

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

Rogério Coli da Cunha

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA
DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia da Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

setembro de 2012
Itajubá

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

Rogério Coli da Cunha

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA
DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP.**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 11 de setembro de 2012, conferido ao autor o título de ***Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.***

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Reinaldo Lorandi

Prof. Dr. Nívea Adriana Dias Pons

Prof. Dr. Francisco Antônio Dupas

Itajubá
2012

FICHA CATALOGRÁFICA

CUNHA, ROGÉRIO COLI

“Análise da influência das variáveis ambientais na determinação das vulnerabilidades da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”. / Rogério Coli da Cunha. -- Itajubá: UNIFEI / Universidade Federal de Itajubá, 2012.

xvi, 103p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Francisco Antônio Dupas

Dissertação (mestrado) – UNIFEI / Universidade Federal de Itajubá / IRN – NEPA, 2012.

Referências Bibliográficas: f. 85 – 93.

1. Fragilidade ambiental. 2. Lógica Fuzzy - AHP. 3. Vulnerabilidade ambiental. 4. Zoneamento ambiental.– Tese. I. Dupas, Francisco Antônio. II. Universidade Federal de Itajubá, IRN, NEPA. IV. Título.

"Educar é semear com sabedoria e colher com paciência."

Augusto Cury

*Dedico este trabalho a minha família, minha mãe Brenda, pai José Adolfo (em memória) e irmãos Rodrigo, Rodolfo e Francini pelo amor, confiança e apoio. A Deus, pelos ensinamentos e sabedoria que me confortam e me guiam na busca diária pela realização profissional, pessoal e espiritual.
A Fernanda pelo amor, atenção, carinho e compreensão...*

AGRADECIMENTOS

Ao Pai, toda honra e toda glória por estar presente em minha vida, iluminando-me e acalmando-me em todo momento. A minha mãe Brenda por ser minha referência toda a gratidão pelo amor dedicado, ao longo de minha vida; pela confiança, paciência e educação.

Agradeço também ao Orientador, Professor Dr. Francisco Dupas pela oportunidade, confiança, atenção, ensinamentos e, principalmente, pela amizade construída.

Agradecimento especial aos amigos presentes no Núcleo de Estudos, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, pelos ensinamentos e assessorias, ao longo dessa etapa. Um forte abraço ao grande amigo-irmão geógrafo “Alemão” (Carlos Wilmer), ao Engenheiro Rafael Eugênio, ao Jonas, Marcos, a Graziela Rodrigues, Fernanda Paes, Taciana, Márcia Magalhães, Professora Daniela e demais amigas efetuadas no ambiente acadêmico como Samuel, Fernando, professores Marcos Bernardes, Nívea e André do laboratório de geoprocessamento.

A Fernanda Rodrigues de Oliveira, minha companheira, amiga, pelo amor, carinho e incentivo constante, exprimo os mais sinceros agradecimentos.

À Fapesp - Fundação de Amparo à pesquisa do estado de São Paulo pelo financiamento de bolsas e auxílio à pesquisa para o processo 98/10924-3. Ao IIE - Instituto Internacional de Ecologia pela disponibilização dos dados.

*O Senhor é meu pastor, nada me faltará.
Em verdes prados ele me faz repousar.
Conduz-me junto às águas refrescantes,
restaura as forças de minha alma.
Pelos caminhos retos ele me leva,
por amor do seu nome.*

*Ainda que eu atravesse o vale escuro,
nada temerei, pois estais comigo.
Vosso bordão e vosso báculo são o meu amparo.*

*Preparais para mim a mesa à vista de meus inimigos.
Derramais o perfume sobre minha cabeça,
e transborda minha taça.
A vossa bondade e misericórdia hão de seguir-me
por todos os dias de minha vida.
E habitarei na casa do Senhor por longos dias.*

(Salmo 22/23 atribuído ao Rei Davi)

SUMÁRIO

	Páginas
SUMÁRIO.....	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
RESUMO	XIV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	1
1.1-CONTEXTUALIZAÇÃO DO ASSUNTO	1
1.2-JUSTIFICATIVA	2
CAPÍTULO 2 -OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1-BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADES DE PLANEJAMENTO	5
3.2- FRAGILIDADES AMBIENTAIS	7
3.3- ZONEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL	11
3.4- UNIDADES ECODINÂMICAS E SUAS VARIÁVEIS.....	15
3.5- INFERÊNCIA FUZZY E O PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO AHP	17
3.6- MODELAGEM AMBIENTAL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA	21
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1-MATERIAIS	26
4.2-ÁREA DE ESTUDO E FIOGRAFIA.....	27
4.3-MÉTODO	29
4.3.1- Variáveis determinantes para a aplicação do método.....	30
4.3.2-Determinação das fragilidades das classes das variáveis - Inferência Fuzzy – AHP	32
4.3.3- Sobreposição ponderada das fragilidades ambientais	37
4.3.4-Zoneamento das vulnerabilidades ambientais.....	37
CAPÍTULO 5-RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1- VARIÁVEIS DETERMINANTES PARA A APLICAÇÃO E FRAGILIDADES DE SUAS CLASSES - INFERÊNCIA FUZZY – AHP	40
Geomorfologia.....	40
Declividade.....	45
Geologia	52
Cobertura do solo	56
Pedologia.....	65
5.2- OS MAPAS-SÍNTESE DAS FRAGILIDADES DOS AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS	70
5.2.1- Índices de dissecação do relevo e o zoneamento de suas vulnerabilidades ambientais	70
5.2.2- Classes de declividade e o zoneamento de suas vulnerabilidades ambientais	75
5.3-ANÁLISES COMPARATIVA DAS INFLUÊNCIAS DAS CLASSES DAS VARIÁVEIS NOS DOIS ZONEAMENTOS DAS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS.....	79
CAPÍTULO 6-CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXO I	

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 3.1 – Mapa da Fragilidade Emergente da Microbacia do ribeirão Imaruí. Fonte: Pereira, (2009).	9
Figura 3.2 – Cenário de cobertura do solo em 2030 nos Países Baixos. Fonte: Adaptado Nijs e Crommentuijn, (2004)	10
Figura 3.3 - Zoneamento Ambiental da Bacia do Arroio Grande. Fonte: (Ruhoff, 2004).	12
Figura 3.4 – Mapa de risco de contaminação de água subterrânea do município de São Carlos, SP. Fonte: (Montaño, 2002)	14
Figura 3.5– Diagrama de VENN. Fonte: (Burrough & Mcdonnell, 1998).	18
Figura 3.6 – Representação da vulnerabilidade e estabilidade das unidades Territoriais básicas. Fonte: Adaptado (Crepani et.al. 1996).	20
Figura 3.7 – Critérios de sustentabilidade para usos do solo em Hanyang, China. Fonte: Adaptado (Mao et al. 2007).	22
Figura 3.8 – Resultado da adequação do uso do solo para o lago Hanyang, China. Fonte: Adaptado (Mao et al. 2007).	23
Figura 3.9 -Determinação das vulnerabilidades natural à erosão do Morro do Chapéu-Bahia. Fonte: Lobão (2006).	24
Figura 4.1- Sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do município de São Carlos/SP. Fonte: modificado de Tundisi et al. (2007).	27
Figura 4.2 – Fluxograma geral do método.	29
Figura 4.3- Chuva média acumulada mensal de 2009 e entre anos de 1961 a 1990 de São Carlos - SP. Fonte INMET.	31
Figura 5.1 - Fluxograma da apresentação dos resultados.	39
Figura 5.2 - Gráfico das áreas em porcentagens das classes de fragilidade ambiental da variável de Geomorfologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	42
Figura 5.3 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão Fonte: Adaptado de Nishiyama (1991).	43
Figura 5.4– Fragilidade das classes geomorfológicas com inferência Fuzzy-AHP.	44

Figura 5.5- Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	45
Figura 5.6-Classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	46
Figura 5.7-Fragilidade das classes de declividade com inferência Fuzzy-AHP.....	47
Figura 5.8- Mapa de Climatologia anual de 1961 a 1990.	49
Figura 5.9- Mapa pluviométrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	50
Figura 5.10 – Mapa de fragilidade ambiental da classe pluviométrica da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão	51
Figura 5.11- Secção geológica K/L Ribeirão do Feijão. Fonte: Adaptado de Nishiyama (1994).	52
Figura 5.12 – Mapa Geológico da bacia hidrográfica do Feijão <i>Fonte: Adaptado de Nishiyama (1991)</i>	53
Figura 5.13 – Mapa de fragilidade ambiental da variável de geologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	55
Figura 5.14 - Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de geologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	56
Figura 5.15 –.Verdade terrestre utilizada na classificação supervisionada para o mapeamento da cobertura do solo de 2006.	57
Figura 5.16 –Fotografias retiradas em campo de novembro de 2009	58
Figura 5.17 – Mapa da cobertura do solo da bacia hidrográfica do Feijão.	59
Figura 5.18 – Mapa de fragilidade ambiental da variável cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	64
Figura 5.19 – Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	65
Figura 5.20 – Mapa de Pedologia da bacia hidrográfica do Feijão Fonte: Adaptado de Oliveira e Prado (1984).	66
Figura 5.21 - Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de pedologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.....	68
Figura 5.22- Mapa de fragilidade ambiental da variável de pedologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	69

