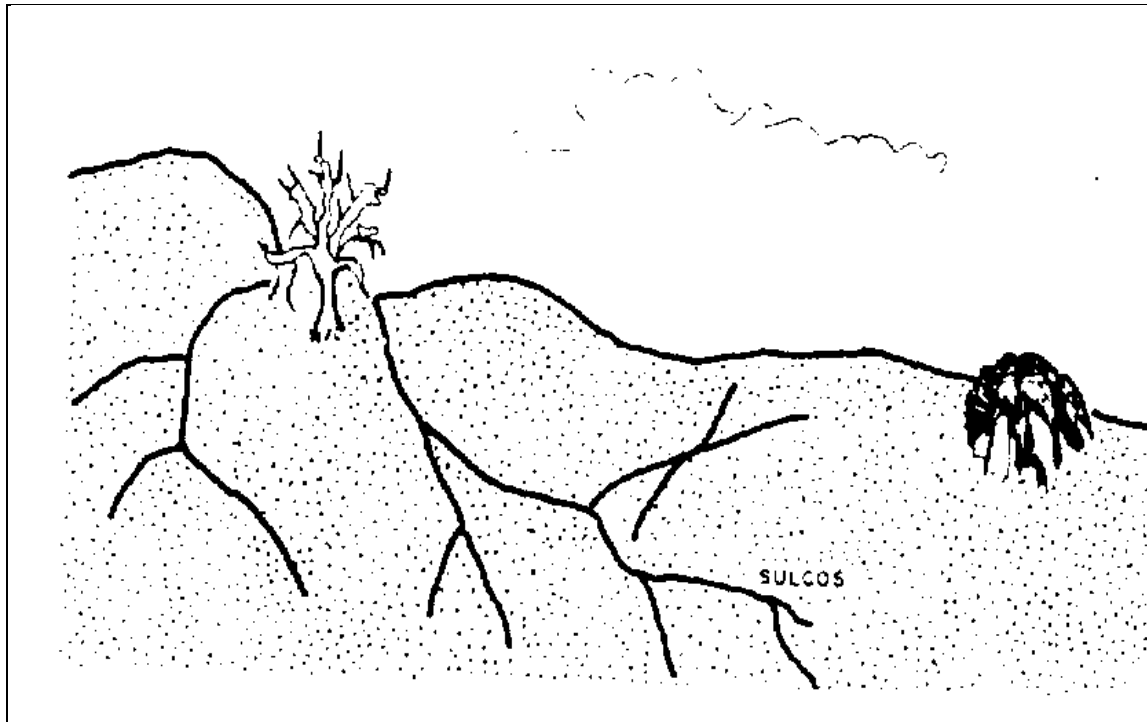


Figura 9 – Efeito e erosão em sulcos (Amaral, 1981 *apud* Carvalho, 2008).

A.4 - Voçorocas

Verificam-se pelo constante escoamento hídrico superficial e subsuperficial, sendo um estágio de desenvolvimento posterior à formação de ravinas. Este tipo de erosão se caracteriza pela perda da capacidade produtiva e de auto-recuperação dos solos. Na Figura 10 é mostrada a voçoroca.



Figura 10 – Voçoroca (Embrapa, 2006).

A.5 - Erosão em pedestal

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

Formado pelo salpicamento das chuvas, principalmente em solos expostos, como no caso daqueles agrícolas ou em áreas de obras de engenharia.

Pode-se dizer que, a erosão hídrica é, em grande parte do nosso planeta, a mais importante forma de erosão (Zachar, 1982). É causada pela chuva e pelo escoamento superficial, sendo afetada por um grande número de agentes naturais e antropogênicos. Pode ser expressa como a relação existente entre a erosividade da chuva (fator ativo), ou seja, o potencial da chuva de causar erosão, e a erodibilidade do solo (fator passivo), que por sua vez é a suscetibilidade do solo à erosão (Bertoni & Lombardi Neto, 1990; Silva *et al.*, 2003).

Também pode ser caracterizada como uma das significativas formas de degradação ambiental, sendo influenciada por diversos fatores, tais como: característica do solo; topografia; uso e cobertura do solo e clima (Oliveira *et al.*, 2009).

Assim, a erosão hídrica pode ser considerada uma das razões da perda da capacidade produtiva dos solos agrícolas. A retirada da vegetação nativa de determinada área provoca rompimento, do equilíbrio natural existente entre o solo e o meio ambiente (Pereira *et al.*, 2009).

De acordo com as exigências do mercado atual, em termos de produção sustentável, a erosão laminar deve ser considerada uma prioridade, pois é a conseqüência do uso inadequado do solo. O solo é considerado um recurso não renovável e o sedimento é o maior responsável por comprometer a quantidade, a qualidade e assoreamento do curso d'água. Como forma de auxiliar na identificação de áreas com alta e baixa suscetibilidade a erosão e para compreender os mecanismos erosivos, bem como suas causas e efeitos, assim a modelagem da erosão tem sido utilizada. A modelagem de processos erosivos pode ser usada como um indicador ambiental de zonas específicas de gestão e na determinação de práticas de conservação (Figura 11) (Silva *et al.*, 2010).

2.4.1 Impactos da erosão

As ações antrópicas geralmente são as maiores precursoras da degradação das bacias hidrográficas como, por exemplo, o desmatamento, o uso inadequado do solo na agricultura e a crescente urbanização, associada aos fenômenos naturais de precipitação. Resultando assim em grande quantidade de sedimentos que são mobilizados e transportados em curto espaço de tempo. Esses sedimentos são, na maioria das vezes, em muito maior volume que aqueles produzidos em centenas de anos nas condições de equilíbrio natural (Paiva & Paiva, 2003).

A erosão pode gerar vários impactos em uma bacia hidrográfica, entre eles pode citar: redução da capacidade de armazenamento de água dos reservatórios, assoreamento e má qualidade das águas dos mananciais e queda da produtividade agrícola.

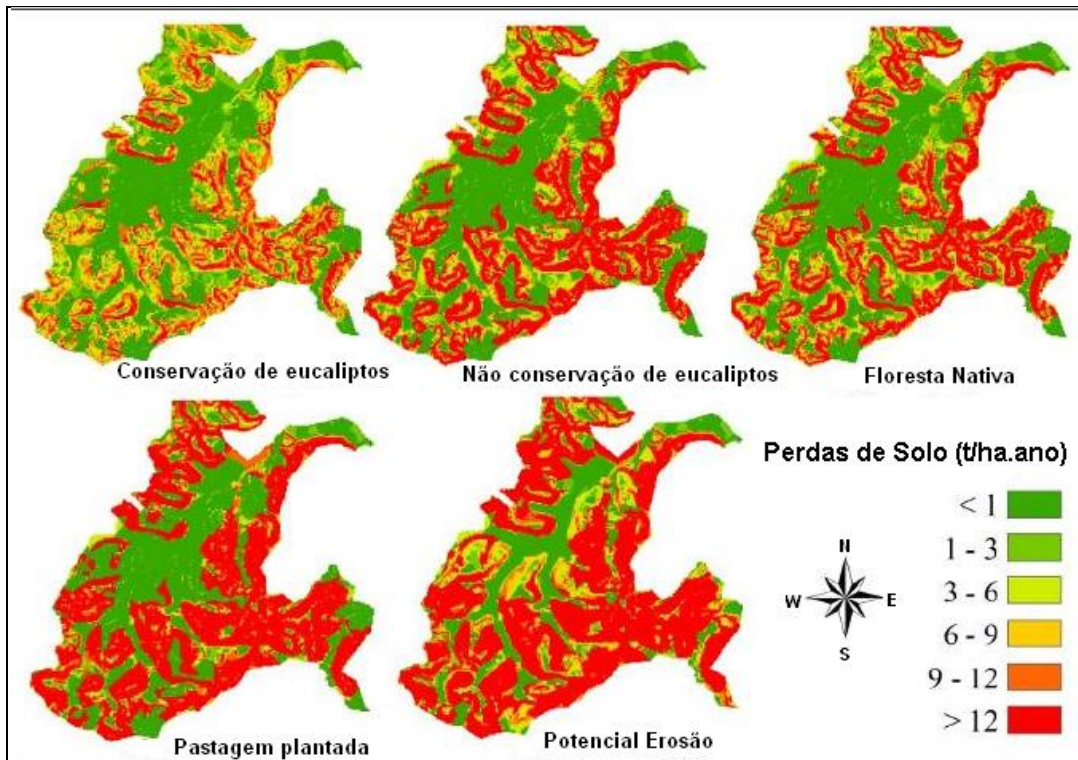


Figura 11 – Perdas de solo em diferentes cenários (Silva *et al.*, 2010).

A presença de sedimentos em um reservatório acarreta várias consequências entre elas: impossibilidade de abertura e fechamento de comportas de órgãos de adução e descarga, desgastes dos componentes internos das turbinas com redução da vida útil e aumento dos esforços na estrutura da barragem pelo aumento do peso específico. No reservatório a montante da barragem, cita-se o aumento das perdas por evaporação, provocado pelo aumento da área superficial livre, e transpiração vegetal. Prolongamento do efeito de remanso, com a conseqüente elevação de níveis de enchente a montante, devido a depósitos de material grosseiro na entrada do reservatório. A jusante da barragem tem-se o aumento da erosão devido ao desequilíbrio provocado pela retirada da carga natural de sedimentos de escoamento (Paiva & Paiva, 2003; Mahmood, 1987 *apud* Carvalho, 2008).

A capacidade de armazenamento de um reservatório de água e a sua vida útil está diretamente relacionada com a velocidade com que esse reservatório é assoreado, assim os estudos sedimentológicos vêm sendo cada vez mais difundidos. De acordo com Carvalho *et al.* (2000), a velocidade do processo de assoreamento depende do tamanho do reservatório e, a deposição gradual de sedimentos pode ocasionar problemas ambientais, ou até mesmo, a desativação do reservatório.

Os reservatórios interceptam a maior parte das descargas sólidas transportadas na rede fluvial. A determinação dos volumes de sedimentos neles depositados fornece indicações

sobre a produção de sedimentos pelas bacias hidrográficas. Essa determinação é geralmente feita por comparação entre levantamentos topobatimétricos feitos antes da construção da barragem e depois de um período de operação do reservatório, com uso de ecobatímetro (Tucci, 2007).

Para Barroso & Silva (1992) o transporte de sedimentos pode acarretar problemas ao próprio manancial como: elevação dos custos de tratamento de água; desequilíbrio do balanço de oxigênio dissolvido na água e prejuízos para o crescimento de espécies aquáticas, em função da turbidez da água e da conseqüente redução na capacidade de propagação da luz e aumento dos custos de drenagem dos cursos e reservatórios d'água.

Entretanto, o impacto da erosão no solo pode comprometer a sustentabilidade do sistema agrícola ou, então, exigir a aplicação de altas tecnologias para manter a produtividade das culturas. Entre as metas dos produtores está a de produzir com menores custos. Controlar a erosão do solo, que é o principal entrave para a sustentabilidade e que varia muito de acordo com a resistência de cada solo, é um meio eficiente de se manter a sustentabilidade da produção agrícola. (Agrônomo, 2003).

Contudo, em uma área agrícola a erosão remove a camada superficial do solo, reduzindo a produtividade, modificando as características e propriedades do solo, além da redução da profundidade de enraizamento (Branco *et al*, 1998).

A degradação das terras agrícolas pela erosão do solo é um fenômeno mundial levando a perda de nutrientes superficiais do solo, diminuindo a disponibilidade de água para planta (Shinde *et al*, 2010).

Uma vez que a erosão do solo é atualmente uma ameaça mundial, seu controle tem se tornado uma necessidade. O desempenho e a eficácia dos polímeros orgânicos sintéticos tais poliacrilamida (PAM), tem sido bastante estudada, especialmente para controle de erosão em condições de clima temperado. Nas regiões tropicais, no entanto, quando as condições geralmente são graves, muito pouca pesquisa foi conduzida. A região brasileira é um bom exemplo, onde poucos trabalhos sobre este assunto existe. Além das severas condições climáticas, uso da terra tem sido descuidada predominante por muitos anos. O uso de polímeros para o controle da erosão em solos brasileiros podem ser uma boa opção para minimizar os impactos do processo de degradação do solo, mas mais pesquisa é necessária para otimizar sua aplicação (Silva & Durrant, 2010).

Assim, em regiões desenvolvidas utilizam-se de tecnologias e fertilizantes em seus sistemas agrícolas. Mesmo em tratamento intensivo, os impactos da erosão na produtividade da cultura não podem ser detectados em curto prazo. Todavia, os impactos de longo prazo são esperados, pois as taxas de erosão em agroecossistemas tropicais são maiores em relação a taxa de formação do solo. O tempo até uma profundidade mínima necessária para produção

agrícola sustentável seja alcançado é chamado de tempo de vida, que foi considerado como um indicador para a sustentabilidade agrícola, útil para o planejamento do uso da terra e para a definição da erosão do solo tolerável (Sparovek & Schnug, 2001).

Para Boardman *et al* (2009) os impactos de eutrofização e assoreamento dos corpos d'água, perda de capacidade do reservatório, inundações de estradas e comunidades, são cada vez mais reconhecidos e custeados. Esses impactos podem ser selecionados, estabelecendo um sistema de avaliação de risco, incluindo a classificação de culturas suscetíveis a erosão e as medidas anti-erosão.

Segundo Chaves (1991) a crescente preocupação com os problemas de assoreamento e poluição de cursos d'água, queda da produção agrícola e redução da capacidade de armazenamento de reservatório contribuiu para o desenvolvimento de modelos matemáticos que prevêem o aporte de sedimentos em pontos específicos da bacia hidrográfica. Estes são utilizados para a avaliação de práticas de manejo da terra, avaliação e planejamento ambiental. A estimativa da erosão é essencial para determinar as práticas adequadas de conservação do solo e é útil para determinar impactos, antes mesmo da adoção na área de determinada cultura ou prática agrícola. Contudo, é muito dispendioso e impraticável monitorar a erosão em toda a bacia hidrográfica; daí a necessidade de prever a erosão com o uso de modelagem.

Segundo Miguel (2010) no Brasil, estudos sedimentológicos em reservatórios de água são de extrema importância e necessidade. Isso porque cerca de 95% de toda a energia elétrica consumida no país provem de fontes hidráulicas.

Em seu trabalho de dissertação “Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do Rebordo do Planalto do RS”, analisou a perda de solo através da erosão laminar na região e também na captação da barragem do DNOS/CORSAN na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, onde os elementos da EUPS foram calculados através de técnicas de geoprocessamento, gerando mapas de solos, declividade, aptidão agrícola, evolução do uso das terras de 1927 a 2009, áreas de preservação permanente, entre outros.

O fator topográfico (LS) foi gerado através do Modelo Digital de Elevação, o fator erosividade da chuva (R) através de dados de precipitação, o fator erodibilidade do solo (K) através da composição granulométrica de cada classe do solo, e o fator uso e manejo e práticas conservacionistas por meio de valores tabelados. Cerca de 74% da área possui perdas de solos que variam de 1 a 2 t/ha.ano. Somente 3% da área apresenta uma perda de solo de mais de 20 t/ha.ano, sendo que desses 3%, 1% apresenta perda de solo superior a 50 t/ha.ano e concluiu que as áreas que apresentaram maiores perdas foram as de maior declividade e tipos de solos menos desenvolvidos. Com isso, deve-se ter um cuidado maior com essas áreas, implantando métodos de conservação, a fim de evitar maiores perdas e a

evitar problemas com o reservatório. Na Figura 12 é apresentado o mapa de perda de solo para a região estudada.

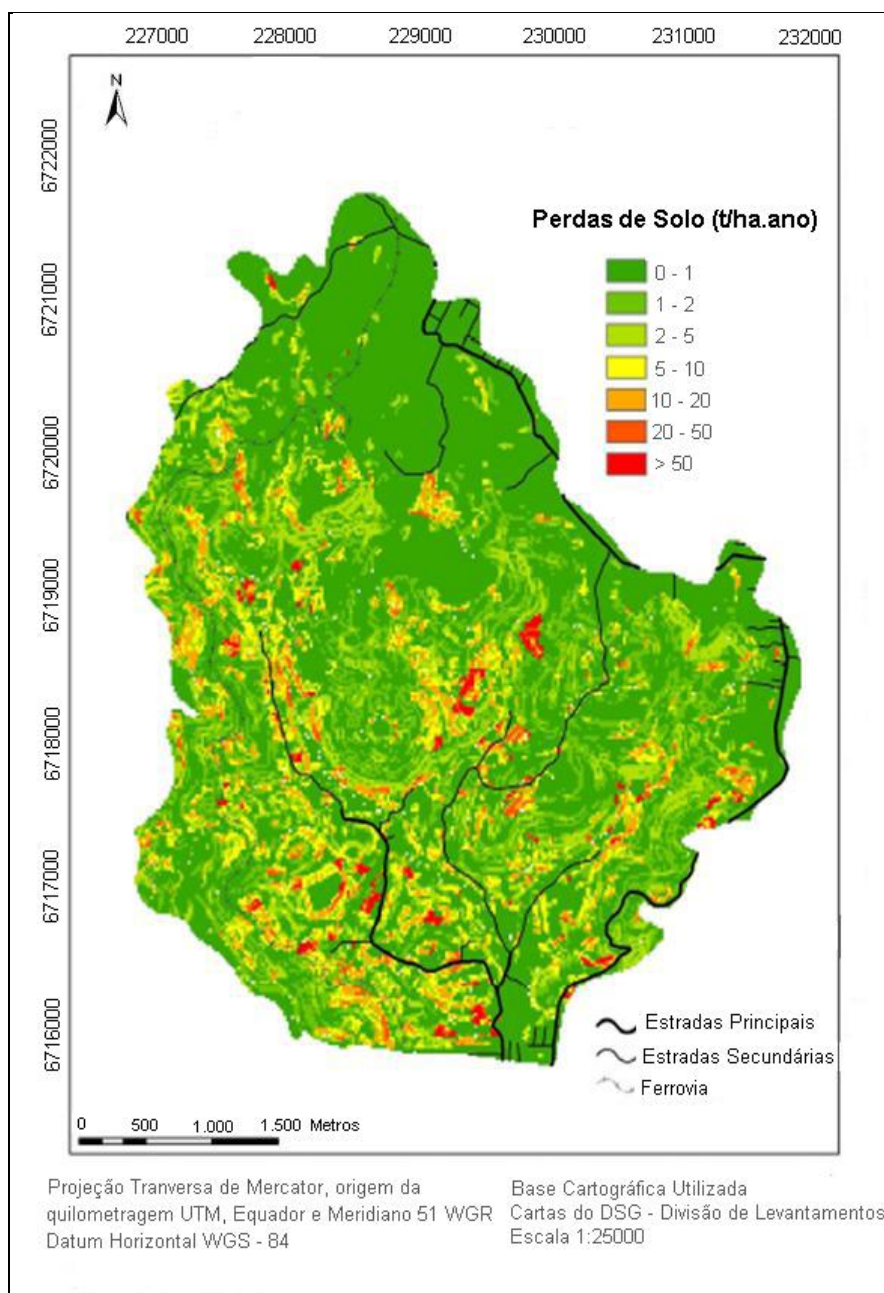


Figura 12 – Mapa de perda de solo da barragem do DNOS/CORSAN na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim (Miguel, 2010).