Figura 5.23 – Gráfico da área em porcentagem das classes de zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo.	71
Figura 5.24- Mapa síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados com apoio nos índices de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	72
Figura 5.25 – Mapa do Zonamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	73
Figura 5.26- Mapa síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados com apoio nas classe de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	76
Figura 5.27 – Mapa do Zonamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.	77
Figura 5.28 – Gráfico da área das classes de zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade	78
Figura 5.29 – Gráfico da Comparação (%) das influências das variáveis sobre a classe instável e instabilidade emergente do zoneamento da vulnerabilidade ambiental	81

LISTA DE TABELAS

	Páginas
Tabela 3.1– Características das Unidades Ecodinâmicas.....	15
Tabela 3.2 - Conjunto Fuzzy para a Vulnerabilidade/estabilidade Ambiental.....	19
Tabela 3.3 - Matriz de pesos para a sustentabilidade de assentamentos do uso do solo	20
Tabela 4.1- Características das Cartas.....	26
Tabela 4.2- Aplicativos.....	26
Tabela 4.3- Características da imagem ALOS.....	26
Tabela 4.4 – Escala de valores AHP para comparação pareada.....	32
Tabela 4.5- Matriz dos índices de dissecação do relevo.....	33
Tabela 4.6 - Importância dos índices de dissecação do relevo nos processos erosivos inferência Fuzzy – AHP.....	34
Tabela 4.7 - Importância das classes de declividades nos processos erosivos e inferência Fuzzy – AHP.....	34
Tabela 4.8 – Importância dos índices pluviométricos nos processos erosivos e inferência Fuzzy – AHP.....	35
Tabela 4.9– Importância das formações geológicas no processo erosivo e a inferência Fuzzy – AHP.....	36
Tabela 4.10 – Importância da cobertura vegetal nos processo erosivo e a inferência Fuzzy-AHP.....	36
Tabela 4.11 - Importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos e a inferência Fuzzy – AHP.....	37
Tabela 4.12 - Classes de zoneamentos à vulnerabilidade transformada em riscos ambientais potenciais.....	38
Tabela 5.1- Áreas das classes de Geomorfologia, seus índices de dissecação do relevo e suas fragilidades ambientais.....	42
Tabela 5.2- Áreas das classes de declividade e suas fragilidades ambientais.....	45
Tabela 5.3- Área da classe de Pluviosidade sua fragilidade ambiental.....	49

Tabela 5.4- Áreas das classes de Geologia e suas fragilidades ambientais.	52
Tabela 5.5- Áreas das classes da cobertura do solo e suas fragilidades ambientais.	65
Tabela 5.6- Áreas das classes de Geologia e suas fragilidades ambientais.	68
Tabela 5.7- Áreas das classes do zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo.	74
Tabela 5.8- Áreas das classes do zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade.	78
Tabela 5.9- Áreas das classes instável e instabilidade emergente dos dois zoneamentos das vulnerabilidades ambientais.	79
Tabela 5.10- Áreas totais das classes das variáveis e as incidências do risco potencial acima de 60% dos dois modelos aplicados de vulnerabilidade ambiental.	80

LISTA DE SIGLAS

AHP – *Analytic hierarchy proces* (Processo analítico Hierárquico)

ALOS – *Advanced Land Observing Satellite*

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

EIA –Estudo de impacto ambiental

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

GPC – Grupo de previsão climática

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto brasileiro de geografia e estatística

INMET – Instituto nacional de meteorologia

INPE – Instituto nacional de pesquisas espaciais

NEPA – Núcleo de estudos ambientais, planejamento territorial e geomática

PCD – Plataforma de coleta de dados

RIMA – Relatório de impacto ambiental

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente.

UTM – Universal transversa de Mercator

RESUMO

CUNHA, R. C., (2010). **“Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos, SP”**. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia / NEPA - UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá/MG.

O presente trabalho apresenta a comparação e análise das influências das classes das variáveis ambientais na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos – SP (Brasil). Neste estudo foram utilizados dois modelos da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. O emprego da lógica Fuzzy – AHP, com auxílio de sistemas de informações geográficas, permitiu associar os diversos graus de suscetibilidade das classes das variáveis de morfogênese e pedogênese. Com a aplicação das metodologias, realizou-se a sobreposição ponderada dos planos de informação referentes ao relevo, à pedologia, a cobertura do solo, à geologia e pluviosidade, obtendo-se os dois mapas-síntese da fragilidade ambiental. Os mesmos foram divididos em cinco classes de vulnerabilidade, representando um risco potencial de 0 a 100%, gerando-se, assim, os zoneamentos à vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação de relevo e nas classes de declividades. As classes instável e instabilidade emergente dos respectivos zoneamentos foram analisadas e comparadas com as variáveis e suas classes de cada modelo aplicado. Essa comparação permitiu observar e quantificar as influências de cada uma na determinação das diferentes vulnerabilidades ambientais, definindo as divergências e similaridades das modelagens aplicados na bacia hidrográfica estudada.

Palavras-chave: vulnerabilidade ambiental, fragilidade ambiental, lógica Fuzzy - AHP, zoneamento ambiental.

ABSTRACT

CUNHA, R. C., (2010). **"Analysis of influence of environmental variables using fuzzy inference and zoning of vulnerabilities. Case study of basin of the river of the Feijão, São Carlos – SP."** Dissertation - Post-graduate in Energy Engineering / NEPA - UNIFEI – Federal University of Itajuba, Itajuba / MG.

This paper presents a comparison and analysis of the influences of the classes of environmental variables in determining the environmental vulnerability of basin of the Feijão River, São Carlos - SP (Brazil). This study used two models of the fragility of the both natural and anthropogenic environment. The use of fuzzy logic - AHP with the aid of geographic information systems, enabled to make an association between the many degrees of susceptibility of the classes of morphogenesis and pedogenesis variables. With the application of methods, it was carried out the weighted superposition of information layers for the relief, for the soil conditions, for the land use, for the geology and for the rainfall. Thereby, two maps, summaries of environmental fragility, were made. The maps were divided into five classes of vulnerabilities means a risk of 0-100%. So, the zoning to environmental vulnerability was made, with the support on both the indices of the relief dissection and on the slopes classes. The unstable and instability emerging classes from their zoning was analyzed and compared with the variables and their classes for each model applied. This comparison allowed us to observe and quantify the influences of each on the determining the different environmental vulnerabilities, defining the differences and similarities of the mathematical models applied in the watershed studied.

Keywords: environmental fragility, fuzzy logic - AHP, risk, and environmental zoning.

Capítulo 1- Introdução

1.1-Contextualização do assunto

As intervenções humanas nos ambientes provocaram complexas mudanças, alterando o equilíbrio que a natureza levou anos para atingir. A ruptura dessa harmonia intensifica a complexidade ambiental em que vivemos, conduzindo-nos a trabalhar a partir dos processos de degradação, já em desenvolvimento. Dessa forma, obtemos desafios ainda maiores para buscar soluções que apontem mecanismos que relacionam as possíveis causas e, ao mesmo tempo, entender os processos que levam a acentuar os problemas ambientais.

Para o entendimento desses cenários e a busca de suas soluções, tornam-se relevantes a adequação de metodologias e estratégias para trabalhar o planejamento de unidades ambientais que apontem perspectivas mais coerentes e duradouras para a proteção, preservação e conservação das diversidades de paisagem e unidades de paisagem, sobre a superfície terrestre (Guerra & Marçal 2006 *apud* Pereira, 2009).

Uma das formas de conhecer a dinâmica ambiental de bacias hidrográficas é a utilização dos zoneamentos que buscam a minimização dos riscos e impactos, através dos levantamentos das fragilidades das diversas variáveis. A determinação de formas mais adequadas para o uso do solo e de recursos naturais visam mitigar a degradação e subsidiar um desenvolvimento econômico local, de longo prazo, associado a políticas públicas.

A construção desses cenários necessita de dados reais e diversas metodologias precisas, fazendo dos sistemas de informação geográfica, grandes aliados para o planejamento; permitindo não só gerenciar o espaço, mas também conhecer as relações entre as variáveis e suas respectivas influências na determinação dos riscos potencial e vulnerabilidades de bacias hidrográficas. A criação de modelos que permitem essas análises, foca no desenvolvimento local considerando suas especificidades a fim de se conseguir uma sustentação dos próprios sistemas ecológicos, econômicos e sociais em que se encontram.

O primeiro capítulo deste trabalho contextualiza o tema proposto apresentando à justificativa. O segundo capítulo apresenta os objetivos que se pretende alcançar. No terceiro, encontram-se as teorias que fundamentam as teorias relacionadas com os temas abordados na presente pesquisa. No quarto capítulo, de materiais e métodos, é

apresentada a área de estudo e as fontes de todos os dados empregados para a elaboração dos mapas necessários para aplicação e desenvolvimento da metodologia proposta. As principais características e descrição detalhada do processamento das informações geográficas, juntamente com os softwares utilizados, também são contemplados no mesmo capítulo. No quinto capítulo, são demonstrados todos os resultados obtidos através dos mapas gerados, seus respectivos gráficos, bem como, os comentários cabíveis em cada situação. Por último e sexto capítulo, são feitas as conclusões, seguido das referências bibliográficas empregadas na fundamentação desta pesquisa.

Esta pesquisa está vinculada 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, além de outros trabalhos de apoio ao tema em outras regiões, é mostrada 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).