2.5 Uso e Cobertura do Solo

Os solos constituem um recurso fundamental para a produção de alimentos, rações, fibras e combustíveis, e eles também desempenham um papel central na determinação da qualidade do nosso ambiente. Os solos diferem em suas propriedades - a sua dotação de recursos ou

capital natural, a taxa de processos do solo, e os serviços dos ecossistemas que prestam, bem como em suas vulnerabilidade e de resistência à degradação. Os solos são classificados como sistemas naturais ou técnicos. Os sistemas naturais classificam-se de acordo com a sua existência e os sistemas técnicos conforme sua adequação para determinados usos (Palm *et al*, 2007).

O solo pode ser definido como um recurso de grande importância, pois este elemento natural é responsável pela sustentação alimentar da população mundial. Embora seja um recurso vital, assim como a água, o solo é explorado até a sua exaustão em algumas regiões pelo mundo. Cientistas apontam que se persistirem as atuais taxas de erosão, em longo prazo países subdesenvolvidos que já apresentam riscos de segurança alimentar tenderão a tornar este problema ainda mais crônico (Silva, 2009).

Assim, o solo consiste em um dos recursos naturais mais intensamente utilizados pelo homem na produção de alimentos e, por isso, pode ter sua capacidade produtiva comprometida pela erosão hídrica, pelo uso e manejo inadequados. Para a utilização sustentada dos solos é necessário o conhecimento e a quantificação dos fatores que influenciam a intensidade da erosão hídrica, que variam de uma região para outra (Valle Junior, 2008).

Com isso, o levantamento do uso do solo tornou-se um aspecto de interesse, uma vez que é considerada uma etapa essencial para qualquer ação de planejamento territorial e gestão dos recursos naturais; ele pode ser obtido a partir da utilização de dados multiespectrais, fornecidos por satélites de Sensoriamento Remoto, associados às técnicas de interpretação. A importância de utilizar dados de sensoriamento remoto no uso do solo é de atingir grandes áreas de difícil acesso e coletar imagens de altas altitudes, possibilitando uma visão geral da superfície terrestre (Pereira, 1989).

Contudo, o conhecimento da cobertura do solo quanto a sua natureza, localização, forma de ocorrência, mudanças ocorridas em determinados períodos, são de grande importância para a programação de atividades que visam ao desenvolvimento agrícola, econômico e social de uma determinada região.

Porém, o uso e manejo inadequados deste solo podem causar a redução da capacidade de armazenamento dos reservatórios de água e assoreamento de rios, pois quanto mais cultivo existir em uma determinada região, menor será a perda de solo gerada. Assim, a cobertura vegetal, é ideal para proteger o solo da erosão hídrica (Domingos, 2006).

Paes (2010), em seu estudo intitulado “Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão”, aplicou o modelo EUPS para analisar a perda de solo em Áreas de Preservação Permanente nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí - MG. Para o cálculo da

equação teve o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, gerando vários mapas temáticos, que auxiliaram nos resultados finais. Concluiu que a manutenção das Áreas de Preservação Permanente promove uma nítida redução nas perdas de solo na bacia, cumprindo com a sua função de atenuação da erosão. Na Figura 13 e Figura 14 são apresentados os mapas de potencial natural de erosão, sem o uso e cobertura do solo, e o de perda de erosão com o uso e cobertura do solo.

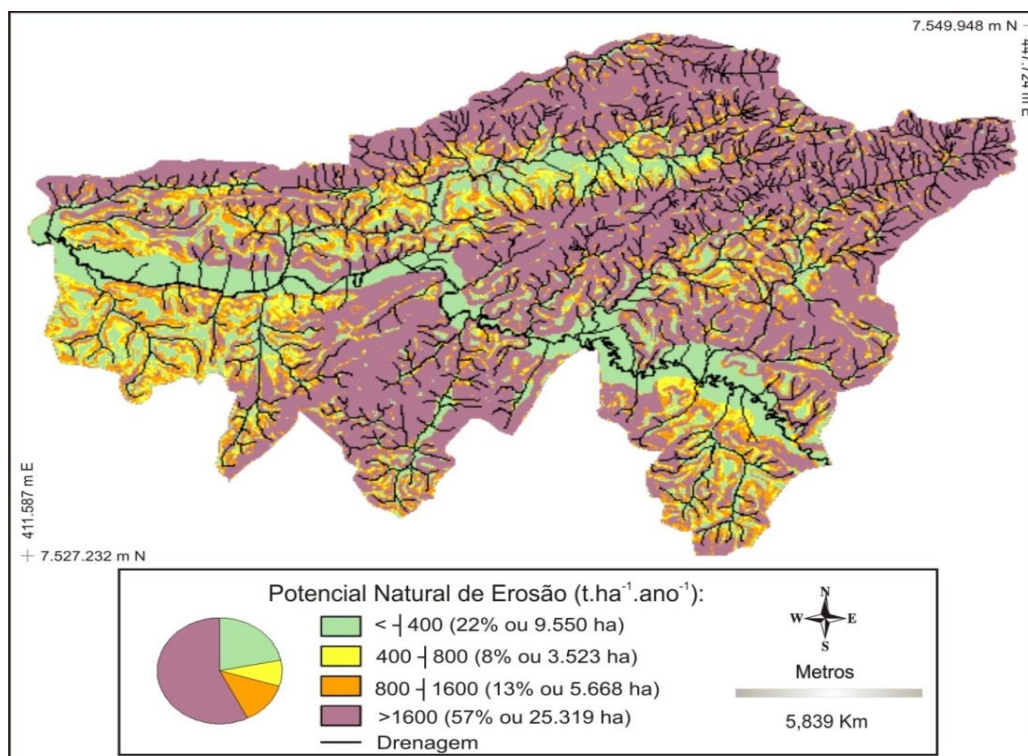


Figura 13 – Mapa de potencial natural de solo das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG (Paes, 2010).

2.6 Perda de Solo

A estimativa de perda de solo é de grande importância, pois permite avaliar os impactos de erosão das práticas em uso e os fatores ambientais, definindo propostas de recuperação para cada situação existente. Existem dois métodos para estimar a perda de solo, o direto e o indireto. O primeiro é medido diretamente no campo em parcelas de coleta de sedimentos e o segundo utiliza-se de modelos matemáticos com parâmetros definidos após intensa experimentação de campo, tendo em consideração os principais fatores que determinam as perdas de solo por erosão (Desmet & Govers, 1996).

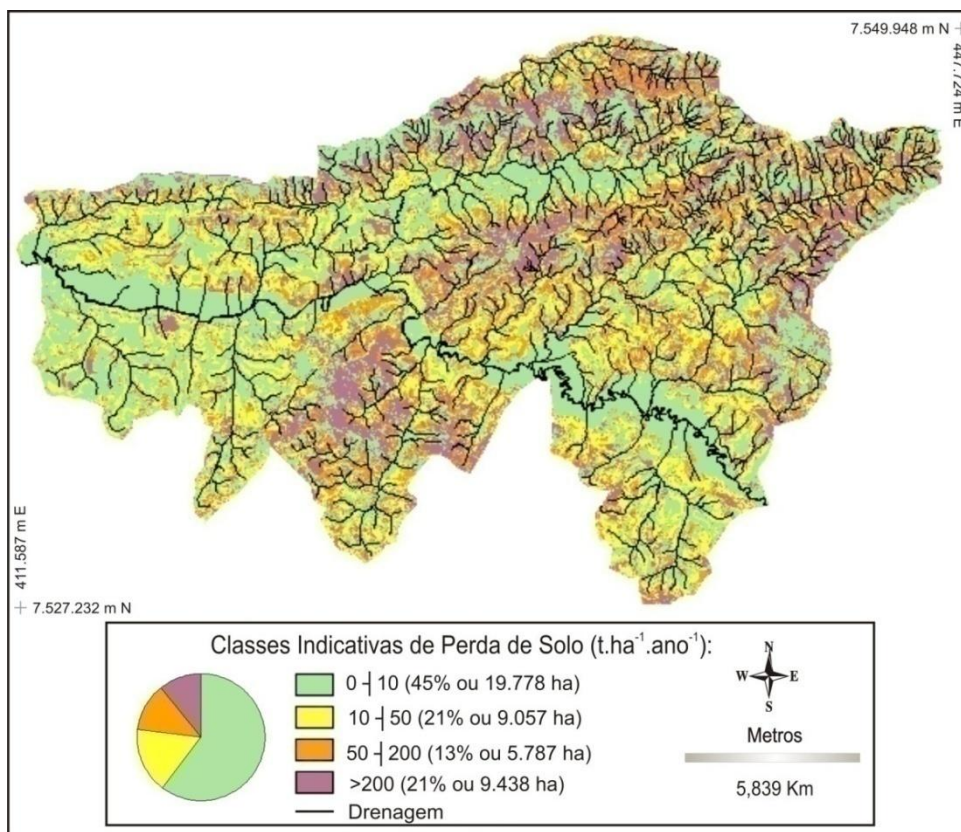


Figura 14 – Mapa de perda de solo das bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí, MG (Paes, 2010).

Para Cheviron *et al* (2011) a perda de solo em sistemas fluviais refletem processos da superfície da Terra e têm um efeito de controle sobre os fluxos de nutrientes, poluentes orgânicos e metais pesados. A avaliação da perda de solo, portanto, ajuda a caracterizar o impacto de partículas transferências na qualidade da água ao longo dos sistemas fluviais.

Também, o processo de perda de solo traz prejuízo financeiro ao produtor que junto ao solo extraído há também a perda de nutrientes o que compromete a produção e a qualidades sendo que as plantas podem ter carência de alguns elementos nutritivos. Com a remoção da camada superficial ocorrem problemas de infiltração e retenção de umidade no solo, tornando o subsolo mais impermeável e de menor teor de matéria orgânica. Assim, a água não infiltrando, promoverá maior arraste de solo e conseqüentemente menor quantidade de água será armazenada para as plantas (Machado *et al*, 2009).

Por isso, são aplicados modelos matemáticos para avaliar a perda de solo por erosão que constituem em instrumentos importantes para direcionamento das práticas conservacionistas a serem empregadas em determinada área. A aplicação destes modelos matemáticos para previsão dos processos erosivos depende do entendimento de diferentes fatores que envolvem o fenômeno. As primeiras técnicas empregadas para avaliar as taxas de perda de solo por

erosão utilizavam procedimentos analógicos para obterem dados aplicados na equação. Coletores apropriados, colocados em locais adequados, eram usados na retenção de sedimentos para determinação dos parâmetros da equação (Teixeira & Silva, 2009).

Para Dutra *et al* (1997) as equações preditivas de perda de solo e produção de sedimentos, incorporadas em modelos, procuram basicamente tentar reproduzir a realidade do sistema natural, envolvendo os principais fatores condicionantes desses processos. Devido à complexidade dos fenômenos, simplificações são bastante utilizadas, em diferentes níveis, para possibilitar a aplicação prática dessas equações, dentro de determinados limite. Reconhece-se a possibilidade da utilização de diversos modelos preditivos de perda de solo e transporte de sedimentos, contudo, ressalta-se a importância do conhecimento das limitações impostas a cada modelo especificamente, diante da escolha do mais apropriado e adaptável às situações ambientais da área objeto do presente estudo e da necessidade de determinações apuradas dos fatores integrantes do modelo.

Assim, a modelagem e medidas de plotagem de teste são consideradas mais confiáveis, embora muitos modelos, especialmente a EUPS, possuam restrições à erosão em sulcos e em folhas (Prasuhn, 2004).

Neste estudo aplicou-se a Equação Universal de Perdas de Solo resultante de esforços realizados na década de 60 por agências de pesquisa e de extensão dos Estados Unidos da América (EUA), na compilação de dados experimentais e de relações obtidas previamente. No Brasil, adequações de alguns fatores às condições climáticas e culturais foram propostas por alguns pesquisadores (Bertoni & Lombardi Neto, 1990) ao modelo de Wischmeier & Smith (1978).

A EUPS foi desenvolvida em 1954 no *National Runoff and Data Soil Loss Center* pela *Agricultural Resarch Service* em colaboração com a Universidade de *Purdue* (EUA), e posteriormente revisada por Wischmeier & Smith (1965) e (1978), sendo esta última a mais difundida.

A EUPS foi utilizada primariamente para predição de erosão em trechos de declives não muito acentuados e uniformes. Foster & Wischmeier (1974) foram os primeiros a desenvolver um procedimento para o cálculo da perda de solo em declives caracterizados como mais complexos. Eles dividiram declives irregulares em um número limitado de segmentos uniformes. Dessa forma, foram capazes de levar em consideração o formato do declive. Wischmeier & Smith (1978) continuaram esses estudos para declives irregulares, atribuindo peso para os trechos do declive conforme este fosse convexo ou côncavo.

A EUPS estima as perdas de solo por erosão laminar através da multiplicação de seis fatores intrínsecos às características climáticas, propriedades do solo, paisagem do terreno, cobertura vegetal com manejo agrícola e práticas conservacionistas: $A = R.K.L.S.C.P$, onde:

- A é a estimativa média anual de perda de solo (t/ha.ano);
- R é o fator erosividade das chuvas (MJ.mm/ha. h);
- K é o fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm);
- L é o comprimento da rampa (m);
- S é a declividade da Rampa (%);
- C é o fator de cobertura, uso/manejo (adimensional);
- P é o fator de práticas conservacionistas (adimensional).

Já o índice de criticidade representa informações mais apuradas, onde a relação de perda de solo passa a ser discretizada segundo critérios de criticidade e tolerância (Castro, 1992).

Pinto (1991) objetivando detectar indícios de processos erosivos definiu o índice de criticidade expresso por $IC = A / At$, onde:

- IC é o índice de criticidade;
- A é a estimativa media anual de perda de solo;
- At é o índice de perda de solo tolerável.

Valores de IC menores ou iguais a um indicam áreas consideradas não críticas, enquanto que IC maior que um indica áreas sob condições de maior criticidade quanto à perda de solo.

A Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) tem por objetivo prever a erosão, em $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$, que poderá ocorrer em determinada área agrícola, de forma que a magnitude da perda de solo fique situada dentro dos limites toleráveis. Esta equação relaciona, de forma combinada, todos os fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, quais sejam: erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), comprimento e grau do declive (LS), cobertura e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas de suporte (P). Dentre os fatores, destaca-se a erosividade da chuva (fator R da EUPS), que denota o potencial da chuva e enxurrada associada em causar erosão do solo, sendo determinada pelo produto da energia cinética total da chuva com sua intensidade máxima em trinta minutos. Desta forma, sua utilização é de fundamental importância para o estabelecimento do uso e manejo corretos do solo e, conseqüentemente, para a seleção das práticas conservacionistas de maior eficácia na redução da erosão hídrica.

Em seu trabalho Cândido & Santos (2009) em seu estudo intitulado “Mapeamento das áreas com solos com alto potencial de erosão na área da bacia do rio Manso – MT” realizaram o mapeamento do potencial de erosão do solo. Para estimar essa perda de solo utilizou a EUPS, onde os elementos foram calculados com ajuda dos mapas. Os resultados possibilitaram analisar que os terrenos com maior declividade apresentam maiores velocidade de escoamento superficial propiciando assim, uma maior capacidade erosiva. Esses locais com alta declividade, combinados com solos de alta erodibilidade, e com chuvas com forte potencial de erosividade, são fortes condicionantes para o surgimento de processos erosivos na bacia do

rio Manso. Na Figura 15 é mostrado o mapa de perda de solo, sendo muito baixa (0-10 t/ha.ano), baixa (11-50 t/ha.ano), moderada (51-100 t/ha.ano), alta (101-200 t/ha.ano) e muito alta (>201 t/ha.ano).

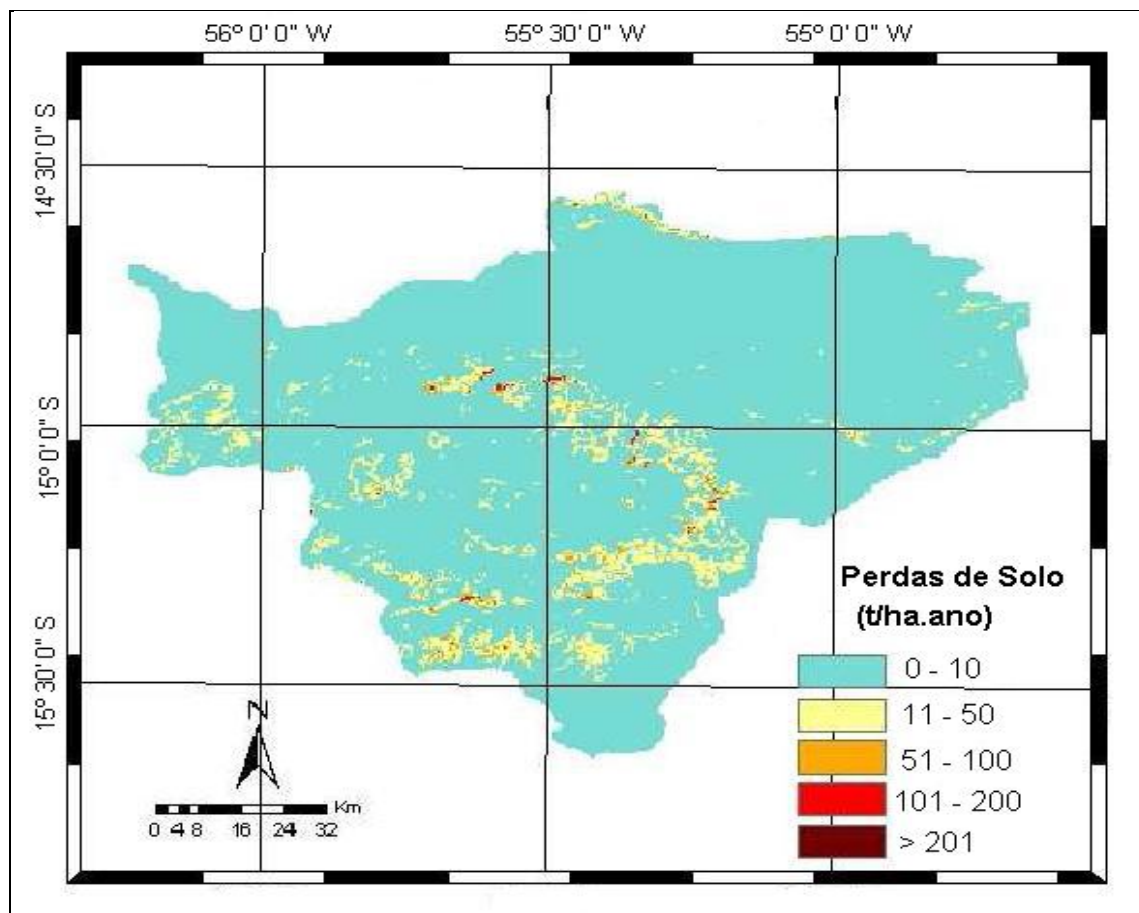


Figura 15 – Mapa de perda de solo na bacia hidrográfica do rio Manso (Cândido & Santos, 2009).

O mapeamento e avaliação do risco de erosão é uma importante ferramenta para o planejamento da gestão dos recursos naturais, permitindo pesquisadores a propor modificações no uso da terra adequadamente e implementar estratégias de gestão mais sustentável (Silva *et al*, 2010).

Assim, a estimativa de perda de solo e identificação de área crítica para a aplicação das melhores práticas de gestão é de fundamental para o sucesso do programa de conservação do solo (Shinde *et al*, 2010).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho tem como área de estudo a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Figura 16, Figura 17), pertencente à bacia hidrográfica do rio Paraná. O ribeirão do Feijão contém uma extensão de 22 km e encontra-se sob as coordenadas “22° 04’ 49,96 de latitude Sul e 47° 42’ 59,63 de longitude Oeste” e “22° 09’ 11,79 de latitude Sul e 47° 53’ 20,56” de longitude Oeste. Nasce na Serra do Cuscuzeiro, drenando os municípios de São Carlos (51% da área total), Analândia (22% da área total) e Itirapina (27% da área total), com uma área total de 22.864 ha, sendo afluente do rio Jacaré-Guaçu pela margem esquerda e este afluente do rio Tietê. A jusante do ribeirão do Feijão está situada a Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga (131,5 MW).

A bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão possui formato alongado, comprimento de eixo de 19 km, perímetro de 48 km, densidade de drenagem de 0,59 km/km² e declividade geral de 5,4 %.

O clima da região em estudo é Tropical de Altitude que, segundo Koppen é do tipo Cwa, com verões chuvosos e invernos secos, caracterizando seis meses quentes e úmidos e seis meses frios e secos. As temperaturas são: máxima em torno de 26,9° e mínima 16,2° C. As variações médias entre os períodos da manhã e da noite são de 5° C. A precipitação pluviométrica está em torno de 1.500 mm anuais. A umidade relativa do ar é de 76% no verão e de 54% no inverno. A região encontra-se em uma área com relevo de Cuestas, caracterizado por terrenos sedimentares e por uma região chamada de “*front*”, onde o relevo é muito íngreme, e o reverso, onde o terreno é mais plano e inclinado. A vegetação predominante é o Cerrado, com ocorrência de matas de morros e matas galerias no ribeirão, porém os cerrados são devastados para cobertura de pastagens e também para extração de areia e alumínio. A fauna da região é composta de animais de porte variado, ocorrendo no cerrado: tamanduás (bandeira e mirim), tatus, emas, seriemas, cascavéis, lobos-guarás, jibóias, cervos, carcarás, falcões, tucanos, muitos se encontram em vias de extinção. Na mata há ocorrência de sucuris, micos, jararacas, antas, e muito mais. A flora é muito variada: araucárias, bromélias, ipês, palmiteiros, angicos, barbatimão, etc (Perez Junior, 2009).

Na área do presente trabalho podem ser identificadas três cidades (Figura 16): São Carlos com 221.936 habitantes e uma área total de 1.141 km², sendo que 116 km² é drenada pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão; Analândia com 4.289 habitantes e uma área total de 327 km², sendo que 50 km² é drenada pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão e Itirapina com 15.528 habitantes e uma área total de 564 km², sendo que 62 km² é drenada pela bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, no Estado de São Paulo (IBGE, 2010).

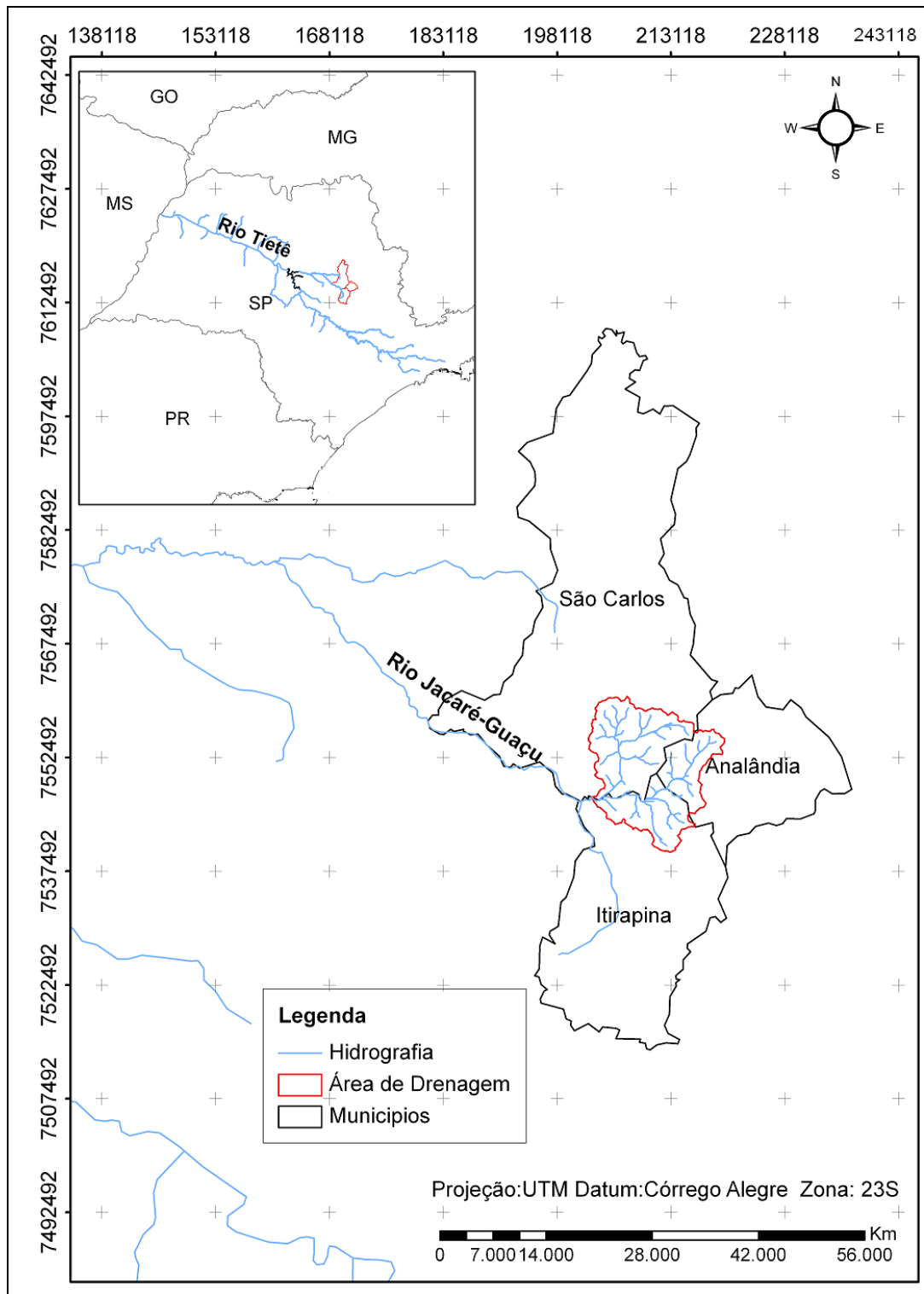


Figura 16 – Localização das drenagens do Estado de São Paulo e da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

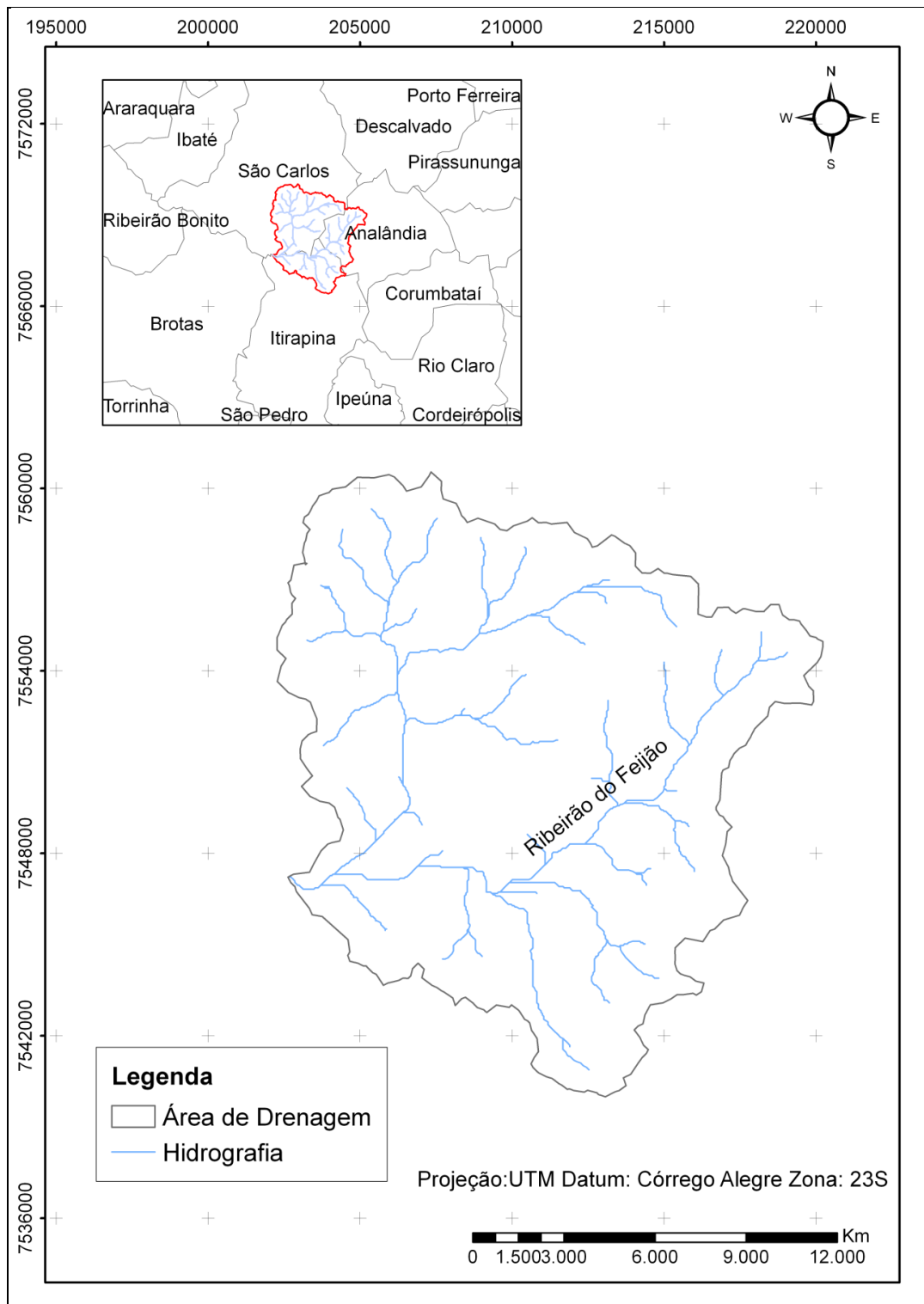


Figura 17 – Localização ampliada da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão em relação aos municípios do entorno.

A bacia hidrográfica em estudo possui uma unidade de Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), sendo a captação do ribeirão do Feijão responsável por parte do abastecimento da cidade de São Carlos (Tabela 2).

Em 1969 o SAAE construiu poços profundos para ampliar sua produção e acompanhar o aumento expressivo da população de São Carlos. O primeiro poço profundo foi o poço "Antônio Fischer dos Santos" que iniciou sua operação em 02 de junho de 1969 com vazão de 100 m³/h, hoje ainda produzindo 48 m³/h de água de excelente qualidade. A produção por poços foi ampliada acompanhando o aumento populacional com poços de grande produção construídos nos bairros São Carlos II, Azulville, Stella Fagá, Cidade Aracy e no Distrito Industrial, além dos distritos de Água Vermelha e Santa Eudóxia. O SAAE conta hoje com 18 poços em operação contínua com produção de 525 L/s, equivalente à produção proveniente das águas de superfície. A captação do ribeirão do Feijão foi inaugurada em 1971, iniciando sua operação a 250 L/s, com conseqüente ampliação da Estação de Tratamento de Água da Vila Pureza para 440 L/s. A captação do ribeirão recebeu melhoramentos com a construção de nova barragem inaugurada em 28 de junho de 1998, ampliando sua produção para 350 L/s. Reformas na Estação de Tratamento de Água de Vila Pureza ampliaram sua capacidade para 520 L/s (SAAE, 2010).

Tabela 2 – Recursos hídricos utilizados para abastecimento da cidade de São Carlos/SP.

Anos	Captações superficiais L/S		Feijão	Captações superficiais		Fontes subterrâneas		Total L/s
	Galdino	Monjolinho		L/S	%	L/S	%	
1989*	50,0	180,0	364,0	594,0	91,4	56,0	8,6	650,0
1994	**	135,0	238,0	373,1	57,6	274,7	42,4	647,8
1995	-	148,6	243,1	391,7	57,6	287,9	42,4	679,7
1996	-	180,5	233,5	413,3	57,3	308,5	42,7	721,9
1997	-	199,3	208,2	407,5	53,3	356,7	46,7	764,2
1998	-	229,5	189,9	419,4	53,8	359,9	46,2	779,3
1999	-	216,5	193,7	410,2	53,9	351,3	46,1	761,5
2000	-	195,2	202,8	398,0	53,1	351,4	46,9	749,4
2001	-	187,8	239,1	426,9	57,4	317,3	42,6	744,2
2002	-	201,5	207,8	415,3	55,9	327,4	44,1	742,7
2003	-	230,2	234,2	465,6	57,6	342,9	42,4	808,5
2004	-	223,5	224,8	448,3	55,1	365,3	44,9	813,6
2005	-	228,9	218,4	447,3	52,2	408,9	47,8	856,2
2006	-	227,7	216,0	443,7	51,7	414,9	48,3	858,6
2007	-	205,2	240,2	445,4	50,8	431,1	49,2	876,5
2008	-	216,6	249,6	468,0	52,7	420,7	47,3	888,8
2009	-	225,9	246,3	472,3	51,8	439,2	48,2	911,4

Fonte: Costa (2010, *apud* Dupas, 2001).

* O córrego do Galdino tornou-se impróprio para abastecimento urbano entre 1989 e 1994.

4 METODOLOGIA

Este capítulo sintetiza os materiais utilizados e os métodos na realização do presente trabalho. O item 4.1 expõe os materiais utilizados e o item 4.2 expõe os métodos utilizados nas quatro etapas do trabalho: 1 – Determinação do Modelo Digital de Elevação (4.2.1); 2 - Determinação dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo (4.2.2); 3 – Equação Universal de Perda de Solo (4.2.3); 4 – Simulação de cenários de perda de solo (4.2.4).

4.1 Materiais

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais: SIG *ArcGIS*, versão 9.2; *Software Google Earth*; *Software Global Mapper*, versão 11; *Software Excel 2007*; Mapa de uso e cobertura do solo (Cunha, 2011); Mapa de tipos de solo (Embrapa, 1981); Folhas topográficas de São Carlos - SF-23-Y-A-I-1; Corumbataí - SF-23-Y-A-I-2, em escala 1: 50.000, editadas pelo IBGE (1971); Dados do SRTM; Série histórica de precipitação, disponibilizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) – Hidroweb, referente ao período de 1978 a 2007 e seis pontos dentro da bacia hidrográfica em estudo para análise entre eles.

Os *softwares*, imagens e instrumentos supracitados foram disponibilizados pelo NEPA – Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática, pertencente ao Instituto de Recursos Naturais (IRN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

Os materiais cartográficos utilizados foram georreferenciados na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre (MG), Datum Vertical Marégrafo de Imbituba (SC) e Meridiano Central 45° W.

4.2 Métodos

Neste trabalho foram utilizados dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que são usados para gerar os Modelos Digitais de Elevação (MDEs); desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) nos Estados Unidos, Alemanha (DLR) e Itália (ASI) no ano de 2000. Esses produtos foram gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour. Sua resolução dependerá de qual altitude ele voa e de quantos pulsos ele emite por segundo (quanto mais pulso, maior a área varrida, melhor a resolução e detalhes no recobrimento), assim ele gera as grades com valores de altimetria. As especificações do SRTM são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações de precisão do SRTM.

Horizontal (absoluta)	+/- 20m (90% circular)
Horizontal (relativa)	+/- 15m (90% circular)
Vertical (absoluta)	+/- 16m (90% circular)
Vertical (relativa)	+/- 6m (90% circular)

Fonte: Nóbrega *et al*,2001.

O presente trabalho consiste em quatro etapas gerais, sendo os passos representados através do fluxograma da metodologia aplicada (Figura 18).

4.2.1 Determinação do Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE utilizado no trabalho possui uma resolução espacial de 45x45 m, obtido gratuitamente do site da NASA e processado através do *software Global Mapper* versão 11.

Para a geração da área de drenagem e da hidrografia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão foi necessário o auxílio das ferramentas *Spatial Analyst (Hydrology -> Watershed)* do *software ArcGIS 9.2*, do MDE da bacia hidrográfica e das cartas topográficas da região como referência no processo de georreferenciamento, sendo estas editadas pelo IBGE (1971).

4.2.2 Determinação dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo

Neste item são abordadas as técnicas adotadas para o cálculo de cada fator da EUPS.

A - FATOR R: EROSIVIDADE DA CHUVA

O fator R é definido como um valor numérico que expressa a capacidade da chuva em uma dada localidade de causar erosão em uma área sem proteção (Wischmeier & Smith, 1962).

A erosividade da chuva pode ser calculada pela Equação 1.

$$R = \sum EI = 67,355 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,850} \quad \text{Equação 1}$$

Onde temos:

R = Erosividade da chuva

EI = Erosividade média mensal (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹)

r = Precipitação média mensal (mm)

P = Precipitação média anual (mm).