1.2-Justificativa

Ao se mapear os riscos potenciais, através do zoneamento das vulnerabilidades ambientais, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento aliadas à lógica Fuzzy, é possível prognosticar a dinâmica natural em bacias hidrográficas, visando otimizar suas potencialidades, de forma integrada, para buscar o equilíbrio ambiental, econômico e social local.

A elaboração de cenários concebe um melhor entendimento das complexas interações das variáveis nas unidades de planejamento. Dessa forma, as análises e informações vêm auxiliar na tomada de decisão e no gerenciamento, a fim de fomentar estratégias regionais, buscando garantir os limites mínimos de suporte e estabilização do ambiente.

Com o zoneamento da vulnerabilidade ambiental é possível mostrar a intensidade e a distribuição, levando-se em consideração a estabilidade em relação às variáveis de morfogênese e pedogênese, através das relações das variáveis da cobertura do solo, relevo, pedologia, geologia e pluviosidade.

Este trabalho tem o intuito de se edificar como base de informações fundamentais para o entendimento da dinâmica da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, buscando subsidiar o planejamento da ocupação das áreas com características instáveis e de instabilidade emergente.

Capítulo 2 -Objetivos

O objetivo geral da presente pesquisa é a análise de dois modelos empíricos da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados propostos por Ross (1994). Subsidiados pelas técnicas de inferências geográficas Fuzzy, determinou-se as vulnerabilidades ambientais e as comparações das influências de cada uma das variáveis na dinâmica da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, em São Carlos- SP.

Específicos

1. Determinar as fragilidades ambientais das classes das variáveis de geomorfologia, declividade, cobertura do solo, pedologia, geologia, pluviosidade, com inferência geográfica Fuzzy, através do processo analítico hierárquico AHP.
2. Elaborar dois modelos de zoneamento da vulnerabilidade ambiental, classificando as áreas de riscos ambientais potenciais na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos (SP);
3. Comparar nos dois modelos, as influências das classes das variáveis na determinação do risco ambiental potencial acima de 60% da bacia hidrográfica, sendo um com apoio nos índices de dissecação do relevo e, o outro, com apoio nas classes de declividade, a fim de observar as influências das classes das variáveis de cobertura do solo, relevo, geologia, pedologia e pluviosidade na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia em estudo.

Capítulo 3 - Revisão Bibliográfica

Este capítulo aborda os principais fundamentos teóricos necessários para a compreensão deste trabalho. Iniciou-se pelo contexto que envolve as bacias hidrográficas como unidade de planejamento, passando a relatar sobre a necessidade de se conhecer e mapear as fragilidades ambientais das variáveis, em relação aos processos erosivos. Posteriormente, fundamentou-se os zoneamentos das vulnerabilidades ambientais com a necessidade de planejar e compreender a concepção e melhor entendimento das unidades ecodinâmicas e as relações das variáveis de pedogênese e morfogênese. Por fim, referenciou-se a questão das ponderações de inferência geográfica Fuzzy, através do processo analítico hierárquico a fim de criar as bases para as modelagens ambientais nos sistemas de informação geográfica.

3.1-Bacias hidrográficas como unidades de planejamento

Os limites territoriais das bacias hidrográficas nem sempre coincidem com as delimitações político-administrativas, de modo que a mesma bacia pode ser compartilhada por diferentes países, estados ou municípios, criando complicadores para a gestão ambiental. Devido a isso, o Decreto federal 2.612, de 1998, estabelece regras para a criação e funcionamento dos comitês de bacias (Cunha & Guerra, 2005).

Conforme Crepani *et al.* (1996), compreendem que a bacia hidrográfica é uma unidade territorial básica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Portanto, é um sistema complexo que, por sua própria natureza e característica, requer ser tratado em conjunto, do ponto de vista de sua operação e gestão (Arcuri, 1997).

Dessa forma, o modelo de gestão dessas unidades, adotado na legislação brasileira, é baseado nos pressupostos do comanejo e da descentralização das tomadas de decisão, onde a definição da bacia hidrográfica como unidade geográfica pertinente irá atender a objetivos propostos por organizações institucionais emergentes, não sendo apenas um reconhecimento do peso da dimensão ecológica, mas também das dimensões sociais, culturais e políticas na compreensão da complexidade dos processos ambientais (Cunha & Guerra, 2005).

A bacia de drenagem pode ser considerada como um ecossistema primário, caracterizado por *feedback* direto de ações humanas e visto como um complexo natural de componentes ambientais ligados por um fluxo de energia (Downs et.al 1995 *apud* Moschini 2008). Porém, passa a ser também um campo de atuação política, de partilha de responsabilidade e de tomada de decisões. Problemas como desmatamento, mudanças microclimáticas, contaminação dos rios, erosão, enchentes e tensões físico-sociais de natureza diversa impuseram a necessidade de cooperação entre diferentes esferas administrativas, levando à constituição de um novo arranjo institucional cristalizado na forma de comitês de bacias (Cunha & Guerra, 2005).

O seu sistema de funcionamento e estabilidade são determinados, ao longo do tempo e, em grande parte, pelas taxas de efluxo e influxo de água, materiais e organismos de outras áreas da bacia. A erosão do solo e a perda de nutrientes de uma floresta perturbada ou de um campo cultivado inadequadamente, não apenas empobrece estes ecossistemas, como acarreta vários impactos rio abaixo. Por isso, a bacia hidrográfica inteira, e não somente a massa de água ou trecho de vegetação, deve ser considerada a unidade mínima de ecossistema, quando se trata de interesses humanos. A unidade de ecossistema para gerenciamento prático, então, deve incluir, para cada metro quadrado ou hectare de água, uma área de pelo menos 20 vezes maior de bacia hidrográfica. Em outras palavras, os campos, as florestas, as massas de água e as cidades, interligadas por um sistema de riachos ou rios (ou às vezes, por uma rede subterrânea de drenagem), interagem como uma unidade prática em nível de ecossistema, tanto para estudo como para gerenciamento (Odum, 1988).

Dessa forma, a implementação de um sistema de gerenciamento integrado para o manejo sustentado dessas unidades é uma ferramenta indispensável para a conservação e a utilização dos recursos naturais e para garantir a continuidade de bens e serviços ao bem estar humano. O planejamento e o gerenciamento das bacias hidrográficas devem considerar e integrar todos os aspectos ambientais, sociais, econômicos e políticos com ênfase no primeiro, pois a capacidade ambiental de dar suporte ao desenvolvimento possui sempre um limite, a partir do qual todos os outros aspectos serão, inevitavelmente, afetados (Moschini, 2008).

Sendo assim, a necessidade de se avaliar a organização espacial como um todo e, não somente em departamentos ou setores, através da identificação do maior número de variáveis possíveis, externas e internas, é que, de alguma forma, influencia em todo o

processo existente na bacia. Os ecossistemas, são analisados como “sistema abertos”, mantendo um contínuo intercâmbio de matéria/energia com o ambiente. Portanto, a Teoria Geral de Sistema iniciado pelo biólogo austríaco Ludwig Von Bertalanffy, em 1950, a qual nos permite reconceituar os fenômenos em uma abordagem global, permitindo a inter-relação e integração de variáveis que são, na maioria das vezes, de natureza diferente, dando suporte significativo ao *feedback* que deve ser realizado ao planejamento de todo o processo.

3.2- Fragilidades ambientais

As fragilidades dos ambientes naturais, em relação às intervenções humanas, mostram que ela é maior ou menor em função de características genéticas destes. Os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram a intervir, progressiva e intensamente na exploração dos recursos naturais (Ross, 1994 *apud* Lima & Martinelli, 2008). Sendo assim, qualquer alteração nos diferentes componentes da natureza acarreta o comprometimento da funcionalidade do ecossistema, quebrando o seu estado de equilíbrio dinâmico (Spörl & Ross, 2004).

Segundo Ramos (1987), a fragilidade ambiental pode ser entendida como “o grau de suscetibilidade ao dano, ante a incidência de determinadas ações. Pode-se definir também como o inverso da capacidade de absorção de possíveis alterações, sem que haja perda de qualidade”.

Para a determinação da fragilidade dos ambientes naturais, deve-se obter os levantamentos básicos de geomorfologia/declividade, solos, cobertura vegetal/uso da terra, pluviosidade e geologia. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Sendo assim, é possível identificar e analisar os ambientes em função de seus diferentes níveis de vulnerabilidade, mapeando-se seus graus e permitindo ações tecnicamente mais adequadas a essas condições (Spörl & Ross, 2004).

Os estudos de fragilidade ambiental têm por objetivo classificar as unidades ambientais com relação à vulnerabilidade aos processos erosivos. Com base nestes estudos avaliou-se as ações implementadas pelo homem são capazes de se coadunar com as restrições naturais, bem como, poder realizar algumas previsões em relação a usos futuros (Dantas, 2007). Esse exame tem como objeto acompanhar o

comportamento de um ambiente, com graus de fragilidade naturais, com o aparecimento da interferência humana. Do ponto de vista ambiental, a preparação de uma carta de fragilidade ambiental auxiliaria “em um diagnóstico-síntese que pode perfeitamente nortear as intervenções antrópicas futuras e corrigir as presentes. É, portanto, um instrumento importante no trabalho de planejamento físico territorial” (Ross, 1991).