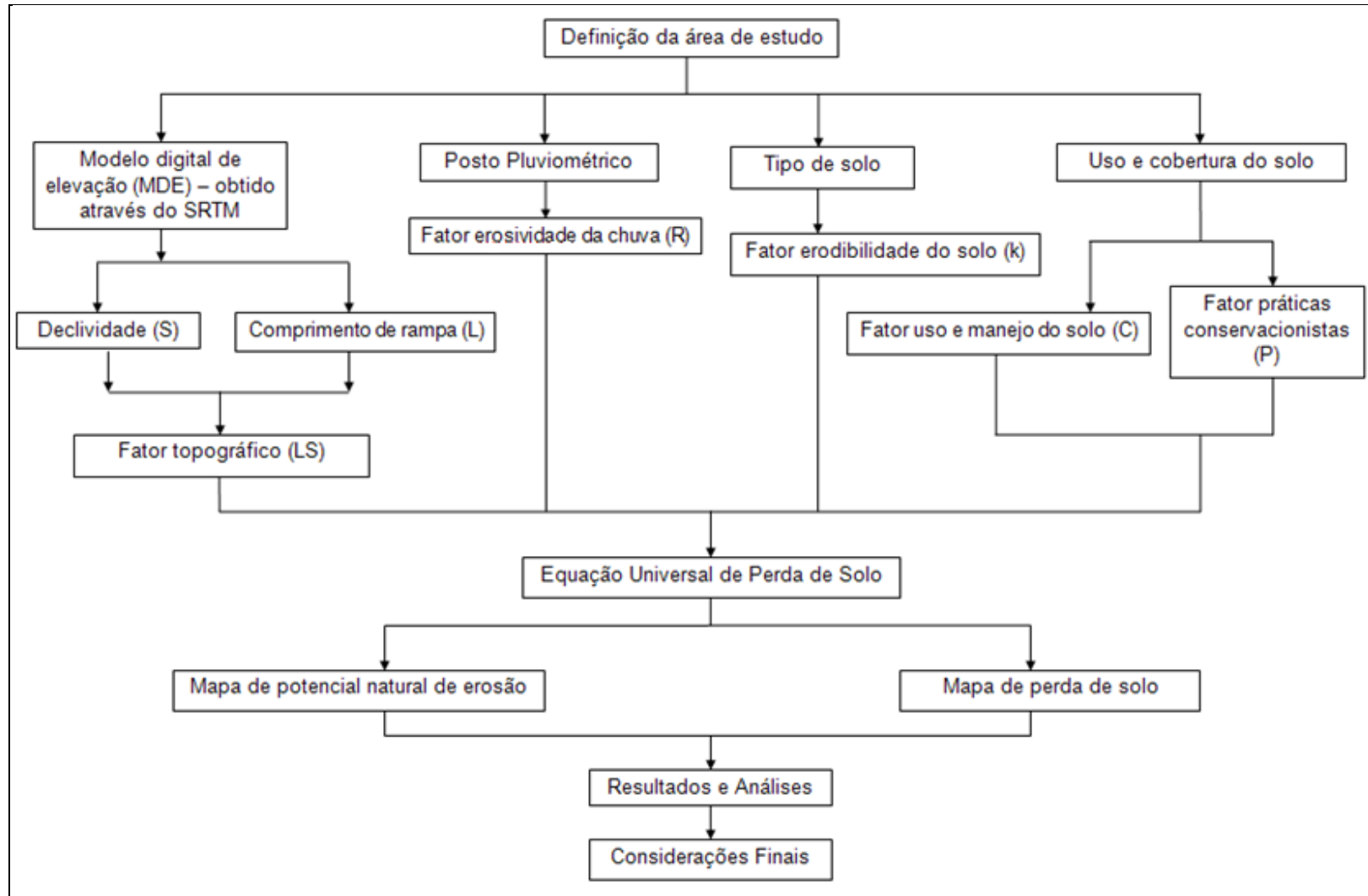


Figura 18 – Fluxograma da metodologia aplicada.

Para este estudo utilizou-se os dados pluviométricos do posto Fazenda Santa Holanda (2247198), com uma série de 29 anos, obtidos em instrumentos localizados na própria área de estudo. O posto encontra-se a 780 metros de altitude em relação ao nível do mar nas coordenadas 22° 10' 47" de latitude Sul e 47° 46' 59" de longitude Oeste, com o Datum Córrego Alegre. Optou-se pela série pluviométrica de janeiro de 1978 a dezembro de 2007, obtida no site da ANA, Hidroweb, pois quanto maior a série histórica mais correta é a informação.

Estes dados foram trabalhados no *software Excel 2007*, calculando as precipitações médias mensais e anuais e determinando os valores da erosividade da região utilizando a Equação 1, sendo que o valor anual foi determinado pela soma dos doze valores mensais.

O valor calculado foi considerado constante para toda a área pelo fato de não existir dentro do limite da área estações com mais de 30 anos de observações, o que é uma condição de entrada no modelo. Sendo assim, foi encontrado na área um valor de 7.063 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Segundo Carvalho (2008), o valor da erosividade é considerado médio (R de 5.000 a 7.500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹).

B - FATOR K: ERODIBILIDADE DO SOLO

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) a erodibilidade do solo está diretamente relacionada às características do solo que contribuem para a suscetibilidade à erosão. A erodibilidade de um solo pela água é determinada pelas suas propriedades intrínsecas que afetam a velocidade de infiltração no solo, permeabilidade e a capacidade de absorção de água; e as que conferem resistência à dispersão, à abrasão e às forças de transporte das chuvas e enxurrada.

Entretanto Wishmeier & Mannering (1969) concluíram que a erodibilidade é o fator mais importante na predição da erosão e no planejamento do uso do solo. É uma complexa propriedade composta pela sua capacidade de infiltração e pela capacidade de resistência à fragmentação e transporte de sedimentos pela precipitação e escoamento superficial.

Para Lal (1988) e Morgan (1995) a erodibilidade representa o efeito integrado de processos que regulamentam a infiltração de água e a resistência de um corpo de solo à desagregação.

Para a obtenção do fator k neste estudo foi preciso do mapa de tipo de solo (Embrapa, 1981), fornecido pelo NEPA (Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI), que utilizou de informações obtidas do levantamento pedológico da região estudada, Folhas topográficas de São Carlos - SF-23-Y-A-I-1; Corumbataí - SF-23-Y-A-I-2, em escala 1: 50.000, editadas pelo IBGE (1971).

C - FATOR LS: FATORES TOPOGRÁFICOS

O gradiente de declividade (S) refere-se à variação da declividade, sendo expresso em porcentagem (Neves *et al*, 2008). A direção de fluxo compreende a direção que a vertente segue em relação à declividade do terreno. O fator topográfico compreende o comprimento da vertente L que representa a distância entre o ponto onde se origina o escoamento superficial até o ponto onde a declividade decresce o suficiente para que ocorra a deposição de sedimentos, ou onde a água entra no sistema de canais de drenagem naturais ou artificiais. O fator topográfico está diretamente relacionado às características do relevo do terreno, sendo que este fator é obtido através da relação entre comprimento da rampa e a declividade do terreno.

Utilizando-se do MDE e com o auxílio da extensão *Spatial Analyst*, via comando *Slope* do software *ArcGIS 9.2* gerou-se a declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Da mesma maneira que o MDE, este mapa é composto pela mesma quantidade de *pixels* da imagem que será trabalhada e com as mesmas coordenadas geográficas.

Para este estudo o cálculo da direção de fluxo foi feito com o auxílio da extensão *Spatial Analyst*, via comando *Aspect* do software *ArcGIS 9.2*, fornecendo o mapa de direção de fluxo da área de estudo. Da mesma maneira que o MDE, este mapa é composto pela mesma quantidade de *pixels* da imagem que será trabalhada e com as mesmas coordenadas geográficas.

Os mapas de declividade e direção de fluxo foram reclassificados e combinados de modo a gerar o mapa de rampas homogêneas, de onde foram extraídos os valores de declividade média de rampa e de altura de rampa a partir do mapa de declividade e do MDE (SRTM), respectivamente. O mapa de comprimento de rampa foi gerado utilizando a Equação 2 (Neves *et al*, 2008).

$$C = h / \text{sen } \alpha$$

Equação 2

Onde:

C é o comprimento de rampa em metros (m);

h é a diferença de altura da rampa em metros (m);

α é a declividade média do polígono em graus (°).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) o fator comprimento de rampa (L) está diretamente relacionado ao comprimento, enquanto que o fator declividade (S) está relacionado ao declive do terreno. Esses valores são estudados separadamente, no entanto, para o emprego destes na Equação Universal da Perda de Solo, eles foram unidos em um único fator chamado LS. Este representa a relação das perdas de solo esperadas por unidade de área em

um local com um declive qualquer, comparada às perdas de solo correspondentes em uma parcela unitária padrão de 25 metros com 9% de declividade.

Temos que a Equação 3 pode ser utilizada para a determinação do fator LS.

$$LS = 0,00984 \cdot C_{LS}^{0,63} \cdot D^{1,18} \quad \text{Equação 3}$$

Situação em que:

LS = Fator topográfico (adimensional)

C_{LS} = Comprimento da rampa (m)

D = Grau de declividade (%)

D - FATOR C: USO E MANEJO DO SOLO

Para Neves *et al* (2008) o uso do fator C é a relação esperada entre as perdas de um solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado. O fator C mede o efeito combinado de todas as relações das variáveis de cobertura e manejo utilizadas, desde o plantio até a colheita, e influenciado pela época em que cada operação é realizada. As perdas de solo em uma área desprovida de qualquer tipo de cobertura podem ser determinadas pela PNE. Porém se houver algum tipo de cultivo, as perdas de solo serão reduzidas devido à proteção que a cobertura oferece ao solo.

Para a obtenção do fator C foi realizado o mapeamento da cobertura do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão por Cunha (2011), que efetuou a partir de uma composição colorida elaborada através das imagens do satélite ALOS - sensor AVNIR-2, de Novembro de 2007.

Para este trabalho adotou-se valores do fator C da bibliografia de Ribeiro & Alves (2007).

E - FATOR P: PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

O fator P é a relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo (Neves *et al*, 2008).

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) as práticas conservacionistas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a vegetação para defender o solo contra a erosão. A densidade da cobertura vegetal é o princípio fundamental de toda proteção que se oferece ao solo.

As técnicas ou práticas de conservação dos solos visam minimizar as alterações decorrentes pelo uso agrícola. Embora, sua aplicação de recuperação extrapole o campo da agricultura, sendo utilizada em áreas degradadas não-agrícolas (Silva, 2009).

Entre as práticas de conservação distinguem-se as de caráter vegetativo, edáfico e mecânico. De acordo com Salomão (2005) as técnicas de caráter vegetativo e edáfico são de mais fácil aplicação, menos dispendiosas e mantêm os terrenos cultivados em condições próximas ao seu estado natural e as técnicas mecânicas são utilizadas em terrenos muito suscetíveis à erosão.

Para este trabalho adotou-se valores do fator P da bibliografia de Ribeiro & Alves (2007).

4.2.3 Equação Universal de Perda de Solo

Temos que a Equação Universal de Perda de Solo apresentada na Equação 4 foi proposta por Wischmeier & Smith (1978), que tem como finalidade auxiliar na estimativa da perda anual de solo que é ocasionada por erosão.

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{Equação 4}$$

Onde temos:

A = Perda de solo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)

R = Fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$)

K = Fator de erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

L = Fator de comprimento da rampa (adimensional)

S = Fator do grau de declividade (adimensional)

C = Fator de uso e manejo (adimensional)

P = Fator prática conservacionista (adimensional)

Com base nos fatores físicos da EUPS, foi definido o PNE, que é o Potencial Natural de Erosão, e este está relacionado aos parâmetros físicos do meio. Essa é a estimativa da perda de solo para um meio no qual ainda não houve intervenção humana e no qual não há qualquer tipo de cobertura vegetal. A Equação 5 mostra esse potencial.

$$PNE = R \cdot K \cdot L \cdot S \quad \text{Equação 5}$$

Onde temos:

PNE= Potencial natural de erosão ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)

R = Fator de erosividade da chuva ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$)

K = Fator de erodibilidade do solo ($t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

L = Fator de comprimento da rampa (adimensional)

S = Fator do grau de declividade (adimensional)

4.2.4 Simulação dos cenários de Perda de Solo

Após a elaboração do MDE, dos mapas de tipo de solo, de declividade, de comprimento de rampa e do uso e cobertura do solo, através do *software ArcGis 9.2*, a declividade foi transformada em pontos e intersectada com os outros em raster. Assim foi criado um banco de dados geográficos, que constitui a área física de trabalho, e, em seguida, foram definidas categorias, planos de informação e classes temáticas, às quais pertencem os dados. Tudo isso foi possível através da utilização do *software*, onde os dados foram armazenados. Finalmente, a manipulação e integração desses dados foram realizadas a partir das funções *Hawths tools*, *analysis tools*, *intersect* disponíveis no SIGs/*ArcGIS 9.2*. Através do *software Excel 2007*, para onde os dados foram exportados e colocados em colunas, acrescentou-se os valores de erodibilidade (k), os valores de erosividade (R) e fator topográfico (LS). Na última coluna foi calculada a equação de Potencial Natural de Erosão. Depois de calculado os valores, estes foram importados para o *software ArcGis 9.2* e transformados no mapa de Potencial Natural de Erosão.

O mesmo foi feito para o cálculo do mapa de Perda de Solo, porém na planilha do *software Excel 2007* foram incluídas as colunas com os valores de fatores de uso e manejo do solo (C) e de práticas conservacionistas (P). Após o cálculo dos valores da equação de perda de solo, estes foram importados para o *software ArcGis 9.2* e transformados no mapa de Perda de Solo.

Os cenários foram obtidos por simulação da perda de solo considerando:

- Cenário (1) - Potencial Natural de Erosão (PNE) – na qual considera somente a ação dos fatores físicos que interferem na perda de solo (erosividade, erodibilidade e topografia), admitindo que o solo esteja descoberto;
- Cenário (2) – Estimativa de Perda de Solo – na qual considera a ação dos fatores físicos e os usos e manejo do solo e as práticas conservacionistas.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas etapas constituintes do presente trabalho. O item 5.1 expõe os resultados referentes à obtenção do MDE; o item 5.2 expõe os resultados referentes à obtenção dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo e o item 5.3 expõe os resultados referentes aos cenários de perda de solo.

5.1 Obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Pela Figura 19 o MDE apresenta altitudes que variam de 693 a 1.025 m, sendo a região da cabeceira a que apresenta maiores altitudes.

Para o trabalho obteve-se a delimitação da área de drenagem e a hidrografia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Figura 20).

5.2 Obtenção dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo

Este item expõe os valores encontrados para cada fator da EUPS.

5.2.1 Fator R: Erosividade da Chuva

Os dados de erosividade obtidos no trabalho estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de erosividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Mês	Pluviometria (mm)	Erosividade (MJ mm/ha h ano)
Jan	257	1.715
Fev	197	1.090
Mar	164	799
Abr	75	213
Mai	71	194
Jun	44	86
Jul	30	46
Ago	41	77
Set	77	220
Out	118	456
Nov	162	785
Dez	226	1.383
Média anual	1.463	7.063

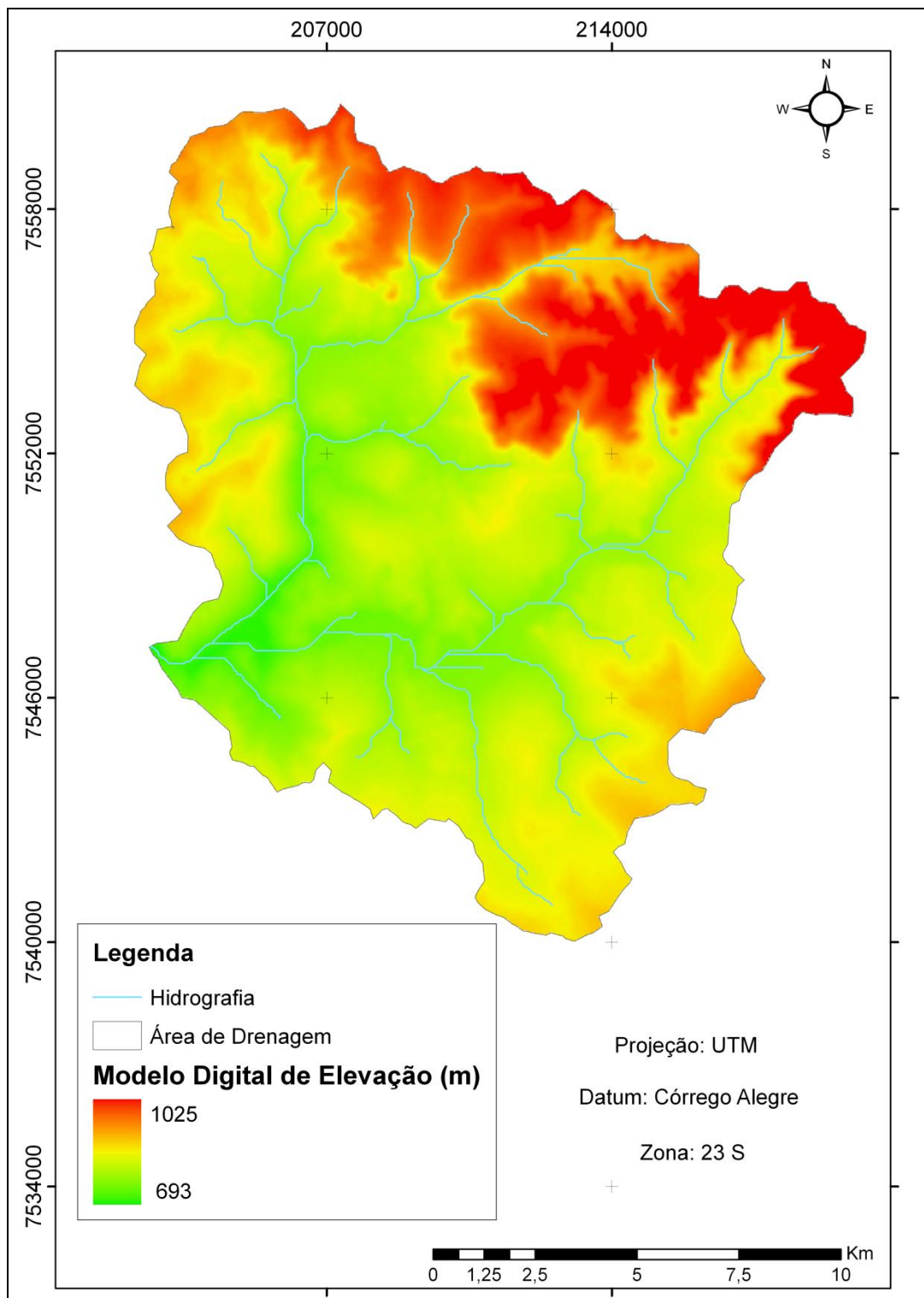


Figura 19 – Modelo Digital de Elevação da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

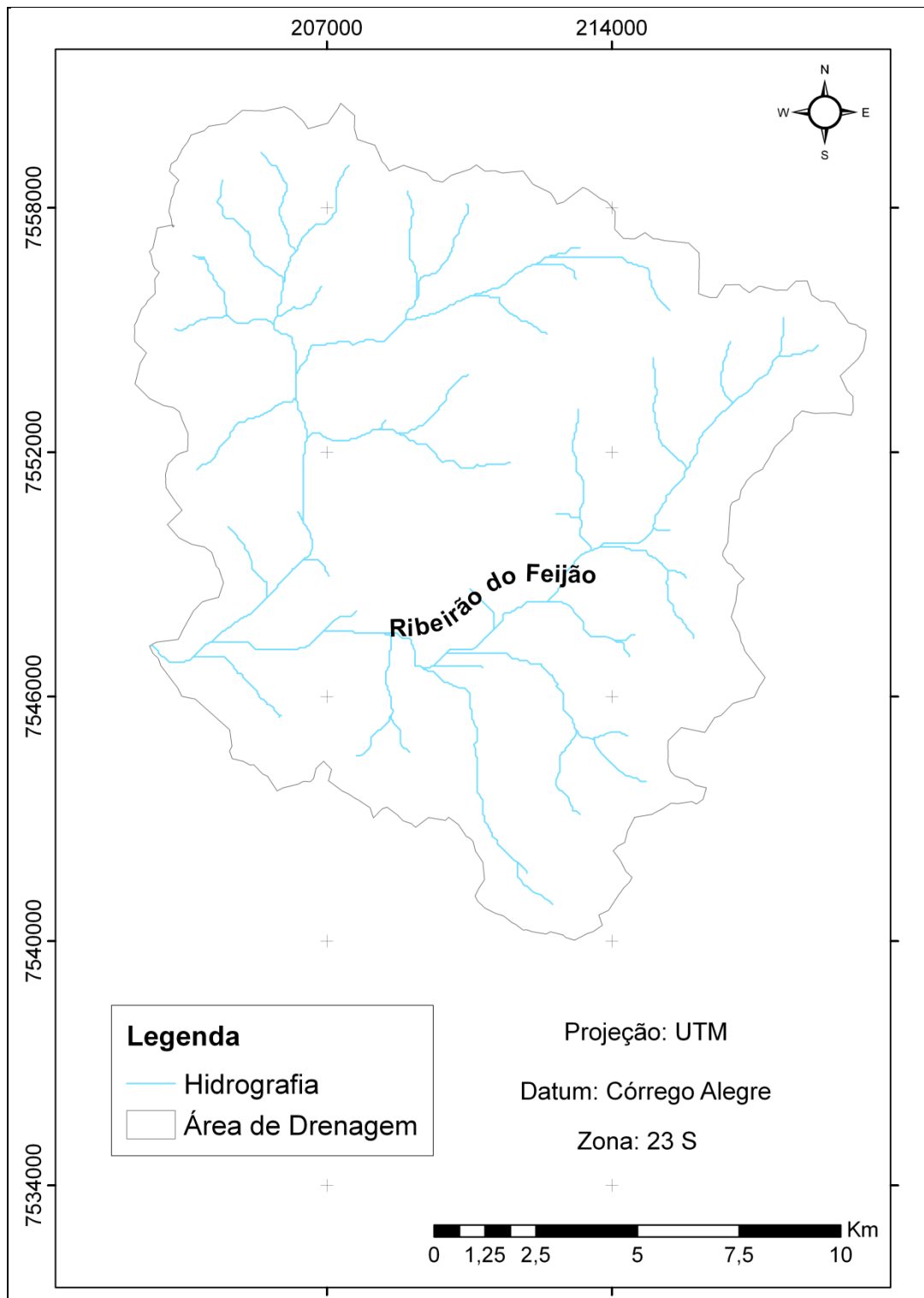


Figura 20 – Área de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Pelos dados obtidos podemos observar que os maiores índices de erosividade na região do estudo são do mês de outubro a março, verão e primavera; ou seja, períodos em que as chuvas são mais frequentes (Figura 21).

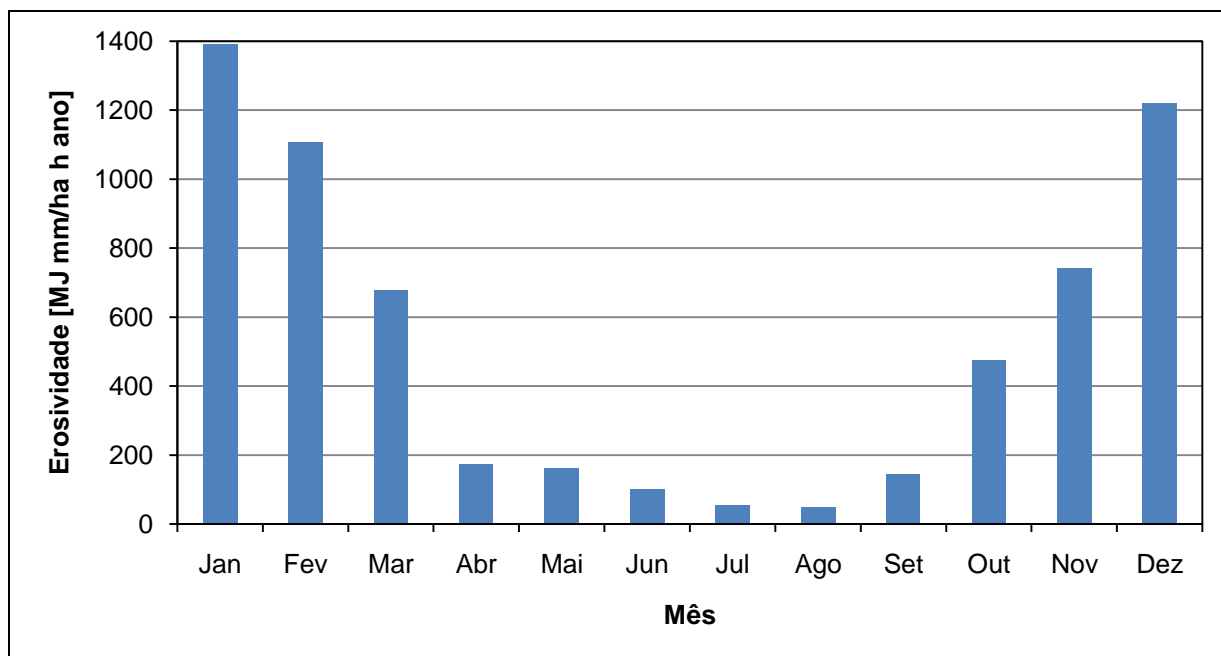


Figura 21 – Distribuição da erosividade durante o ano na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Então, nesse período a perda de solo pode ser maior, devido ao escoamento superficial ser bem maior em relação ao período de abril a setembro. Regiões sem um uso e cobertura do solo em relação a regiões com uso e cobertura do solo vão apresentar também maiores índices de escoamento superficial, e com isso uma maior perda de solo.

Diante dos dados obtidos chega-se à conclusão que as perdas de solo anuais são de acordo com o período do ano, com a estação climática (Figura 21) e o uso e cobertura do solo.

5.2.2 Fator K: Erodibilidade do Solo

Na área de drenagem da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão o solo que predomina é o latossolo vermelho amarelo (Figura 22), seguido de neossolo quartzarênico, com erodibilidade menor. Nas margens do ribeirão estão presentes solos hidromórficos, pois são tipos de solos presentes em áreas úmidas. Na cabeceira tem-se o latossolo vermelho amarelo, neossolo litólico e argissolo vermelho amarelo.

Os valores de k (erodibilidade) para cada tipo de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão foram adotados através de Chaves (1994). Na Tabela 5 são mostrados os valores utilizados no cálculo.

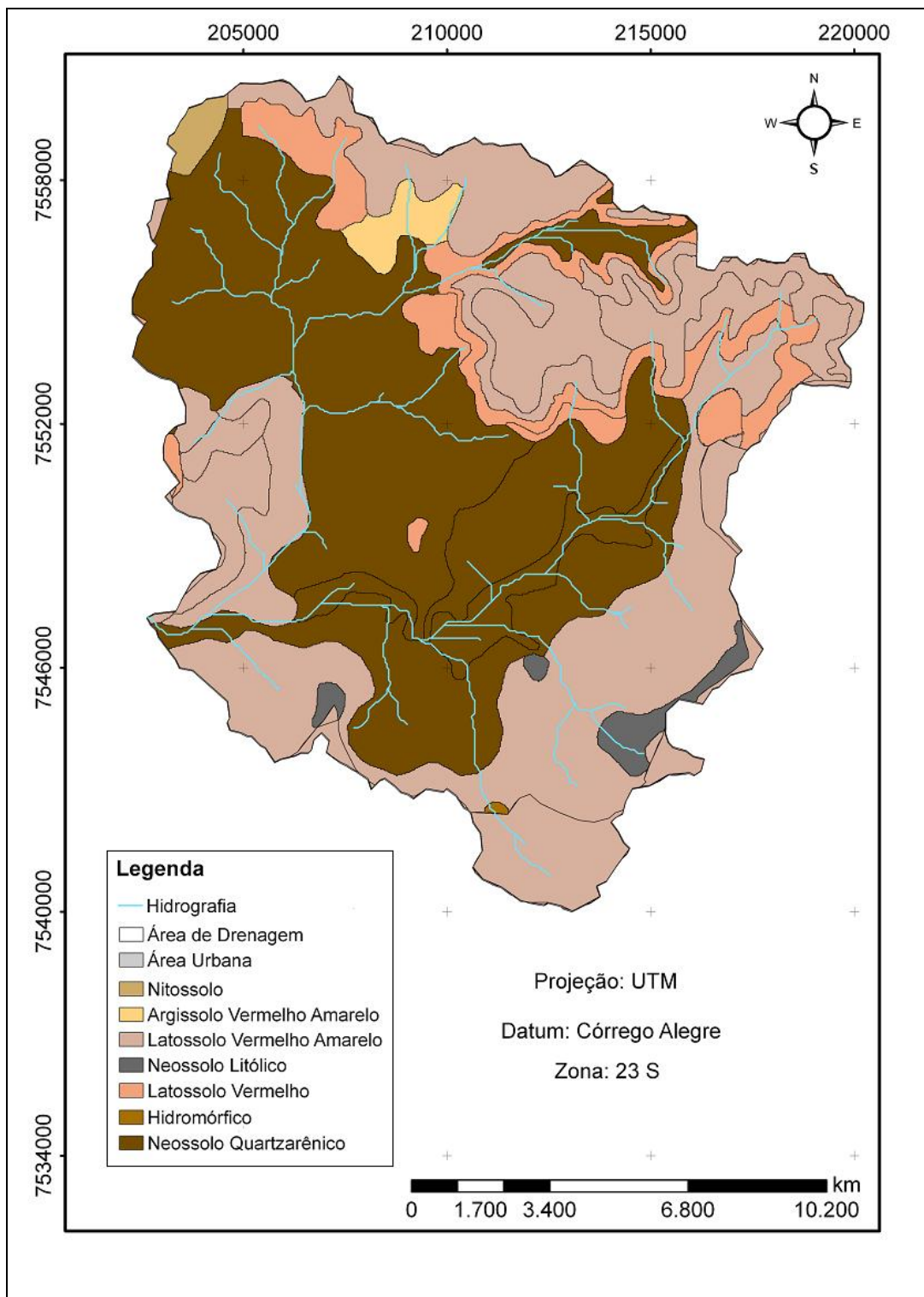


Figura 22 – Tipos de solos da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Embrapa, 1981).

Tabela 5 - Valores de erodibilidade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Classes de Solos	Valores de k
Nitossolo (N)	0,011
Argissolo Vermelho Amarelo (AVA)	0,046
Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	0,020
Latossolo Vermelho (LV)	0,013
Neossolo Litólico (NL)	0,045
Hidromórfico (H)	0,008
Neossolo Quartzarênico (NQ)	0,041

Fonte: Chaves (1994).

5.2.1 Fator LS: Fator Topográfico

O mapa de declividade (Figura 23) foi dividido em cinco classes. A primeira classe varia de 0% a 5%, a segunda de 6% a 10%, a terceira de 11% a 20%, a quarta de 21% a 36% e a quinta de 37% a 74%. Declividades entre 0% e 5%, predominam na bacia, refletindo o relevo plano da região. Declividades acima de 10% ocorrem na cabeceira da bacia.

Na Figura 24 são apresentados os valores encontrados para a direção de fluxo da bacia do ribeirão do Feijão, sendo estes de 0° a 360°, bem distribuídos na bacia.

Com os valores de declividade e direção de fluxo, calcularam-se os valores de comprimento de rampa pela Equação 2. Com esses valores e os de declividade calcularam-se os valores de LS pela Equação 3.

Os valores do fator topográfico (LS) variam de 0 a 85 (Figura 25), a primeira classe varia de 0 a 15, a segunda de 16 a 30, a terceira de 31 a 45, a quarta de 46 a 60 e a quinta de 61 a 85; sendo que os maiores valores encontram-se a noroeste da bacia do ribeirão do Feijão, onde a declividade é maior também.

Se analisar os valores encontrados por Neves *et al* (2008) através do SRTM, percebe-se que os resultados de declividade, direção de fluxo e comprimento de rampa estão bem coerentes. A declividade de Neves *et al* (2008) variou de 0 a >50%, a direção de fluxo de 0° a 360° e o comprimento de rampa de 0 a >50, tornando o uso do SRTM favorável pela praticidade, minimização de custos, tempo na execução dos trabalhos e pelo detalhamento apresentado.

Os resultados encontrados neste trabalho para declividade, direção fluxo e comprimento de rampa, estão semelhantes com os resultados encontrados por Neves *et al* (2008).

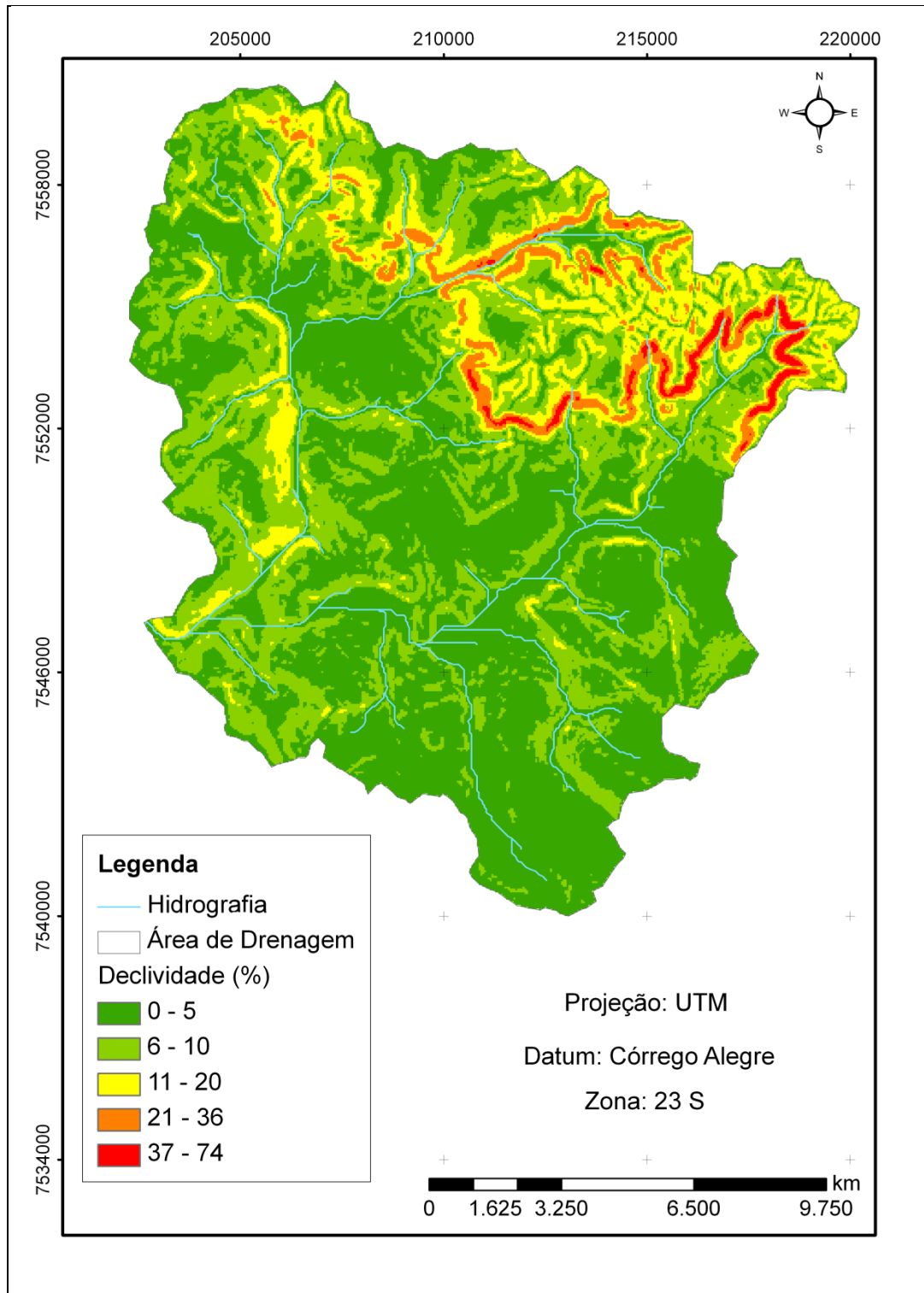


Figura 23 – Dados de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

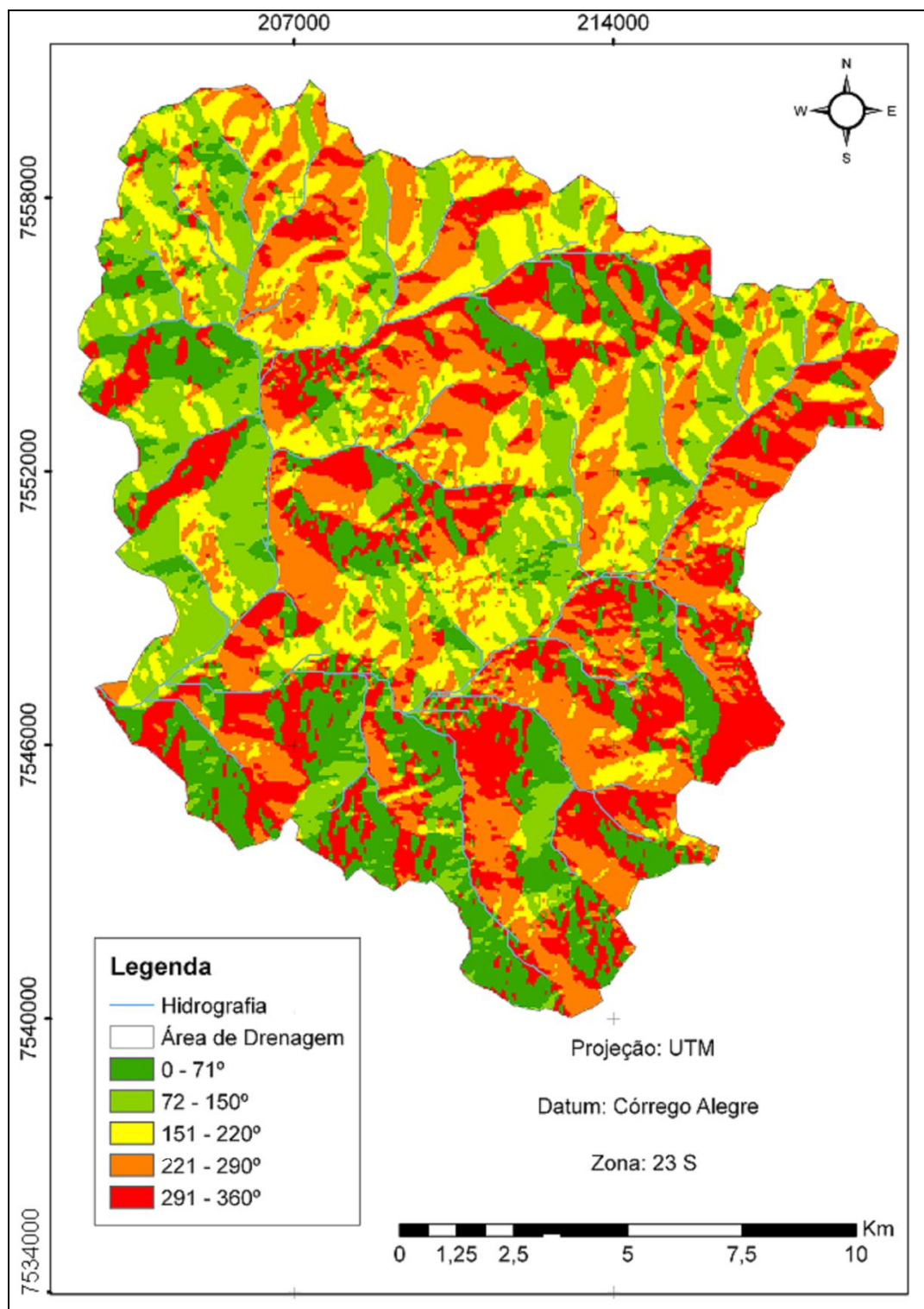


Figura 24 – Dados de direção de fluxo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