Dessa forma, Pereira (2009) percebeu que partindo da conexão de alguns fatores do meio físico, (geologia, clima, relevo, cobertura vegetal, erosividade, erodibilidade, fator topográfico) foi possível obter uma primeira visão geral do potencial natural aos processos erosivos e da fragilidade da bacia hidrográfica do Ribeirão de Imaruí (SC). Ao acrescentar o fator antrópico (uso do solo) foi possível determinar o risco da ocorrência de erosão e outras fragilidades (risco de inundação, movimentos de massa, comprometimento da qualidade da água) (Figura 3.1).

A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial. Para isso, as propostas dos futuros cenários de desenvolvimento sustentável, necessitam de modelos que simulem a integração dos processos da dinâmica espacial em bacias hidrográficas (Conway & Lathrop, 2005).

É de extrema importância aos Planejamentos Ambientais a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades, proporcionando uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território (Spörl & Ross, 2004).

Os mapas preliminares das fragilidades ambientais constituem uma importante ferramenta utilizada no Planejamento Ambiental pelos órgãos públicos, tendo como foco o desenvolvimento sustentável. O mapeamento preliminar da fragilidade ambiental permite conhecer as potencialidades do meio ambiente, inter-relacionando suas características naturais e suas restrições às ações antrópicas desenvolvidas nas unidades de paisagem natural (Dantas 2007).

Sendo assim, as análises das fragilidades ambientais determinam novas propostas de zoneamento que visam reequilibrar o ambiente para um desenvolvimento mais harmonioso (Ruhoff, 2006).

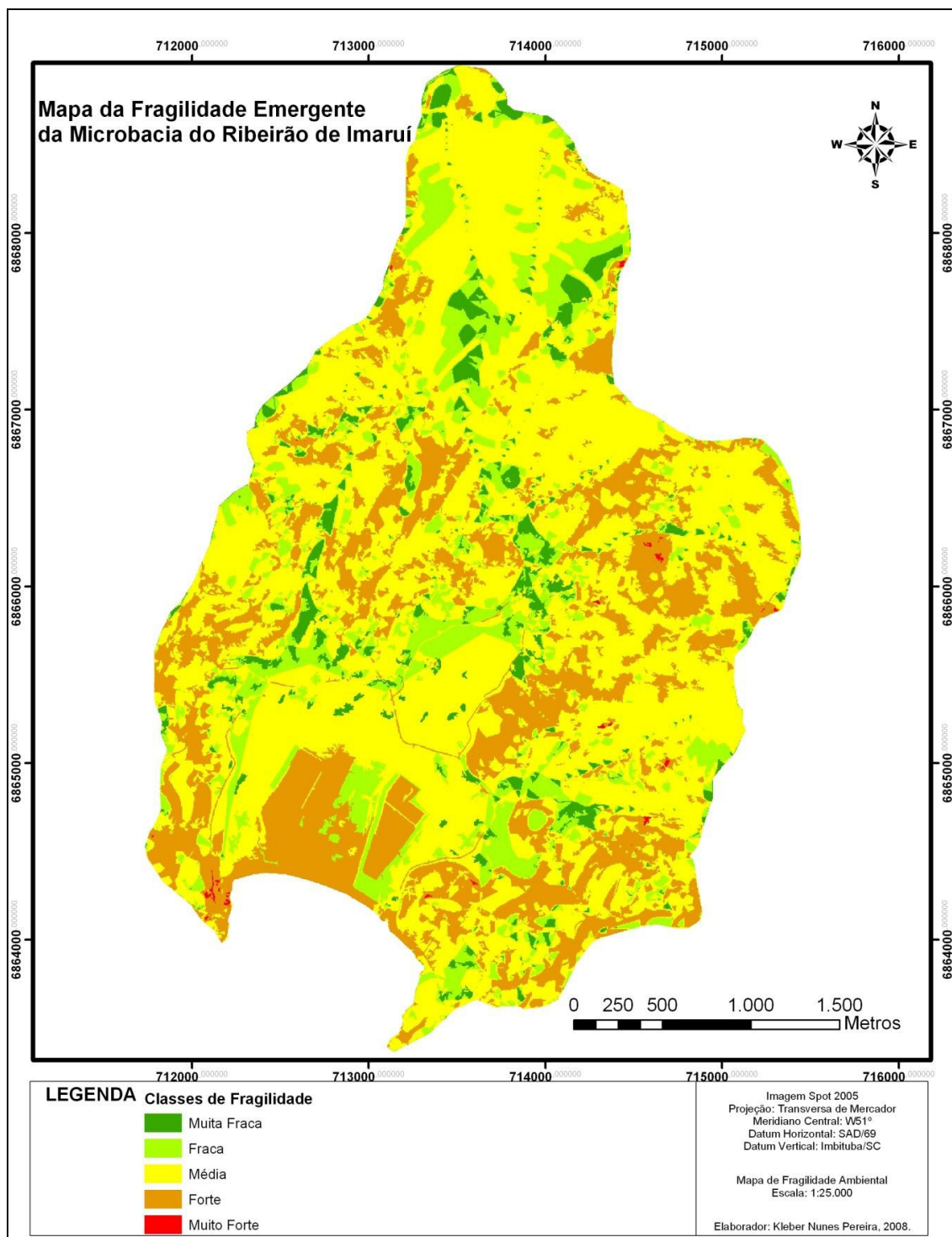


Figura 3.1 – Mapa da Fragilidade Emergente da Microbacia do ribeirão Imaruá. Fonte: Pereira, (2009).

O conhecimento das fragilidades é indispensável à gestão do espaço geográfico, permitindo construir modelos digitais a partir da cartografia de um território, fundamentando decisões a partir de variáveis previamente definidas (Danna *et al.* 2007).

Segundo Conway & Lathrop (2005), para as propostas dos futuros cenários de desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas são necessários modelos que simulem os processos de dinâmica espacial e temporal, ou seja, a dinâmica de mudança. Nijs & Crommentuijn, (2004), afirmam que para elaborar o zoneamento ambiental deve-se conhecer a dinâmica espacial, sendo necessária uma base de dados históricos e consistentes para se calibrar a dinâmica de um modelo de uso da terra para as bacias hidrográficas, conforme Figura 3.2.

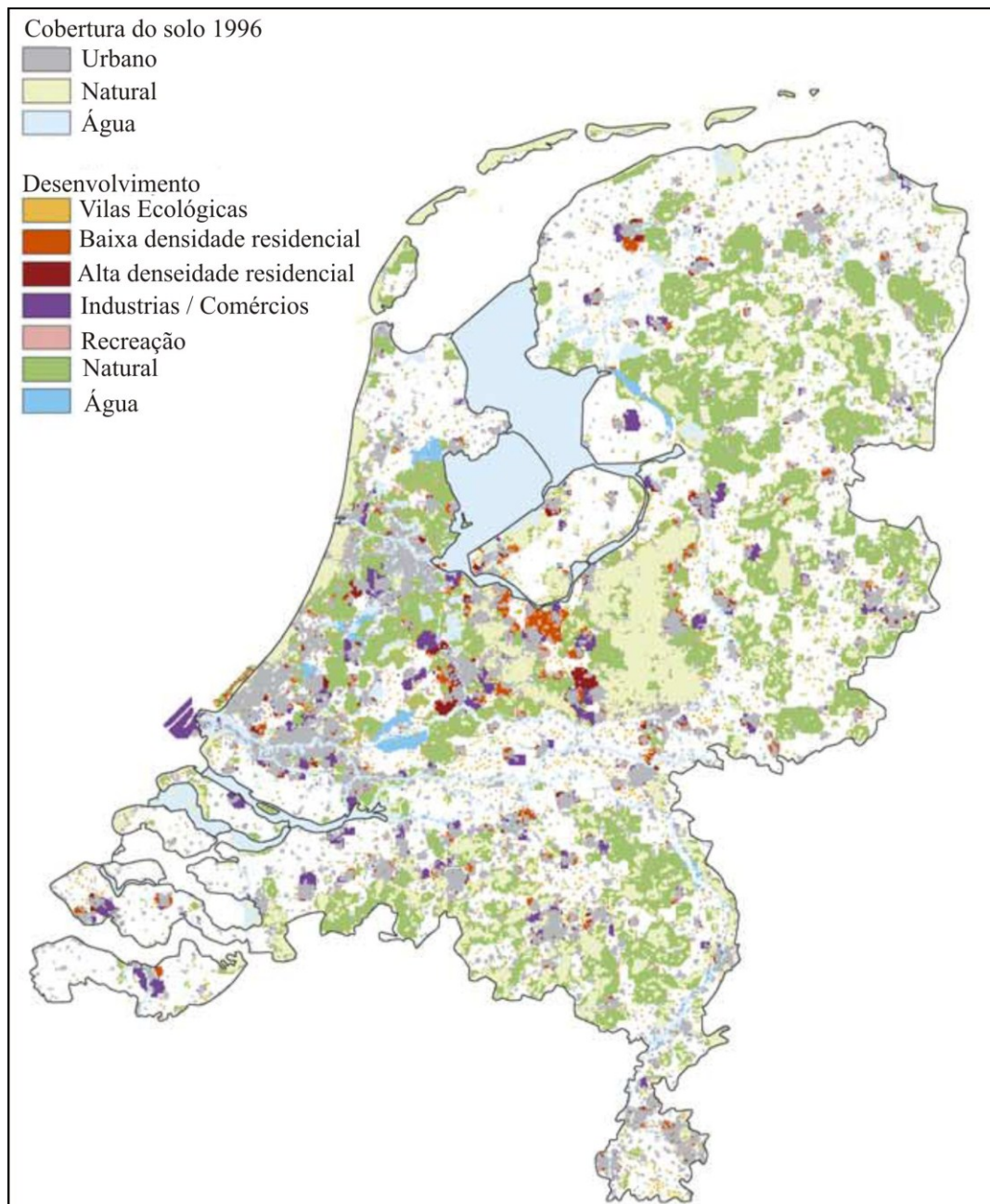


Figura 3.2 – Cenário de cobertura do solo em 2030 nos Países Baixos. Fonte: Adaptado Nijs e Crommentuijn, (2004)

3.3- Zoneamento da vulnerabilidade ambiental

O Zoneamento Ambiental foi declarado instrumento de planejamento e gestão no Inciso II, art. 9º, da Lei federal de Política Nacional de Meio Ambiente nº 6.938/81, ao tempo em que se criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), juntamente com os Estudos e Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e Gerenciamento de Bacias Hidrográficas.