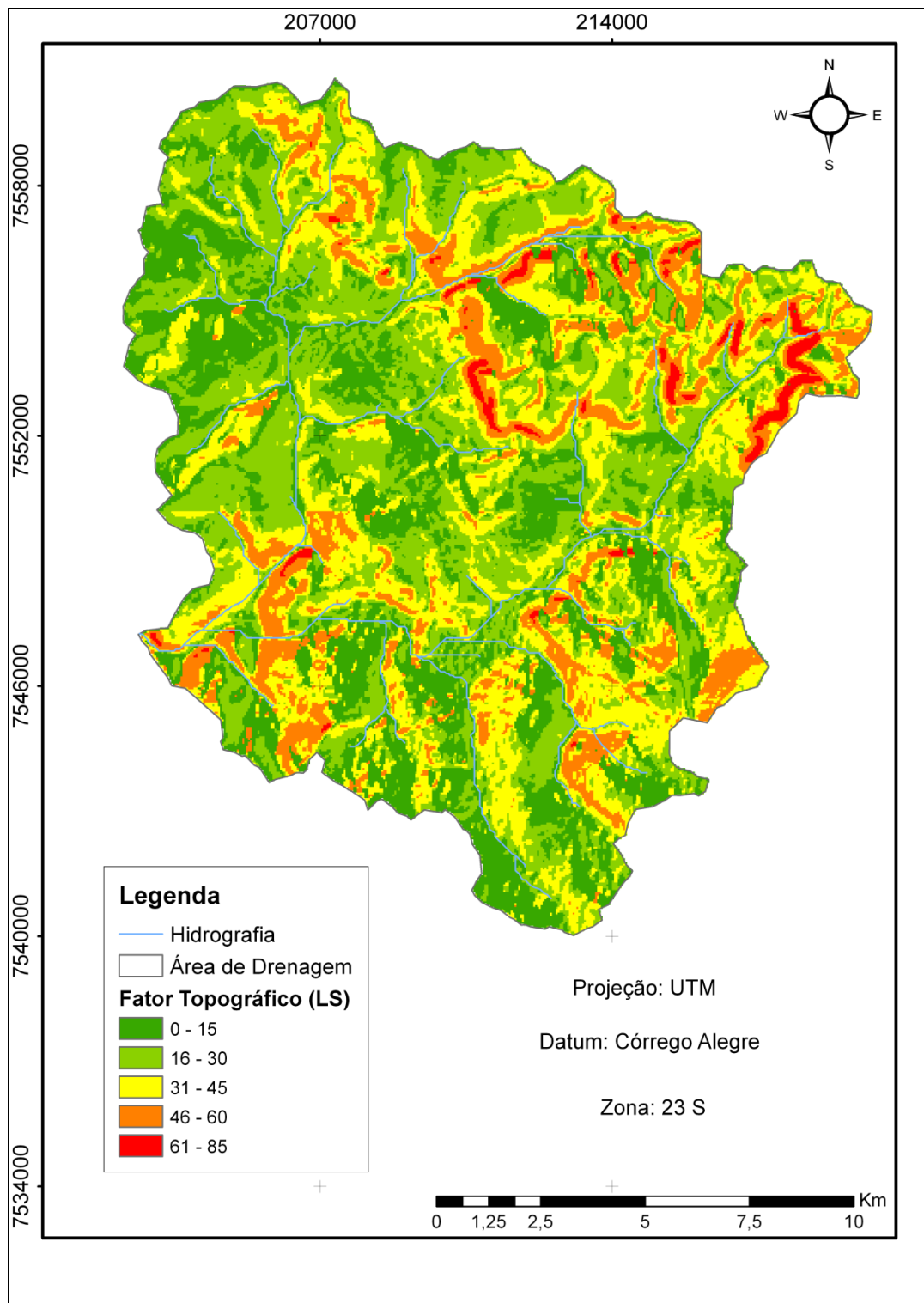


Figura 25 – Dados de fator topográfico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

O comportamento do MDE é adequado ao representar as variações da superfície física do terreno. No entanto, em algumas regiões fogem a essa regra, devido à presença de edificações, de árvores que, embora baixas, podem ter interferências na detecção da superfície física do terreno por parte do sistema sensor, ao passo que no processo de restituição fotogramétrica, o operador desconsidera a edificação, a árvore, traçando a altimetria a partir de observações tangentes ao solo.

5.2.2 Fator C: Uso e Manejo do Solo

Com a composição colorida devidamente georreferenciada e os pontos de verdade terrestre, foi realizada a classificação supervisionada, sendo o mapa elaborado por Cunha (2011).

Determinaram-se basicamente nove representativos do uso e cobertura do solo do local:

- Mata Ciliar/Encosta;
- Urbano;
- Cerrado;
- Reflorestamento;
- Solo Exposto;
- Pastagem;
- Cana de açúcar;
- Laranja;
- Água.

No mapa de uso e cobertura do solo (Figura 26), o predominante é a pastagem, seguido de laranja e solo exposto. Em sua cabeceira estão presentes a cana de açúcar, a pastagem, a laranja e a mata ciliar.

Para o cálculo dos fatores C atribuíram-se os valores da bibliografia de Ribeiro & Alves (2007), para cada uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica em estudo, apresentados na Tabela 6.

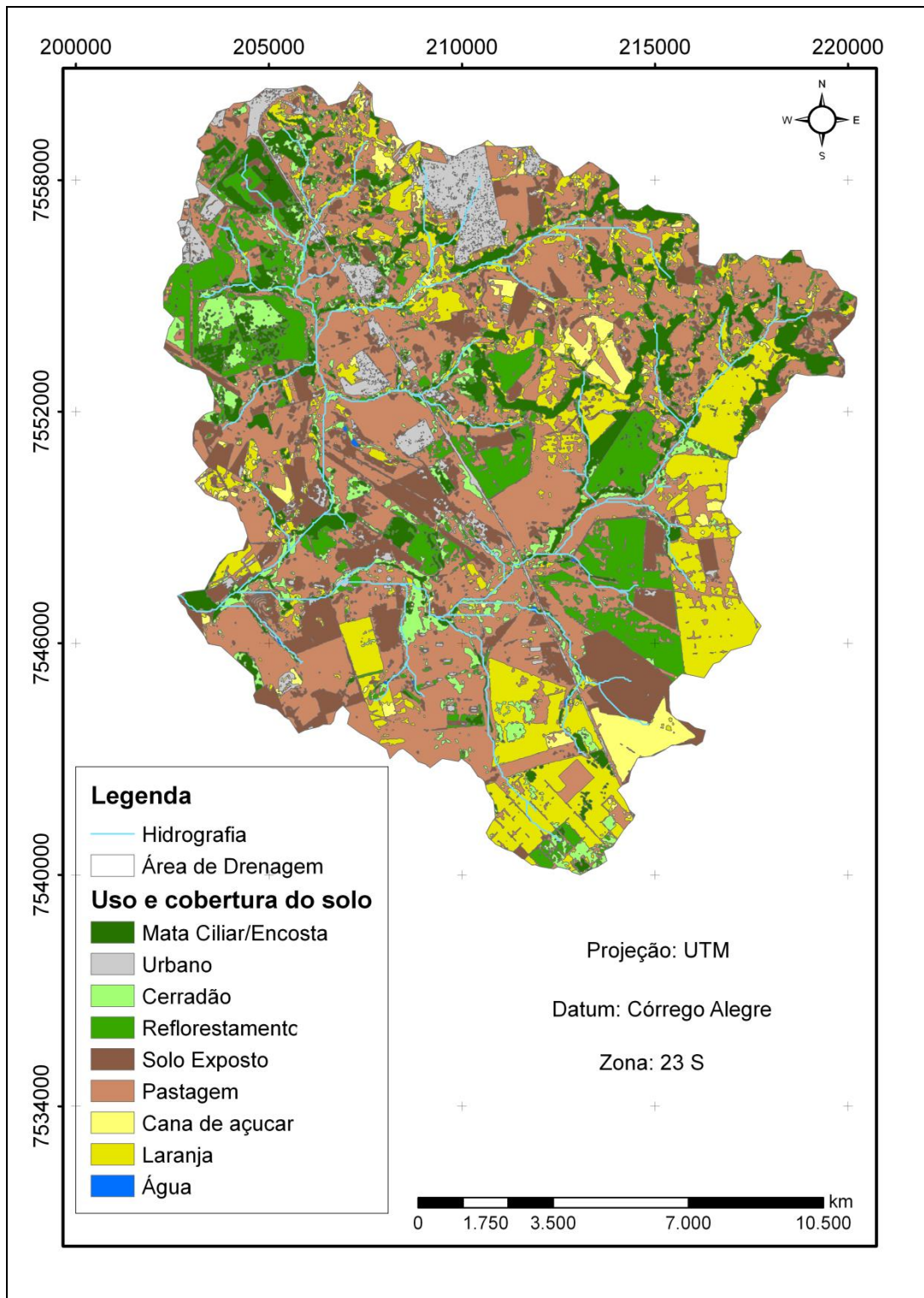


Figura 26 – Uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Cunha, 2011).

Tabela 6 - Valores de C para cada uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do Solo	% (Área total)	C
Mata Ciliar/Encosta	10,1	0,0001
Urbano	4,7	0,000
Cerrado	5,4	0,0007
Reflorestamento	10,1	0,0001
Solo Exposto	12,3	1,000
Pastagem	38,0	0,0250
Cana de açúcar	3,3	0,3066
Laranja	15,9	0,200
Água	0,1	0,000

Fonte dos valores do Fator C: Ribeiro & Alves (2007).

5.2.1 Fator P: Práticas Conservacionistas

Para o cálculo do fator P, atribuíram-se os valores da bibliografia de Ribeiro & Alves (2007), para cada uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica em estudo, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores de P.

Uso e cobertura do Solo	% (Área total)	P
Mata Ciliar/Encosta	10,1	1,0
Urbano	4,7	0,8
Cerrado	5,4	1,0
Reflorestamento	10,1	0,5
Solo Exposto	12,3	1,0
Pastagem	38,0	1,0
Cana de açúcar	3,3	0,5
Laranja	15,9	0,5
Água	0,1	1,0

Fonte dos valores do Fator P: Ribeiro & Alves (2007).

5.3 Cenários de Perda de Solo

Para o cenário (1) – Potencial Natural de Erosão - Figura 27, segundo Miguel (2010), a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão foi dividida em cinco classes, mostrando que as maiores perdas de solo estão concentradas nas porções nordeste e noroeste da bacia, isso se deve ao fator topográfico e erodibilidade do solo.

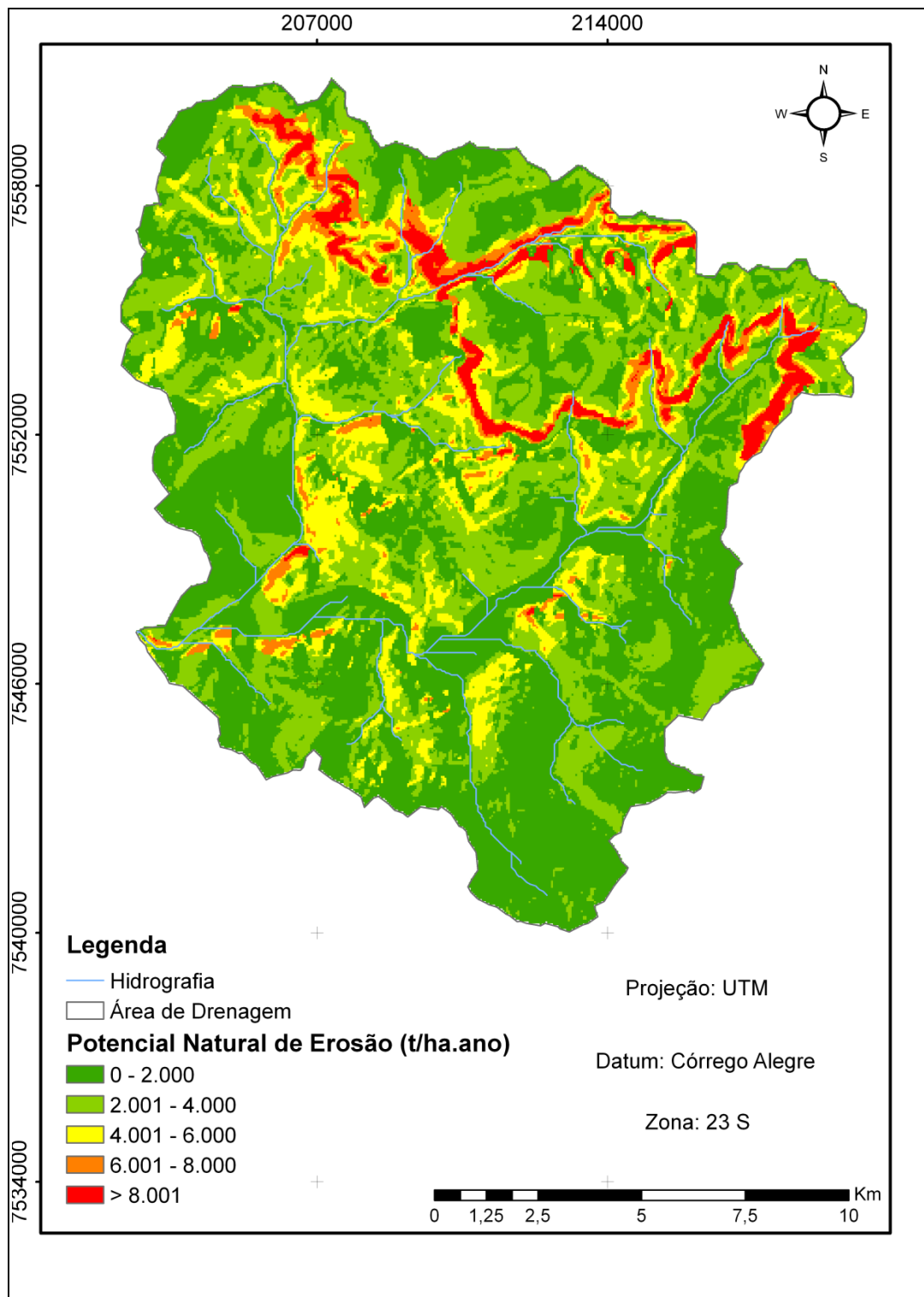


Figura 27 – Potencial Natural de Erosão da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Para o cenário (2) – Estimativa de Perdas de Solo - Figura 28, usou a classificação segundo FAO (1967), que consiste na divisão da perda de solo em quatro classes: 0 a 10, 11 a 50, 51 a 200 e >200 t/ha.ano (Figura 29). As maiores perdas de solo devem estar associadas ao uso e cobertura do solo (solo exposto, pastagem, cana-de-açúcar, laranja e erodibilidade do solo) já que nas áreas mais elevadas e mais próximas aos três últimos afluentes da margem direita, o solo que predomina corresponde ao Latossolo Vermelho Amarelo (Figura 30), que tem um grau de erodibilidade maior se comparado com os solos da mesma bacia. Estes resultados podem ser confirmados com os resultados de Cândido & Santos (2009), onde as maiores perdas são encontradas em regiões com maior fator topográfico, solos de alta erodibilidade e com chuvas com forte potencial de erosividade.

O mapa de potencial natural de erosão apresentou maior perda de solo em relação ao mapa de estimativa de perda de solo. Isso pode ser explicado, pelo fato do mapa não apresentar o fator C e P, considerando, assim, o solo descoberto, o que aumenta a quantidade de perda de uma determinada região.

Zhou *et al.* (2008) afirmam que entre os fatores que afetam a erosão do solo, o fator C e o fator LS são os mais importantes, visto que a remoção do material vegetal pode ocasionar enxurradas principalmente em áreas montanhosas que é o caso da bacia do ribeirão do Feijão.

Na Tabela 8 é apresentada a estimativa de perdas de solo relacionada com o tipo de solo da bacia em estudo.

Tabela 8 – Estimativa de perdas de solo para cada tipo de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Tipo de solo	Área (ha)	% (Área total)	Perda de solo (t/ha.ano)
Nitossolo (N)	319,2	1,4	97,87
Argissolo Vermelho Amarelo (AVA)	560,0	2,4	360,66
Latossolo Vermelho Amarelo (LVA)	9.732,0	42,6	343,59
Latossolo Vermelho (LV)	1.577,0	6,9	321,62
Neossolo Litólico (NL)	1.493,0	6,5	567,14
Hidromórfico (H)	789,0	3,5	45,17
Neossolo Quartzarênico (NQ)	9.369,0	36,0	358,33
Total	22.864	100,0	2.094,38
Perda média aritmética	-	-	299,20

Pode-se observar que o tipo de solo predominante na região é o Latossolo Vermelho Amarelo com uma perda de solo de 343,59 t/ha.ano e possui 42,6% da área total. O tipo de solo que apresenta maior perda de solo é o Neossolo Litólico com 567,14 t/ha.ano e uma

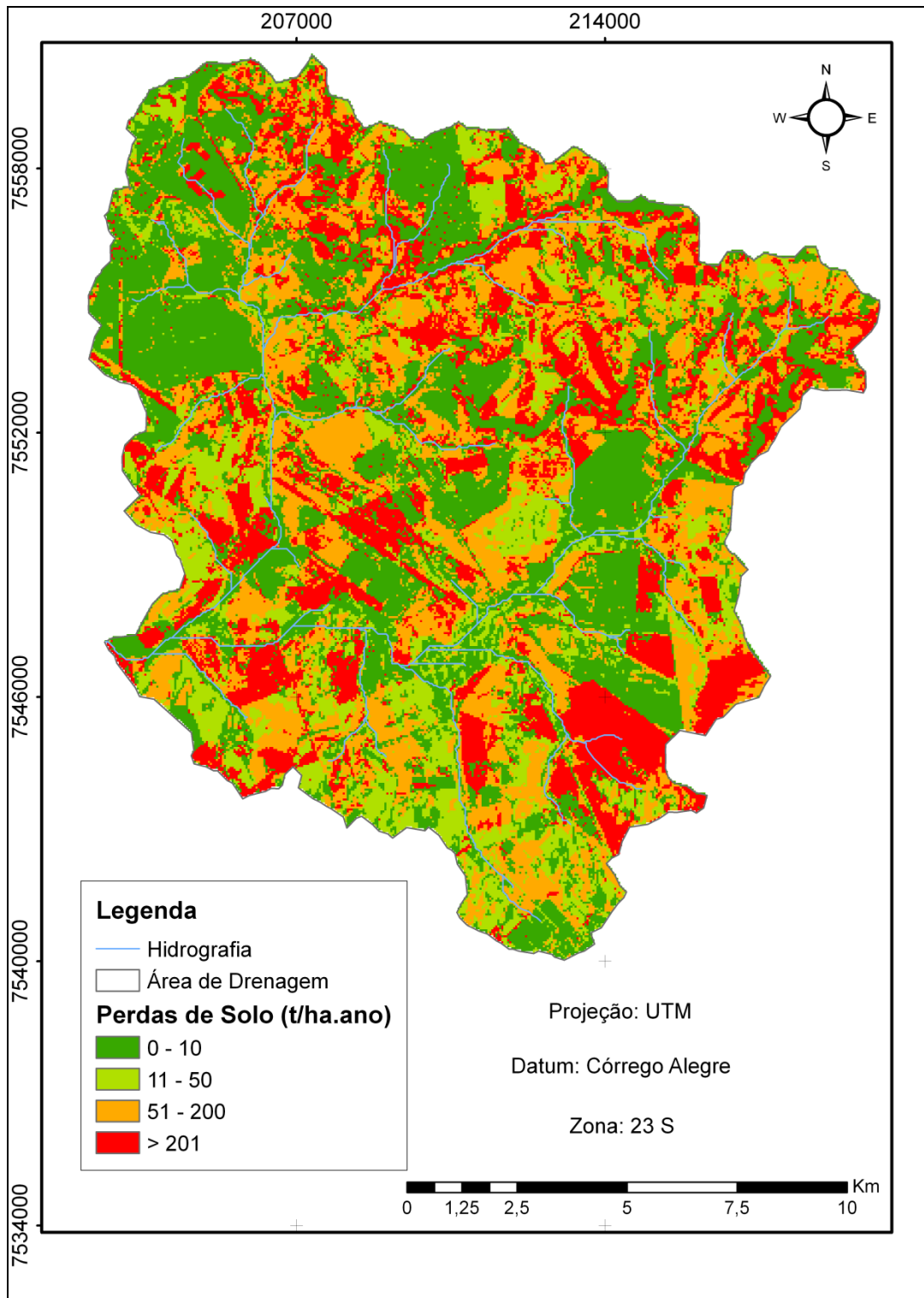


Figura 28 – Estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

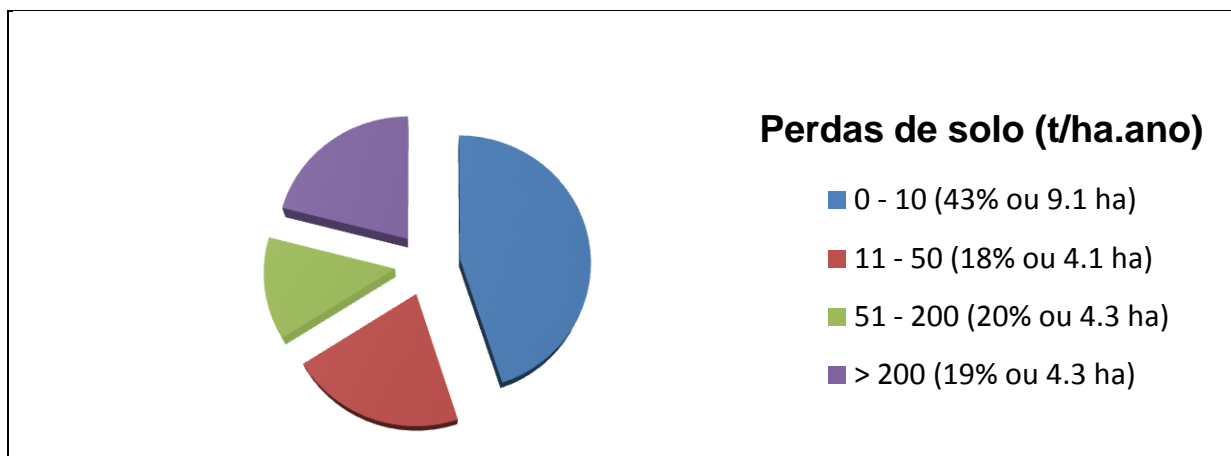


Figura 29 – Porcentagem de áreas de perda de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.



Figura 30 – Solo da formação serra geral na bacia hidrográfica do Laranja Azeda (NEPA, 2011).

porcentagem da área total de 6,5 %. O solo com menor perda de solo é o Hidromórfico com 45,17 t/ha.ano.

Na Tabela 9 é apresentada a estimativa de perda de solo relacionada com o uso e cobertura do solo da bacia em estudo.

O uso e cobertura do solo que predomina na região em estudo é a pastagem, com 38% da área total e perda de solo de 64,31 t/ha.ano. Já o uso e cobertura do solo que apresenta menor perda de solo é o reflorestamento, com 0,14 t/ha.ano. O solo exposto apresenta a maior perda de solo com 2.252,88 t/ha.ano.

Tabela 9 – Estimativa de perdas de solo para cada cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Uso e cobertura do solo	Área (ha)	% (Área total)	Perda de solo (t/ha.ano)
Mata Ciliar/Encosta	2.329	10,2	0,46
Urbano	1.083	4,7	0,00
Cerrado	1.241	5,4	1,78
Reflorestamento	2.306	10,1	0,14
Solo Exposto	2.817	12,3	2.252,88
Pastagem	8.690	38,0	64,31
Cana de açúcar	758	3,3	278,71
Laranja	3.640	15,9	252,19
Total	22.864	100,0	2.850,47
Perda média aritmética	-	-	356,31

Foram analisados seis pontos aleatórios na área da bacia hidrográfica em estudo apresentados na Tabela 10 e Figura 31.

Tabela 10 – Pontos analisados na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Ponto	UTM (E)	UTM (N)	LS	Tipo de solo	Uso e cobertura do solo	K	C	Perda de solo (t/ha.ano)
1	207387	7560384	7,39	LVA	Cana de açúcar	0,020	0,3066	160
2	205317	7559889	21,45	NL	Cana de açúcar	0,045	0,3066	1.045
3	205947	7560429	5,91	LVA	Solo exposto	0,020	1,00	835
4	205992	7560249	14,09	LVA	Laranja	0,020	0,200	199
5	207342	7560474	2,35	LVA	Pastagem	0,020	0,025	8
6	207387	7560474	4,81	LVA	Pastagem	0,020	0,025	17

Foram analisados seis pontos aleatórios em relação à perda de solo apresentada para cada ponto. Essa perda de solo foi em função do tipo de solo, fator topográfico, uso e cobertura do solo e local; sendo este nas cabeceiras da bacia hidrográfica em estudo, que devido ao período seco, pela turbidez vista, pouco sedimento está sendo transportado, mostrada na Figura 32 e Figura 33.

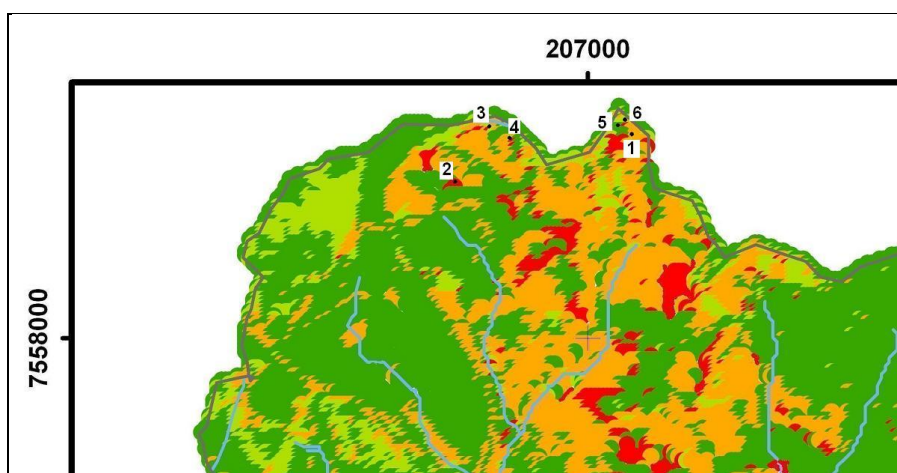


Figura 31 – Pontos de análise da perda de solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (Mapa de perda de solo ampliada).

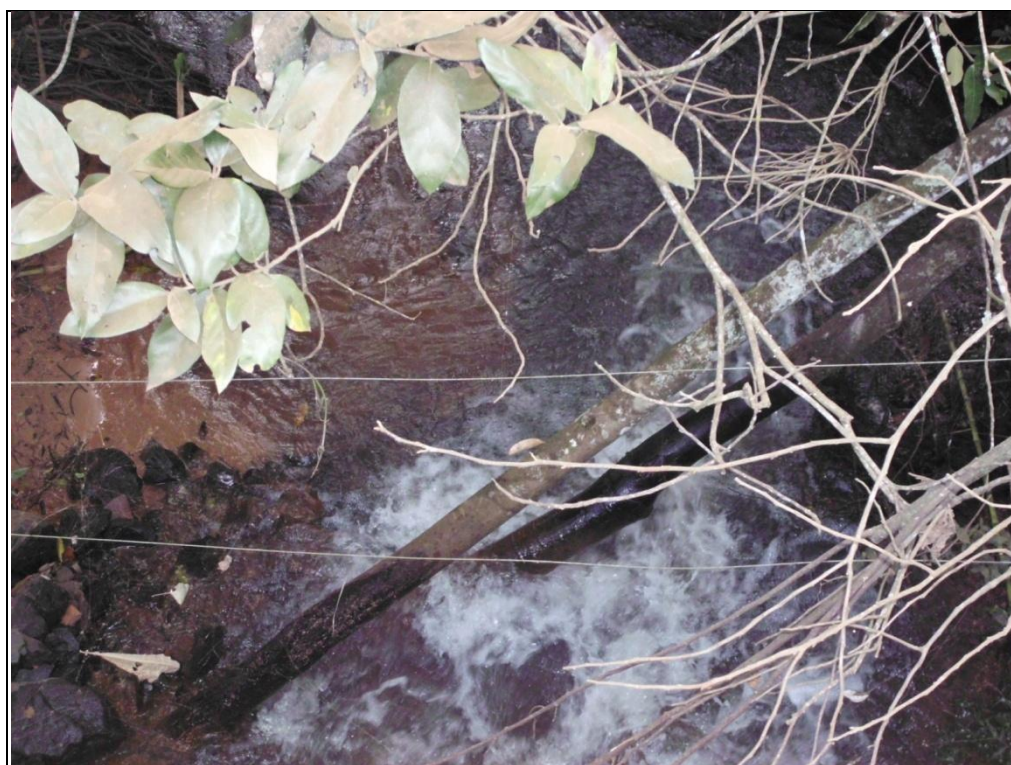


Figura 32 – Bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (NEPA, 2011).



Figura 33 – Cabeceira da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão com as cuestas ao fundo (NEPA, 2011).

Comparando-se o ponto 1 com o ponto 2, tem-se que os dois pontos apresentam um mesmo tipo de uso e cobertura do solo, a cana de açúcar, porém tipos de solo e declividades diferentes. A perda de solo no ponto 2 é maior em relação ao ponto 1, isso devido ao tipo de solo e declividade encontrado em cada ponto. No ponto 1 o solo é o latossolo vermelho amarelo com uma erodibilidade menor e no ponto 2 é o neossolo lítico com uma erodibilidade maior. A declividade também influencia nos resultados, pois ela é maior no ponto 2.

Comparando-se agora os pontos 3 e 4, tem-se que os dois pontos apresentam um mesmo tipo de solo latossolo vermelho amarelo, entretanto o uso e cobertura do solo são diferentes. No ponto 3 o uso e cobertura do solo é o solo exposto, com um valor de C muito alto em relação ao ponto 4, onde seu uso e cobertura é a laranja. Devido ao tipo de uso e cobertura do solo o ponto 3 apresentou maior perda de solo.

Para finalizar, os pontos 5 e 6 apresentam o mesmo tipo de solo e o mesmo uso e cobertura do solo, porém possuem diferentes valores de declividade. A perda de solo é maior no ponto 6 devido justamente ao valor de declividade, sendo este maior em relação ao ponto 5.

As perdas de solo nas áreas de tipos de solo diferentes são influenciadas pelos valores de K e nas áreas de usos e coberturas do solo diferentes, a influência é dos valores de C. Essas perdas de solo são prejudiciais ao meio ambiente, pois com a remoção do solo, os rios são

assoreados causando alterações no seu comportamento hidrológico, além da sua degradação enquanto recurso e ecossistema.

Além dos problemas citados acima, tem-se também que a perda de solo estimada para a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão pode acarretar sérios problemas para o reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga, entre eles o aumento da turbidez, a diminuição da sua vida útil, problemas em sua operação como funcionamento das turbinas, pode afetar também a qualidade dos seus mananciais e a produtividade agrícola existente na região. Assim, com a estimativa da perda de solo ao longo da bacia hidrográfica em estudo, torna-se mais fácil a aplicação de medidas preventivas para diminuir o assoreamento do reservatório e dos mananciais, e diminuir a queda da produtividade agrícola. Conforme analisado no trabalho de Miguel (2010) ao apresentar as consequências da perda de solo para o reservatório de água do Departamento Nacional de Obras e Saneamento DNOS/CORSAN que abastece cerca de 40% da cidade de Santa Maria. O reservatório vem sofrendo injeções de sedimentos desde a sua formação em 1972 devido ao fato de encontrar-se encravado na Serra do Rebordo do Planalto. Assim o relevo da região promove um carreamento mais significativo de material para dentro do reservatório. Alguns estudos constatam que em aproximadamente 30 anos após a sua formação o reservatório já havia perdido 29% de sua capacidade de armazenamento de água.

A fim de minimizar as perdas de solo nas áreas de solo exposto e pastagem, o melhor seria fazer um reflorestamento (Figura 34) do que o cultivo de cana de açúcar ou laranja, pois o valor de C para reflorestamento é menor, resultando assim em uma menor perda de solo nas áreas. Isso também diminuiria a parte de escoamento superficial, aumentando assim a infiltração nos lençóis freáticos. Visto que a região beneficia-se muito com a água dos lençóis, pois se encontram poços que fornecem água para áreas da bacia hidrográfica em estudo. Assim, se não se aplicar medidas preventivas na região, pode-se, num futuro próximo, esgotar a água dos lençóis freáticos.

Além disso, para um controle dessa perda de solo em plantios de cana de açúcar, laranja (Figura 35) e milho (Figura 36), existem manejos adequados, ou seja, manejos sustentáveis, que estão sendo aplicados como: plantio direto (uso de palha), plantio espaçado, terraceamento, rotação de culturas e adubo verde. A utilização desses métodos contribui para a sustentabilidade dessas culturas. Entre os benefícios destaca-se elevação da produtividade, fornecimento de nitrogênio e potássio, a melhoria da microbiota da área, melhor conservação do solo, redução das possibilidades de erosão, minimização da compactação por causa da diminuição do impacto de tráfego de máquinas. Essa camada protetora é vantajosa para a fertilidade do solo.



Figura 34 – Eucalipto e solo quartzoso na formação botucatu (NEPA, 2011).



Figura 35 – Laranja com plantio espaçado e relectância de pastagem na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão (NEPA, 2011).



Figura 36 – Cultura de milho na microbacia hidrográfica do ribeirão Laranja Azeda com terraceamento (NEPA, 2011).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de perda de solo utilizado, EUPS, apresentou-se aplicável quando integrado em sistema de informações geográficas, utilizando produtos de sistemas de sensoriamento remoto. O modelo possibilitou estimar e identificar os locais da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, manancial e a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga, onde ocorrem os maiores ou menores potenciais de perdas de solo, fornecendo assim subsídios para um planejamento adequado.

Ao analisar o cenário (1) as áreas com solo descoberto, apresentam maior perda de solo. Porém se as áreas tiverem um uso e cobertura do solo, essa perda será menor, cenário (2), principalmente em épocas de verão e primavera onde o escoamento superficial é maior.

A análise de perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, manancial e a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga aplicando a EUPS apresentou-se em quatro faixas de 0 -10, 11 – 50, 51 – 200 e >200 t/ha.ano, a faixa que predomina na bacia hidrográfica é de 0 – 10 com 43% da área total. Quanto ao tipo de solo, podemos perceber que a perda de solo maior se dá nos solos que apresentam maior erodibilidade do solo, sendo eles o argissolo, neossolo e latossolo vermelho amarelo, com um valor médio de 300 t/ha.ano. Já o uso e cobertura do solo que apresentam uma perda de solo nos temas de maior valor para C, são os solos expostos, a pastagem, a cana de açúcar e a laranja, chegando a uma média de 600 t/ha.ano.

A metodologia aplicada neste estudo permitiu a localização das áreas prioritárias para um planejamento sustentável na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, manancial e a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga, e para intervenções que visem à redução de perdas de solo. Esta localização e priorização de áreas de intervenção são de fundamental importância para maximizar os benefícios, tendo em vista que na grande maioria dos casos os recursos disponíveis não são suficientes para intervenções em toda a bacia hidrográfica.

Com o diagnóstico da perda de solo têm-se subsídios para o planejamento de ações futuras, em relação à cobertura e ao manejo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, manancial e a montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga, usando-se para isso práticas mitigadoras, que priorizem o desenvolvimento sustentável dessa área.

Dentro dessa perspectiva os objetivos propostos para este estudo foram plenamente alcançados com o diagnóstico das perdas de solo pela erosão, utilizando-se o modelo da EUPS, na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, manancial e à montante do reservatório da Usina Hidrelétrica de Energia Ibitinga.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento**, 2000. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/trabalhos/mariza.pdf>>. Acesso em 2010.

AMARAL, N. D. **Noções de Conservação do solo**. 2ª ed. Nobel. São Paulo, SP, 1981.

ANA (Agência Nacional de Águas). Disponível em <http://www.ana.gov.br>. Acessado em 28 de Abril de 2009.

AGRÔNOMO I. **Informações técnicas: Erosão e Produtividade**. Campinas, 55(1), 2003.

ARONOFF, S.. **Geographic Information Systems: A management perspective**, Ottawa, WDL publications, 1995.

BARROW C.J. **Land degradation**. Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

BARROSO, D.G. & SILVA, M.L.N. **Poluição e conservação dos recursos naturais: solo e água**. Informe agropecuário, v.176, n.16, p.17-24, 1992.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Editor Ícone, 1990, 335 p.

BESKOW, S., MELLO, C. R., NORTON, L. D. CURI, N., VIOLA, M. R., AVANZI, J. C. **Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling**. Catena, 79, p. 49–59, 2009.