Conforme Camargos (2006), zoneamento ambiental institui diferentes tipos de zonas nas quais o Poder Público estabelece regimes especiais de uso, gozo e fruição da propriedade, na busca da melhoria e recuperação da qualidade ambiental e do bem-estar da população. Dessa maneira, esse instrumento possui um caráter diferenciador, de acordo com as especificidades do território, funcionando como uma ferramenta necessária para alcançar os objetivos de prevenção, controlar ou monitorar os impactos ambientais e prever os rebatimentos sobre a sociedade (IBAMA, 1997).

Uma das mais importantes etapas da gestão ambiental é cumprida pela caracterização ambiental, responsável pela indicação das vocações e suscetibilidades naturais dos fatores ambientais em conjunto. Dessa forma, se sugere para que o planejamento da ocupação do espaço geográfico seja baseado no reconhecimento das potencialidades e fragilidades dos fatores físicos, biológicos e antrópicos que compõem o meio ambiente ante as características e especialidades das atividades a serem acomodadas (Souza, 2000).

As propostas dos zoneamentos ambientais orientam a ocupação rural e urbana, a fim de subsidiar o planejamento e a administração do território, fornecendo diretrizes da política ambiental; compatibilizando-as com as demais políticas públicas: agrícola, industrial, urbana, energética, visando à regulamentação da exploração dos bens naturais e da ocupação do território (IBAMA, 1997).

Conforme Moschini (2008), embora a exploração econômica dos recursos naturais deva combinar, de maneira racional, o desenvolvimento e as práticas de conservação para resguardar a qualidade ambiental da bacia hidrográfica, há poucas diretrizes e éticas do consenso em estabelecer qual a melhor política para enfrentar os problemas ambientais não percebidos pela sociedade, principalmente, daqueles resultantes dos tipos de uso da terra.

Conforme Oliveira (2004), a implementação prática e o reconhecimento da importância do zoneamento ainda carecem da aplicação de metodologias adequadas, em

especial, quanto ao produto a ser produzido e sua utilidade enquanto instrumento de suporte à decisão. Uma vez que a finalidade do instrumento é auxiliar na formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento a serem desenvolvidas, em um determinado território, não podendo ser visto apenas como elemento restritivo, mas sim como regulamentador social do uso dos recursos naturais e ecológicos, onde a segmentação por setores ou zonas possui objetivos de manejo e normas específicas, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos de conservação da natureza possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz (Paula & Souza, 2007).

Segundo Ruhoff (2004), o zoneamento ambiental, conforme a Figura 3.3, determina a fragilidade do meio natural desde áreas estáveis até áreas com instabilidade emergente, em uma escala de 0 a 100% de risco ambiental potencial

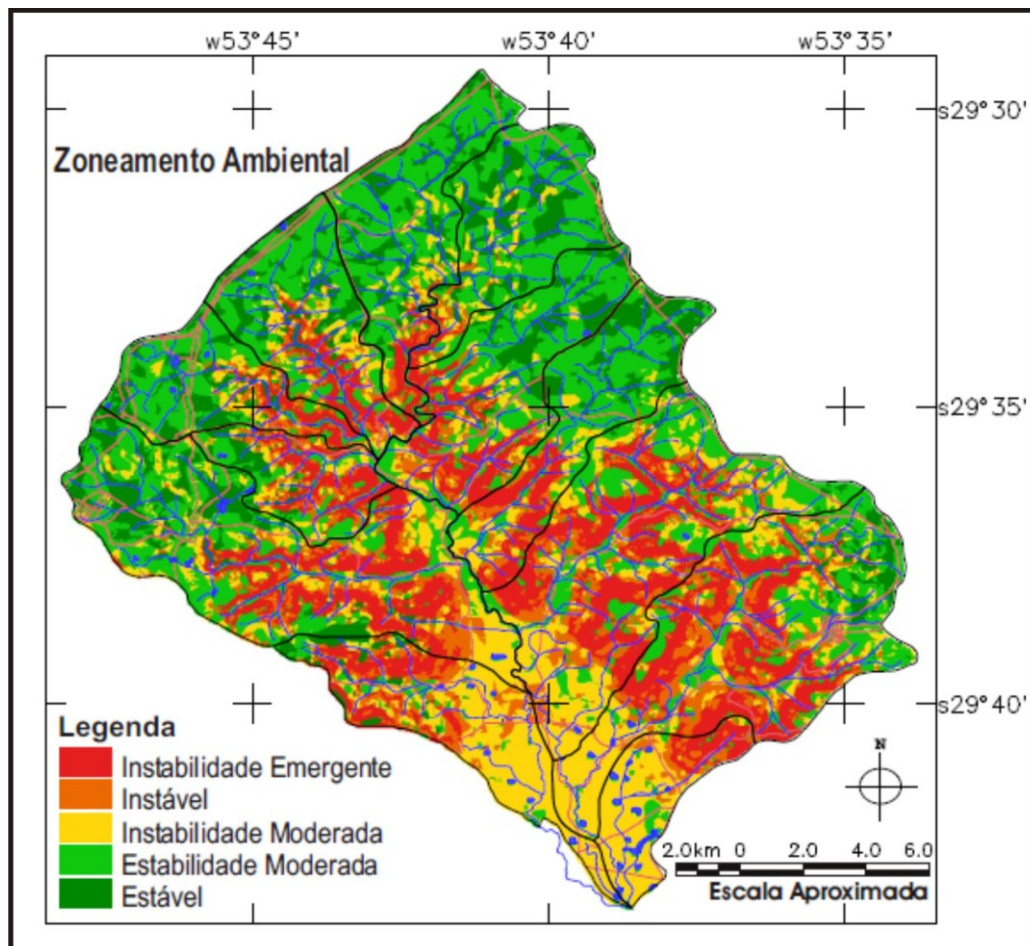


Figura 3.3 - Zoneamento Ambiental da Bacia do Arroio Grande - SC.

Fonte: (Ruhoff, 2004).

De fato, o zoneamento da vulnerabilidade ambiental é um instrumento com respostas essencialmente ambientais, logo dinâmicas, e que não se propõe a ser fechado e estanque quando se relaciona com a cobertura do solo. Ele deve ser visto como um

plano de desenvolvimento regional e não como uma ação exclusiva do setor ambiental da administração pública (Oliveira, 2004).

Devido a isso, Sabatini *et al.* (2007) relata que a ausência de um zoneamento efetivo, na maioria das áreas protegidas em países em desenvolvimento, não permite conseguir os objetivos para o qual foram criadas, onde os cumulativos impactos ecológicos, através da utilização da terra, são ignorados regularmente em decisões de planejamento na utilização da terra em nível local (Conway & Lathrop, 2005).

Segundo Ribas (2002), o controle sobre os problemas de degradação só se dará por meio do conhecimento dos processos e ciclos naturais específicos de cada local, sendo necessário o planejamento ambiental do território para consubstanciar a configuração de usos e funções mais apropriados a uma região. O desenvolvimento econômico e demográfico, as políticas de zoneamento e o crescimento urbano também deverão ser integrados, sistematicamente, em uma estrutura consistente, para que cada um destes elementos possam ser definidos pelo usuário com base nas tendências históricas, para a projeção a longo prazo, onde o resultado é importante para avaliar efeitos potenciais na natureza e na paisagem, de acordo com as tendências da sociedade (Nijs & Crommentuijn, 2004).

Portanto, para a realização do zoneamento, deve-se passar pelo processo de determinação das vulnerabilidades e aptidões ambientais do território com a finalidade de auxiliar na formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento, que possibilita a visualização, por meio de cenários, da distribuição das áreas suscetíveis aos processos naturais e também das áreas com maior ou menor potencial para a implantação de atividades, de forma bastante clara e sempre em função da capacidade de suporte do meio (Oliveira, 2004). Os resultados são orientados para a identificação das diversidades espaciais, seus potenciais e limitações, avaliação da fragilidade-vulnerabilidade, balanço entre potencialidades e limitações ecológicas e sócio-econômicas das unidades ambientais que possibilitam a avaliação da capacidade de suporte.

Esses diagnósticos ambientais conduzem a um produto cartográfico que espacializa o nível de conhecimento disponível para compreender e integrar as variáveis ecológicas e sócio-econômicas em porções de espaços produzidos (IBAMA, 1997). Por isso, os cenários resultantes da elaboração de um zoneamento se materializa através de um conjunto de mapas-síntese e informações sobre aptidão das subunidades do

território, transformando em um dos melhores instrumentos de auxílio aos gestores e de todas as partes envolvidas. (Oliveira, 2004).

Sendo assim, os zoneamentos apresentam compartimentações das paisagem naturais, segundo suas características físico-bióticas das Unidades Ecodinâmicas. A Figura 3.4, demonstra o zoneamento da vulnerabilidade do aquífero Guarani no município de São Carlos, SP, determinando áreas com diferentes níveis de risco de contaminação da água subterrânea, a fim de subsidiar as tomadas de decisões e direcionar para um desenvolvimento sustentável da região.

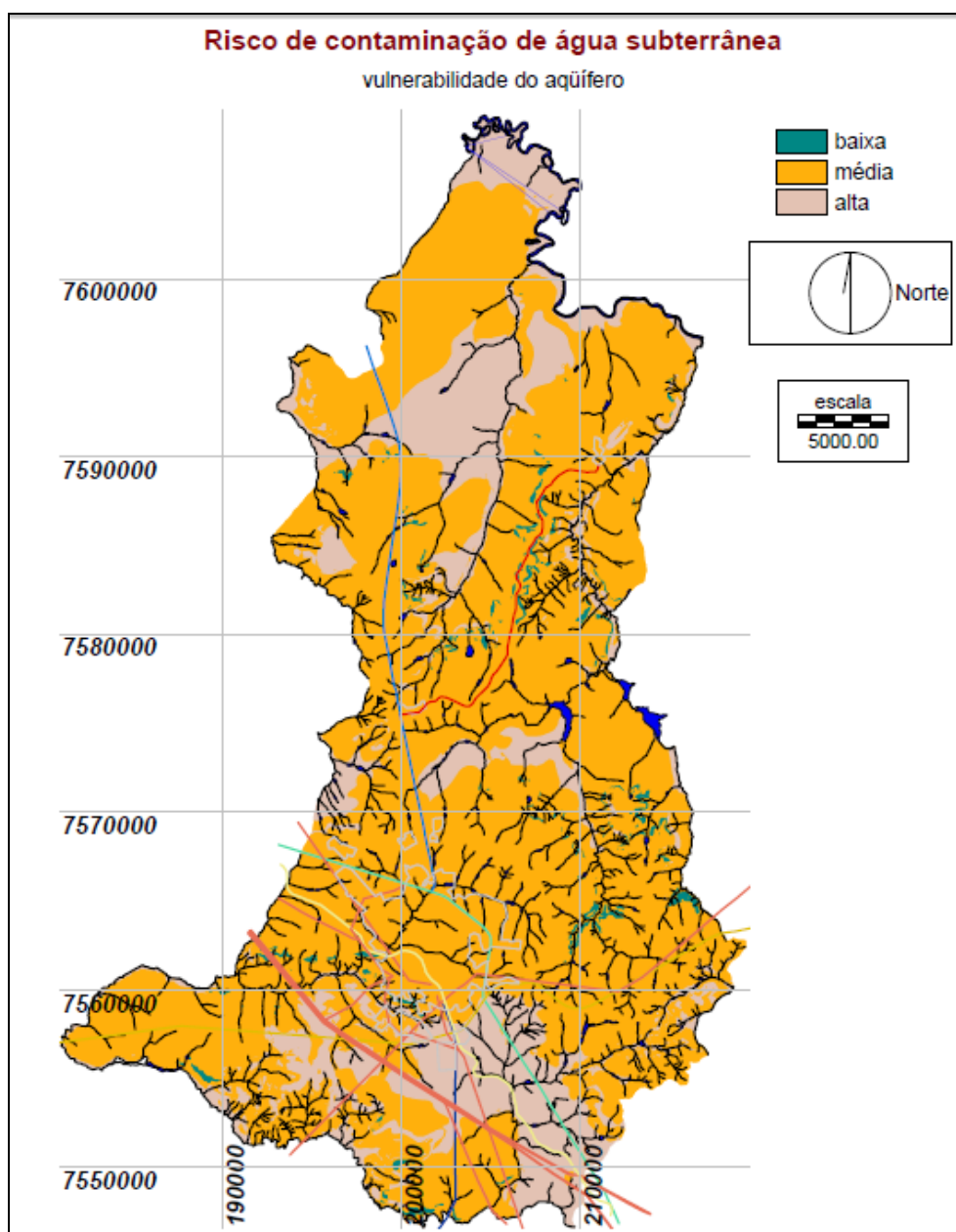


Figura 3.4 – Mapa de risco de contaminação de água subterrânea do município de São Carlos, SP. Fonte: (Montaño, 2002).

3.4- Unidades Ecodinâmicas e suas variáveis

Na natureza, as trocas de energia se processam através de relações de equilíbrio dinâmico e frequentemente é alterado por intervenções antrópicas. Dessa forma, Tricart (1977) define as unidades ambientais, considerando o ambiente em equilíbrio dinâmico como sendo estável, ao passo que o ambiente em desequilíbrio é instável, devido a sua alteração causada pelo homem, provocando desequilíbrios temporários e permanentes.

A análise do equilíbrio das unidades ecodinâmicas requer estudos inter-relacionados de relevo, solos, subsolos, uso e ocupação do solo e clima, onde esses elementos, tratados de forma integrada, possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais, em consonância com os pressupostos dos Geossistemas que analisam o meio ambiente sob o prisma da Teoria de sistemas de unidades ecodinâmicas (Sotchava, 1977, Bertrand & Bertrand, 2007 *apud* Lima & Martinelli, 2008).

Sendo assim, a Teoria Geral dos Sistemas é o melhor instrumento lógico que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente, procurando não somente ser uma orientação teórica, mas apresentar uma orientação metodológica, baseada nos graus de estabilidade-instabilidade morfodinâmicas.

Dessa forma, Ross (1990) sistematiza a análise morfodinâmica de Tricart, acrescentando novos critérios para definir as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis, em vários graus, desde a vulnerabilidade muito fraca a muito forte, qualitativamente previsível, face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica (Cereda Junior, 2006). Contudo, Lago *et. al* (2009) também determina que o conceito de unidade ecodinâmica, baseado na relação das variáveis de Morfogênese/Pedogênese é fundamental para a avaliação do processo dinâmico de vulnerabilidade em bacias hidrográficas.

A Tabela 3.1 compara as características das Unidades Ecodinâmicas estáveis e instáveis definidas por Ross (1990).

Tabela 3.1– Características das Unidades Ecodinâmicas.

Unidades ecodinâmicas estáveis	Unidades ecodinâmicas instáveis
Cobertura vegetal densa, capaz de por freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese	Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregularidades de chuvas, ventos, geleiras
Dissecação moderada do relevo, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem solapamentos vigorosos dos rios e vertentes de lenta evolução.	Relevo com dissecação, apresentando declives fortes e extensos

Tabela 3.1– Características das Unidades Ecodinâmicas.

Unidades ecodinâmicas estáveis	Unidades ecodinâmicas instáveis
Ausência de manifestações vulcânicas e abalos sísmicos que possam desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos	Presença de solos rasos ou constituídos por partículas com baixo grau de coesão
	Inexistência de cobertura vegetal densa. Planícies e fundo de vales sujeitos a inundações. Geodinâmica interna intensa (sísmicos e vulcanismo)

Fonte: Ross (1990).

Sendo assim, os meios estáveis são aqueles que estão em equilíbrio ou em estabilidade morfogenética. Isso significa que o sistema não está estagnado, mas possui uma lenta evolução, constante no tempo e com os fatores em harmonia. Dessa forma, os processos pedogenéticos são favorecidos, em detrimento dos processos morfogenéticos. (Cereda Junior, 2006).

Segundo Crepani *et al.*(2000), quando existe o predomínio da pedogênese, prevalecem os processos formadores de solos; já, ocorrendo à morfogênese, os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, são ativos (Cereda Junior, 2006).

As unidades instáveis para Ross (1994) são aquelas cujas intervenções antrópicas modificam intensamente os ambientes naturais, através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas. Ou seja, as atividades humanas desestabilizam o equilíbrio dinâmico, onde as condições naturais de cobertura vegetal foram substituídas, sendo a morfogênese o elemento predominante da dinâmica natural e o fator determinante do sistema natural (Tricart, 1977).

Segundo Cereda Junior (2006), a variável cobertura vegetal identifica, através de seus coeficientes, as áreas onde o equilíbrio dinâmico foi corrompido, provocando situações de risco, e as áreas nas quais a estabilidade permanece inalterada.

Os resultados de trabalho que utilizam dessas metodologias refletem, de forma eficaz, as condições do objeto de estudo, pois as áreas resultantes com fragilidades muito altas são extremamente as parcelas da área nas quais o solo apresenta condições muito propícias ao desenvolvimento de processos de degradação física e onde ocorrem processos erosivos significativos (Cereda Junior, 2006).

3.5- Inferência Fuzzy e o processo analítico hierárquico AHP

Geralmente, a execução de álgebras de mapas emprega operações booleanas, onde as mesmas possuem limiares nítidos e rígidos que, por sua vez, não representam os fenômenos naturais com todas suas características. Os resultados obtidos sugerem que os métodos booleanos estão muito mais sujeitos à propagação de erros em modelamentos do que os equivalentes Fuzzy. Estes podem reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo informações confiáveis (Burrough & McDonnell, 1998).

A introdução dos conjuntos Fuzzy para lidar com conceitos inexatos foi, inicialmente, introduzida por Zadeh em 1965. Esta é uma metodologia de caracterização de classes, que por várias razões, não tem ou não pode definir limites rígidos. Indica-se sempre que se tiver que lidar com ambiguidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos (Burrough & McDonnell, 1998).