BOARDMAN J., SHEPHEARD M.L., WALKER E., FOSTER I. D.L. **Soil erosion and risk-assessment for on- and off-farm impacts: A test case using the Midhurst area, West Sussex, UK**, Journal of Environmental Management (2009), doi:10.1016/j.jenvman.2009.01.018.

BRANCO, N. PAIVA, J. B. D. PAIVA, E. M. C. D. **Produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim – Avaliação Preliminar**. XVII Congresso Nacional De Água, II Simpósio de Recursos Hídricos Del Conosur, Santa Fé – Argentina, 1998, p. 540.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; SANTOS, J. W. M. C.. **Mapeamento das áreas com solos com alto potencial de erosão na área da bacia do rio Manso - MT**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 747-755.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2ª ed. rev. e ampliada, Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, M. S.; PINA, M. F.; SANTOS S. M. **Conceitos Básicos de Sistema de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde**. Brasília: OPAS, 2000.

CARVALHO, T. M. **Métodos de sensoriamento remoto aplicados à geomorfologia**. Rev.Geogr. Acadêmica v.1 n.1(xii), 2007. p. 44-54.

CASTRO, A. G. de. **Técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas Geográficos de Informações no Estudo Integrado de Bacias Hidrográficas**. São José dos Campos: INPE, 1992. (Dissertação de Mestrado, INPE -5494-TDI/511).

CHAVES, H. M. L. **Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro**. In: CHAVES, H. M. L. **Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação universal de perda de solo modificada (MUSLE)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Campinas, SP, v.15, p.345-350, 1991.

CHAVES, H. M. L. **Estimativa da erosão atual e potencial no Vale do São Francisco**. Relatório final de Consultoria. CODEVASF/FAO, Brasília. 1994.

CHEVIRON B., DELMAS M., CERDAN O., MOUCHEL J.-M.. **Parameter uncertainty and sensitivity analysis in sediment flux calculation**. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 8, 1469–1506, 2011.

COSTA, C. W.. **Expansão da mancha urbana e suas conseqüências sobre mananciais de São Carlos, SP**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de

Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes, 2010.

CUNHA, R. C. DA. **Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão - São Carlos, SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes, 2011.

CUNHA, K. L.. **Uso de imagens landsat e cebers no mapeamento da suscetibilidade à erosão na região de primavera do leste - MT.** Dissertação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, 2009.

DABRAL, P. P., BAITHURI, N., PANDEY, A.. **Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing.** Water Resources Management, 22, p. 1783 – 1798, 2008.

DESMET, P. J. J. & GOVERS G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units.** Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 427-433 1996.

DOMINGOS, J. L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica.** Monografia apresentada ao departamento de geografia, Vitória – ES, 2006.

DUPAS, F. A.. **Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP.** Relatório de pós-doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg, 2001.

DUTRA, K R, TEIXEIRA, E. C. & MENDONÇA, A. S. F. **Determinação da Estimativa de perda de solo por erosão superficial em bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas – SIG.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1997.

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP).** Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

EMBRAPA. Disponível em

<http://www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/sistemasdeproducao/vocoroca/index.htm>, 2006.

Acessado em 27/09/2010.

EMBRAPA; SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO EST. DE SÃO PAULO. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo**. Folhas SF 23-V-C-IV e SF 23-Y-A-I, escala 1:100.000, 1981.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Manual on integrated soil management and conservation practices**. Land and Water Bulletin, Roma : FAO, n.8, 228 p., 2000. **La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo**. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. De Las Naciones Unidas, Roma : FAO, n.81, 207 p., 1967.

FLORENZANO, T. G. **Sensoriamento Remoto para Geomorfologia**. In: Florenzano, Teresa Gallotti. (Org.). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, v. 2, p. 31-71.

FOSTER, G. R. & WISCHMEIER W. H.. **Evaluating irregular slopes for soil loss prediction**. Trans. ASAE, 17: 305-309, 1974.

GOMES, L. D. **Aos Características e Aplicações**. IBGE, Diretoria de Geociências, 2008.

GRIGG, N.S.. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. New York, McGraw-Hill Book., 1996, 540p.

GRIGIO, A. M.. **Aplicação de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental no Município de Guamaré (RN): Simulação de Risco às Atividades da Indústria Petrolífera Natal**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2003.

GUERRA, A., J. T.; CUNHA. S, B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 7º Ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007. 472p.

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

GUERRA, A. J. T. e MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental**. In: **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Imagens dos sensores do satélite ALOS**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/alos/>. Acessado em 25/08/2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo 2010**. Acessado em 06/03/2010.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Disponível em <http://www.ipea.gov.br/desafios/edicoes/22/artigo17700-3.php>. Acessado em 27/09/2010.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. Wageningen, Netherlands: Soil and Water Conservation Society/International Soil Science Society, 1988. p.140-160. ISBN 0-935- 73418-X.

LAL, R.. A **Soil degradation by erosion. Land degradation and Development**, 12, 2001, 519 – 539.

LILLESAND T. M.; KIEFER, R. W.. **Remote Sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, Inc., 2 ed., 1989, 721p.

MACHADO, M. L., ALVES, J. S., GOMES, I., VIEIRA, E. M., SIMÃO, M. L. R., NAIME, U. J. **Levantamento sistemático dos fatores da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) para o delineamento de áreas com potencial erosivo da bacia PN1 – IGAM, Minas Gerais (resultados parciais)**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7733-7739.

MACHADO, R. E. ; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C.. **Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Artigo publicado na Revista Brasileira Ciência do Solo, 2003, 27:727-733.

MAHMOOD, K. **Reservoir sedimentation – Impact, extent, and mitigation**. World Bank Tech. Paper nº 71. Washington, DC. 1987.

MIGUEL, P.. **Caracterização Pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS**. Dissertação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2010.

MIRANDA, E. E. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2010.

MORENO, C. S. V.. **Aplicação de SIG no processamento do inventário florestal nacional – Cabo Verde**. Relatório de Estágio apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, realizado na ‘Direção Geral de Agricultura, Silvicultura e Pecuária (DGASP) – Direção dos Serviços de Siivicultura (DSS)’. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, 2009.

MORETI, D. *et al.* **Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP)**. Rev. Bras. Cienc. Solo,. Campinas, v. 1, n. 1, 2003. p. 713-726.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. London: Longman, 1995. 198p. ISBN 0-582-24492-7.

NEVES, S. M. A.; NEVES, R.J.; FORNELOS, L.F./.. **Aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego Cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela / MT**. Rev. Geogr. Acadêmica v.2 n.2, 2008, 124-137.

NÓBREGA, R. A. A *et al.* **Comparação quantitativa e qualitativa entre Modelo Digital gerado pelo SRTM e por aerofotogrametria**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, 2005, p 4437-4444.

NOVO, E. M. L. M.. **Sensoriamento remoto – Princípios e aplicações**, 2^o Edição, Editora Edgard Blücher Ltda,1995, 308p.

OLIVEIRA, P T S, RODRIGUES, D B B, ALVES SOBRINHO, T, PANACHUKI, E. **Processo Analítico Hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

PAES, F. S. **Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, 2010.

PAIVA, J. B. D. & PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. ABRH: Porto Alegre/RS, 628 p. 2003.

PALM, C., SANCHEZ, P., AHAMED, S., AWITI, A.. **Soils: A Contemporary Perspective**. Annual Review of Environmental Resources, 32, 99–129, 2007.

PEREIRA, M. N.. **Cobertura e uso da terra através de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1989.

PEREIRA, J. B., FERNANDES, L. A., BECEGATO, V. A., DA SILVA, S. A.. **Erosividade na bacia de drenagem do reservatório de Cachoeira Dourada - Go/MG**, Geofocus (Artículos), nº 9, 2009, p. 290-316. ISSN: 1578-5157.

PEREZ JUNIOR, O. R. **Material de Apoio – Textos**. Texto disponível em http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt6.html. Acessado em Novembro de 2009.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento remoto e interação de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. São Paulo: USP, 1991. (Tese de Doutorado em Ciências, Geografia Física).

PRASUHN V.. **Mapping of actual soil erosion in Switzerland**. Proceedings EUROSIL 2004, Freiburg, Switzerland. http://www.bodenkunde2.uni-reiburg.de/eurosoil/abstracts/id259_Prasuhn_full.pdf. Acessado em Maio 2011.

PUC Rio. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**, 2004.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V.P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M.. **O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente**. Revista Árvore. v. 29 n.2. Viçosa, 2005.

RIBEIRO, L. S. & ALVES, M. G. **Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação de

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

Mestrado da primeira autora, apresentada junto VIEIRA, V. F.. **Estimativa de perdas ao Departamento de Engenharia Civil da UENF**. Anais XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3039-3046.

ROSA, R.. **Introdução a sensoriamento remoto**, 3^o Edição, Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 1995, 117p.

SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto). Disponível em <http://www.saaesaocarlos.com.br/historia/redeagua.htm>. Acessado em 08-09-2010.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos**. In: **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005.

SHINDE V., TIWARI K. N.; SINGH M.. **Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system**. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering Vol. 2(3), pp. 130-136, July 2010.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Editora Rima, 2003, 138 p.

SILVA, R. C.. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do arroio pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento**. Dissertação apresentada à Fundação Universidade Federal do Rio Grande, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Geografia, 2009.

SILVA, A. B.. **Sistemas de Informações Georreferenciadas – Conceitos e Fundamentos**. Brasil, Editora da Unicamp, 1999.

SILVA R. M. da, SANTOS C. A.G., MONTENEGRO S. M. G. L., SILVA L. P. e.. **Spatial analysis of vegetal cover and sediment yield in Tapacurá river catchment based on remote sensing and GIS**. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Land Reclamation No 42 (1), 2010: 5–16.

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

SILVA M. A. da, SILVA M. L. N., CURI N., NORTON L. D., AVANZI J. C., OLIVEIRA A.H., LIMA G. C., LEITE F. P.. **Water erosion modeling in a watershed under forest cultivation through the USLE model**. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD.

SILVA A. M.da, DURRANT S. F.. **Potential Use of Polyacrylamide for Soil Erosion Control in Brazil**. Journal of Sustainable Development Vol. 3, No. 4; December 2010.

SPAROVEK, G., SCHNUG, E. **Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss**. Soil Science Society American Journal, 65, p. 1479-1486, 2001.

TEIXEIRA, U. C. & SILVA, A. B. **Procedimentos Metodológicos para elaboração do mapa do fator L*S da equação universal de perda de solo (EUPS) utilizando sistemas de informações geográficas (SIG)**. RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 83-91.

TEIXEIRA, A.; MATIAS, L.; NOAL, R.; MORETTI, E.. **Qual a melhor definição de SIG, FACTOR GIS**, 1995, 11, 21-26. Brasil.

TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L.E.; BITTENCOURT, A.V.L.; ROSA FILHO, E.F. da. **A sistematização dos fatores da Eups em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR)**. Estudos Geográficos, Rio Claro, v.3, n.1, p.1-21, jan./jun. 2005.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 4ª Ed., 2007.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Jaboticabal – São Paulo – Brasil Julho de 2008.

VENTE, J.; POESEN, J.; VERSTRAETEN, G.; ROMPAEY, A.V.; GOVERS, G. **Spatially distributed modelling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain**. Global and planetary change, v. 60, p. 393-415, 2008.

VIEIRA, V. F. **Estimativa de perdas de solo por erosão hídrica em uma subbacia hidrográfica**. Geografia - v.17, n.1, jan/jun 2008 – Universidade Estadual de Londrina. Departamento de Geociências.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. **Relation of soil proprieties to its erodibility**. Soil Science Soc. Amer. Proc. V. 33, 131-137, 1969.

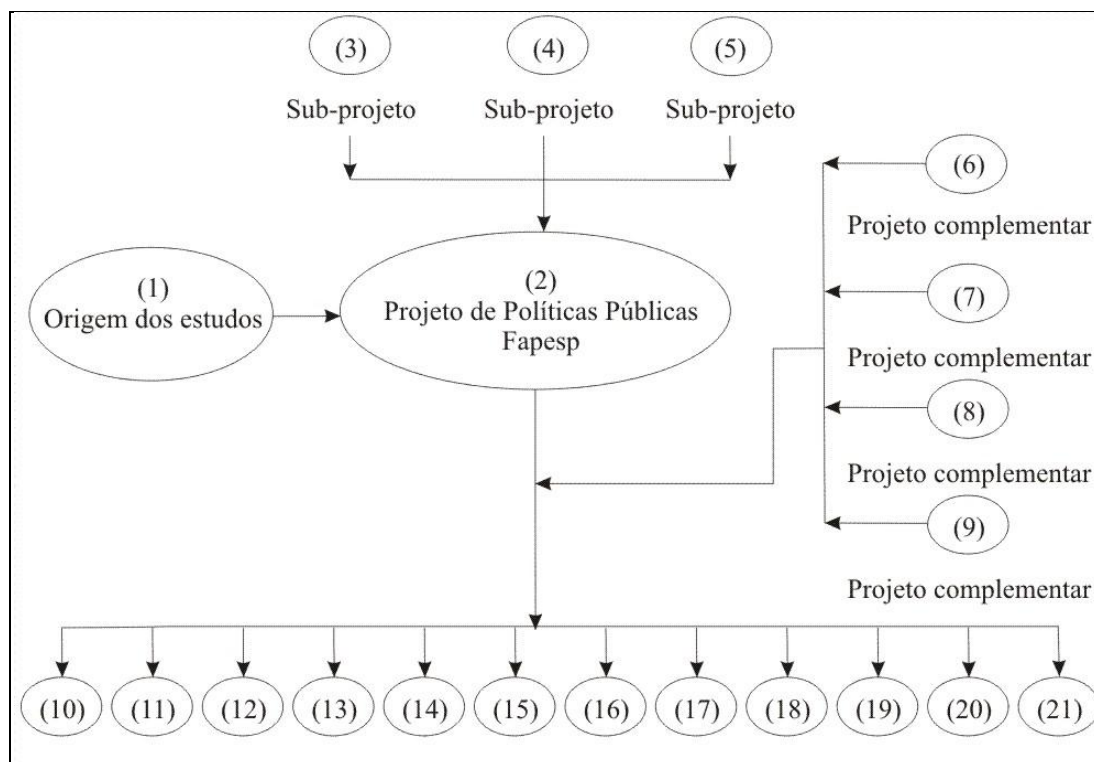
WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: USDA, 1978. (Agriculture handbook, 537).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D.. **Soil loss estimation as a tool in soil and water management planning**. Inst. Ass. Sci. Hidrology Common Land Erosion. Pub. 1962, P. 148-159.

ZACHAR, D. **Soil Erosion**. Brastislava (Czechoslovakia): Elsevier, Developments in Soil Science, 1982, n. 10, 547 p.

ZHOU, P., LUUKKANEN, O.; TOKOLA, T.; NIEMINEN, J. **Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed**. Catena, v 75, p. 319–325, 2008.

ANEXO I



() Origem dos projetos, dissertações e iniciações científicas - referências a seguir.

■ (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), (16), **(18)** - Projetos de pesquisa já concluídos com apoio da Fapesp, Fapemig, CNPq e Capes.

■ (17) - Projetos de pesquisa a concluir até outubro de 2010 com apoio do CNPq e Capes.

■ (19), (20) - Projetos de pesquisa a concluir até outubro de 2011 com apoio da Capes.

■ (21) - Projeto de pesquisa a concluir até outubro de 2012 com apoio da Capes.

(1)

DUPAS, F. A. (2001). "Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais - Proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e SIG: Estudo do caso de São Carlos, SP". Relatório de pós-doutorado FAPESP, proc. n. 97/07066-2 e 97/07055-0. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg.

(2)

MOLINA Jr., V. E. (2003). Recursos Hídricos superficiais da área urbana e de expansão da cidade de São Carlos, SP - Estudo multitemporal. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:-- processo n. 01/02562-9, 104 pg.

(3)

OLIVEIRA, J. A. (2011). **Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG.

POLI, M. N. (2004). “A geografia do espaço vivido: Análise do uso social do solo urbano - estudo de caso na cidade de São Carlos, SP”. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Universidade Federal de São Carlos, Fapesp. Co-Orientador:–.processo n. 01/08369-6, 229 pg.

(4)

COSTA, I. G. D. D. (2006). “Análise da perda de solo através de SIG e sensoriamento remoto. Estudo do caso de Santa Rita do Sapucaí, MG”. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Itajubá.

(5)

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A.; SILVA-SOUZA, A. T.; SHIBATTA, O. A. (2007). “Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP – base do planejamento urbano e rural”. Relatório final de projeto de pesquisa FAPESP de Políticas Públicas proc. 98/10924-3. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN/UNIFEI. Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental, 95 pg.

(6)

SUB-PROJETO (2007) - “Diagnóstico e prognóstico da qualidade da água dos rios que compõe as bacias hidrográficas do município de São Carlos (SP) relacionados com uso e ocupação do solo”, Proc. 98/10924-3;

(7)

SUB-PROJETO (2007) - “Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Córrego do Feijão”, Proc. 98/10924-3.

(8)

SUB-PROJETO (2007) – “Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do córrego do Feijão”, Proc. 98/10924-3.

(9)

AFONSO, G. F. (2008). “Integração de dados baseada em ontologia”, Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.

(10)

RODRIGUES, G. O. (2009). “Análise da acurácia temática de classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS- 2 E TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy”. Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá, Capes.

(11)

DUPAS, F. A. (2009). “Plano Diretor Participativo de Santa Rita do Sapucaí, MG”. Relatório final de projeto CNPq n. 060/2005 proc. n. 501840/2005-2. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática NEPA - IRN –UNIFEI, maio, Volumes I de II, 243 pg.

(12)

PAES, F. S. (2010). “Áreas de Preservação Permanente em bacias hidrográficas e sua importância na prevenção da perda de solo por erosão”. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 60 pg.

(13)

PEREIRA, P. R. G.. (2010). “Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do córrego do Feijão, São Carlos, SP”. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

(14)

PEREIRA, J. C. (2010). “Aplicação do modelo hidrossedimentológico AVSWAT na bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, MG”. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, IRN, Universidade Federal de Itajubá, 116 pg.

(15)

SPERANDELLI, DANIEL IOZZI (2008). “Dinâmica e análise do crescimento dos vazios e das áreas verdes urbanas de Atibaia, SP”. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.

(16)

COSTA, CARLOS WILMER (2010). “Expansão da mancha urbana e suas conseqüências sobre mananciais de São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes.

(17)

CUNHA, ROGÉRIO COLI DA (2011). “Zoneamento ambiental em bacia hidrográfica utilizada como manancial urbano. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão - São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes.

(18)

OLIVEIRA, JULIANA APARECIDA (2011). “Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.

(19)

MELLO, CAROLINA MOTTA (2009). “Influência do uso do solo na qualidade da água. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá.

(20)

MACHADO, FERNANDO HENRIQUE (2009). “Valoração econômica dos recursos ambientais da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão - São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes.

(21)

LUZ, F. G. F. (2010). “Áreas de Proteção Permanente e sua capacidade de assistir aos corpos d'água - Análise da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá Capes.