A lógica ou inferência Fuzzy está contida na categoria de análise de mapas não cumulativos, ou seja, análise de mapas integrados, ao invés de mapas fundidos, gerados pela álgebra Booleana. A lógica Fuzzy pode ser definida como a parte da lógica matemática dedicada aos princípios formais do raciocínio incerto ou aproximado, portanto mais próxima do pensamento humano e da linguagem natural (Paula & Souza, 2007).

A álgebra de mapas que utiliza lógica booleana expressa seus resultados de forma binária, não sendo possível a condição “talvez”. Embora seja prático, não é o mais adequado, pois o ideal é que as evidências que representam importância relativa diferente recebam pesos de diferentes valores e não sejam tratadas igualmente (Câmara et al., 2001a).

A natureza não possui limites rígidos e estáticos, portanto para a análise ambiental em Geomática são necessárias as técnicas de inferências geográficas Fuzzy, a fim de representar de maneira mais complexa os fenômenos naturais reforçado por Silva (2001), que relata sobre “os limites entre superfícies contínuas não ocorrem bruscamente na grande maioria das vezes”. Assim, quando da diferenciação de relevo suave e íngreme, percebe-se uma gradual passagem de uma característica para outra, faz-se necessário modelar essas características, aplicando-se a lógica Fuzzy, que possibilitará a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo”, significando

que o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados (Ruhoff, 2006).

Conforme Rodrigues (2009), a utilização do classificador Fuzzy melhora a qualidade das classificações digitais de uso do solo. Preenche tal lacuna, sendo utilizado para representar a cobertura vegetal, quando pixels podem ter múltiplas ou parciais classes de adesão. Com a classificação convencional, gera-se apenas uma saída rígida, e com a classificação Fuzzy, obtemos várias saídas, as quais levam em conta, para cada tema, a confusão existente entre eles e os demais. Essa técnica permite identificar as áreas com maiores probabilidades a erros ao se gerar uma saída rígida, fornecendo informações importantes para a análise dos dados gerados. A Figura 3.5 ilustra a diferença entre as fronteiras dos conjuntos booleanos e conjuntos Fuzzy.

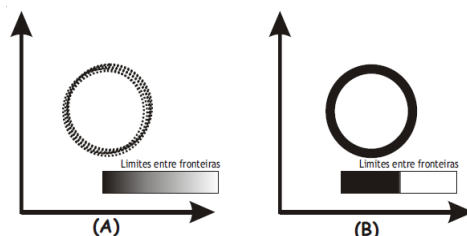


Figura 3.5– Diagrama de VENN – diferença entre a fronteira da logica fuzzy (A) e logica booleana (B). Fonte: (Burrough & Mcdonnell, 1998).

Portanto, no modelamento Fuzzy, os especialistas não se prendem a regras dicotômicas rígidas para definirem contatos que são transacionais. Os mesmos empregam a lógica Fuzzy para a análise de ambientes complexos, permitindo graus de pertinência parciais e intermediários, a fim de representar melhor os fenômenos naturais (Lobão, 2006).

Atualmente, existem vários operadores de inferência espacial para a integração dos dados, dentre as quais se destacam os modelos Bayesiano, Redes Neurais, Média ponderada e o processo analítico hierárquico (Ruhoff, 2004).

Para avaliar e decidir as melhores alternativas propostas em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas, é utilizada uma técnica conhecida como AHP – Processo Analítico Hierárquico. A AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos (Câmara *et al.*, 2001e).

Segundo Tanaka & Entani (2007), o processo analítico hierárquico é um método útil nos problemas da tomada de decisão multicritério, sendo usado para calcular os pesos dos critérios por pares de comparações e tornando mais pesado o estabelecimento

da matriz. A importância relativa dos critérios é obtida consultando e examinando as opiniões de peritos (Câmara *et al.*, 2001e).

Os elementos das matrizes da comparação são medidas relativas dadas por um responsável pelas decisões, sendo assim, os pesos podem refletir subjetivamente no problema real de decisão. O ideal seria que os pesos globais do intervalo fossem obtidos igualmente como probabilidades do intervalo, de modo que sejam normalizados para reduzir a redundância. O intervalo normalizado são informações úteis para uma decisão final no sentido que refletem julgamentos incertos de um responsável pelas decisões como intervalos sem redundância (Tanaka & Entani, 2007).

Ainda assim, Câmara *et al.* (2001c) afirma que a partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é possível determinar um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a combinação dos diferentes mapas, tendo como vantagem a habilidade de avaliar graus de potencialidade em vez de apenas avaliar presença ou ausência da potencialidade.

A determinação dos pesos das variáveis ambientais é calculada pela matriz de comparação pareada do processo analítico hierárquico – AHP. A técnica classifica e transforma os dados para um espaço de referência entre [0 e 1], ou seja, entre [0 e 100%]. O resultado será, ao invés de um mapa temático com limites rígidos, uma superfície de decisão numérica que representa uma variação contínua, ou seja, uma dinâmica numérica espacial (Barbosa *et al.*, 2001 *apud* Ruhoff, 2006).

Esse tipo de classificação transforma os dados para um espaço de referência, onde são processados pela combinação numérica da lógica Fuzzy, resultando em uma superfície de decisão e classificando as áreas mais ou menos vulneráveis (Paula & Souza, 2007).

Assim sendo, Lobão (2006) determinou as vulnerabilidades natural a erosão da bacia hidrográfica do Morro do Chapéu, no estado da Bahia, utilizando-se da comparação pareada, conforme a Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Conjunto Fuzzy para a Vulnerabilidade/estabilidade Ambiental

Classes de Vulnerabilidades	Fuzzy -AHP
Vulnerável	0,2
Moderadamente vulnerável	0,4
Mediana	0,6
Moderadamente estável	0,8
Estável	0,99

Fonte: Adaptado (Lobão, 2006).

A Tabela 3.3 também demonstra uma aplicação do processo analítico hierárquico (AHP), na gestão do uso da terra em Hanyang na China, no qual foi necessário uma avaliação dos valores para as alternativas. Para tanto, os peritos locais sobre os recursos da terra, recursos hídricos, proteção ambiental, ecologia aquática, comércio, urbanismo, geologia e desenvolvimento social foram convidados a realizar as comparações de pares para o desenvolvimento da matriz de ponderação. O peso de cada critério foi calculado pelo modelo AHP (Malczewski, 2004 *apud* Mao *et al.*, 2007).

Tabela 3.3 - Matriz de pesos para a sustentabilidade de assentamentos do uso do solo

Critérios (Layer 2)	Pesos	Critérios (Layer 3)	Pesos	Critérios (Layer 4)	Pesos
		Geologia/Topografia	0,1465	L1	0,1013
				L2	0,0452
Naturais e Ecológicos	0,3547	Hidrologia	0,0530	L3	0,0160
				L4	0,0370
		Ecologia	0,0845	L5	0,0845
Sócio-econômico	0,2656	Uso do solo	0,0707	L6	0,0707
		População	0,0172	L7	0,0172
		Economia	0,1566	L8	0,1566
Localização	0,3797	Efeitos ambientais	0,0918	L9	0,0918
		Economia local	0,2079	L10	0,2079
		Transporte local	0,1718	L11	0,1718

Fonte: Adaptado (Mao *et al.*, 2007).

Da mesma forma, Crepani *et al.*(1996) também representa a vulnerabilidade e estabilidade, porém em uma escala diferente conforme a Figura 3.5.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9		255	51	0	
U3		2,8		255	102	0	
U4	V	2,7		255	153	0	
U5	U	2,6	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5		255	255	0	
U7	N	2,4		204	255	0	
U8	E	2,3		153	255	0	
U9	R	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1		51	255	0	
U11	B	2,0		0	255	0	
U12	I	1,9		0	255	51	
U13	L	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7		0	255	153	
U15	D	1,6		0	255	204	
U16	A	1,5		0	255	255	
U17	D	1,4	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	E	1,3		0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

*Figura 3.6 – Representação da vulnerabilidade e estabilidade das unidades Territoriais básicas. Fonte: Adaptado (Crepani *et al.* 1996).*

3.6- Modelagem ambiental em Sistemas de Informação Geográfica

O processamento das informações geográficas tenta simular o “mundo real” através de modelagens, a fim de se verificar cenários que possibilitem diversas análises do ambiente (Conway & Lathrop, 2005).

Contudo, todo e qualquer ambiente caracteriza-se por uma localização espacial e por um processo dinâmico, onde as variáveis se modificam ao longo do tempo e do espaço. Esse é um importante aspecto inerente as modelagens ambientais. É a questão da espacialidade, que é um dos conceitos-chave do Geoprocessamento (Ruhoff, 2004).

Conforme Câmara *et al.* (2001b), as ferramentas computacionais e matemáticas permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georeferenciados. Onde os mesmos devem ser empregados no monitoramento ambiental de uma região e no fornecimento de subsídios para o ordenamento territorial, com vistas ao equilíbrio ambiental em bacias hidrográficas (Bertoldo *et al.*, 2007 *apud* Rodrigues 2009).

Assim sendo, Bernini *et al.* (2007) & Rodrigues (2009) concordam a respeito da importância de se utilizar um SIG como ferramenta para geração e visualização de dados espaciais, na forma de produção de mapas. Ora dando suporte para análise espacial (quando agregadas informações que formam um banco de dados geográficos, capaz de prever qual é a determinada ação que podemos tomar, partindo do ponto do diagnóstico geográfico); ora como um banco de dados geográficos com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Portanto, estes sistemas, por sua extensa capacidade de analisar relacionamentos de diversas naturezas, incorporam funções de análise ambiental, tais como levantamentos de ocorrências conjuntas, monitoramento de alterações ambientais, avaliações de situações críticas, criação de cenários possíveis, execução de simulações e definições de zoneamentos ambientais. Em termos práticos, o problema que se propõe quanto à criação de procedimentos de pesquisa ambiental baseados no uso de SIGs, é que estes procedimentos sejam respeitadores da natureza diversificada dos dados ambientais e, ainda assim, permitam análises e integrações sucessivas que conduzam a deduções quanto a relações causais (Silva, 2001).

Segundo Dantas (2007), os recursos técnico-operacionais possibilitados pelos sistemas de informações geográficas permitem desenvolver os mapeamentos da

fragilidade ambiental com muito mais eficiência, através das análises de grandes quantidades de dados, com relações intrincadas entre estes dados.

De acordo com Blaschke *et al.* (2005), os sistemas de informação geográfica estão cada vez mais amalgamados com os modernos sistemas de sensoriamento remoto, onde a velocidade desses dois universos, antes essencialmente separados, aumentou consideravelmente nos últimos anos, permitindo, através de imagens de satélites, a modelagem das variáveis dinâmicas, da cobertura do solo, associadas a informações administrativas, distribuição espacial da vegetação e de dados estatísticos sócio-econômicos (Mao *et al.*, 2007).

A Figura 3.7 demonstra um fluxograma das interações das diversas variáveis através de camadas, a fim de determinar cenários adequados para um desenvolvimento sustentável na região do Lago Hanyang na China. A Figura 3.8 também demonstra o mapa da adequação da análise multicritério para a gestão do uso da terra, na mesma área do lago Hanyang na China. O processo de avaliação integrou diversos critérios, tais como os níveis da água de sub superfície, risco de inundação e os efeitos ecológicos da paisagem. Sendo as áreas do lago diferentes das áreas urbanas ou agrícolas. Os critérios também foram distintos para os sistemas ecológicos de conservação e matas ciliares na gestão do uso da terra, devendo ser priorizada no processo de alocação do uso do solo (Mao *et al.*, 2007).

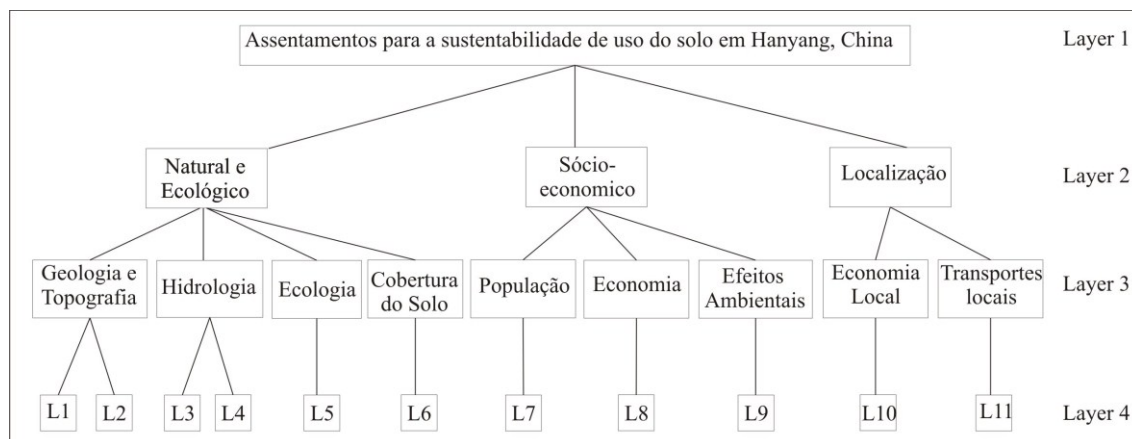


Figura 3.7 – Critérios de sustentabilidade para usos do solo em Hanyang, China.

Fonte: Adaptado (Mao *et al.* 2007).

A construção para estes cenários de 2006 e 2020 contém 185 parâmetros e formulações. Os dois modelos elaborados foram baseados em sistemas dinâmicos, onde o primeiro desenvolveu-se frente às atuais características e, para o segundo modelo, consideraram-se os impactos das políticas locais sobre a estrutura urbana e econômica (Mao *et al.*, 2007).

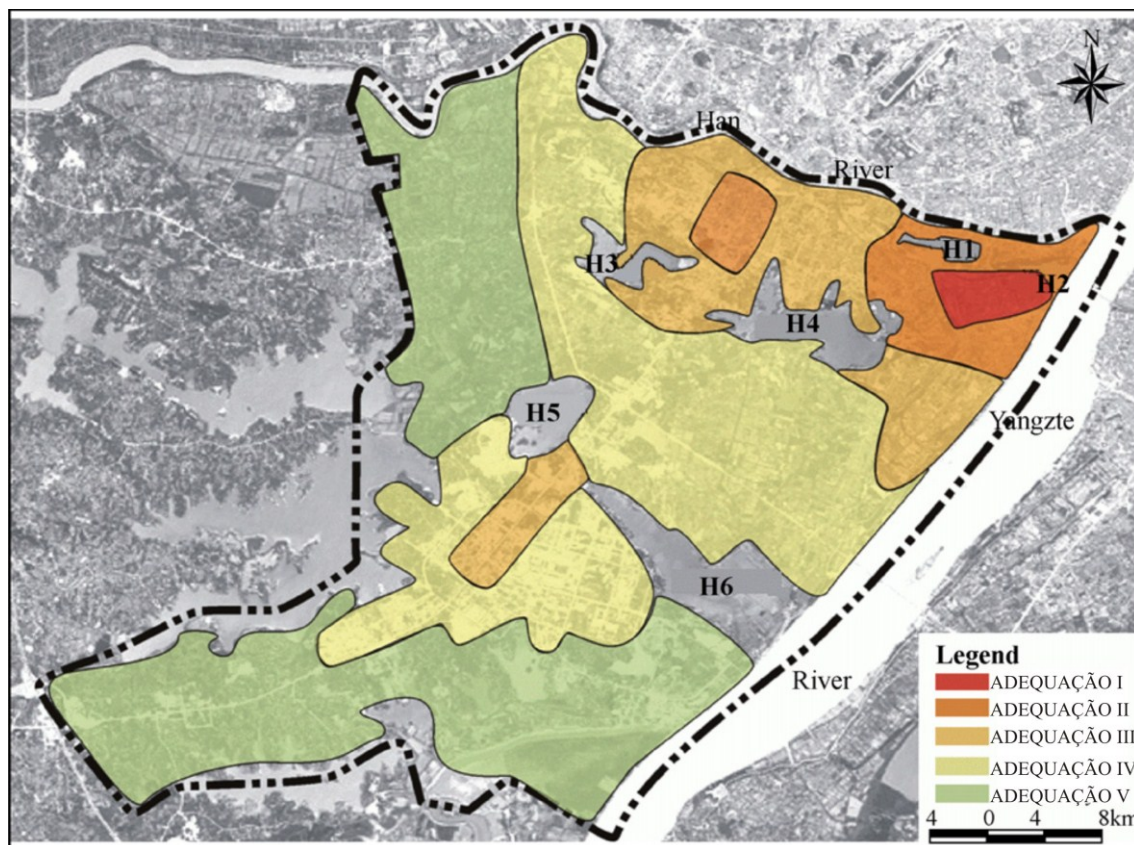


Figura 3.8 – Resultado da adequação do uso do solo para o lago Hanyang, China.

Fonte: Adaptado (Mao et al. 2007).

A gestão das áreas do lago na periferia urbana é bastante dinâmica, ao invés de um processo estático. O uso do solo é afetado por muitos fatores, tais como população, estrutura econômica, política e metas de conservação ecológica. Portanto, a análise do sistema e a modelagem dinâmica das mudanças da cobertura vegetal é essencial para o futuro da alocação do uso do solo. Nesse sistema-dinâmico integrado a um modelo celular automatizado, prognóstica a mudança, analisando o comportamento complexo dos sistemas em diferentes graus (He et al., 2005 in Mao et al., 2007). Os principais modelos automatizados empregam a inferência geográfica Fuzzy, obtendo-se assim uma análise multicritério entre as variáveis, através do processo analítico hierárquico – AHP (Mao et al., 2007).

Portanto, Nijs & Crommentuijn (2004) afirmam que as modelagens ambientais em sistemas de informação geográfica buscam mostrar os efeitos potenciais na natureza e na paisagem, no contexto de vários desenvolvimentos propostos, tentando identificar um padrão espacial mais apropriado para a utilização futura da cobertura do solo, de acordo com exigências específicas, preferências ou previsões de determinadas regiões (Stoms et al., 2002; Malczewski, 2004; apud Mao et al., 2007).

A figura 3.9 demonstra a modelagem de sistemas dinâmicos voltados à elaboração de cenários que determinem a vulnerabilidade natural à erosão, associados à integração das técnicas de inferência geográfica Fuzzy AHP. No Morro do Chapéu, no estado da Bahia, Lobão (2006) classificou 5 graus de estabilidade, a fim de determinar as áreas que possuem maiores ou menores influências no processo dinâmico na bacia hidrográfica.

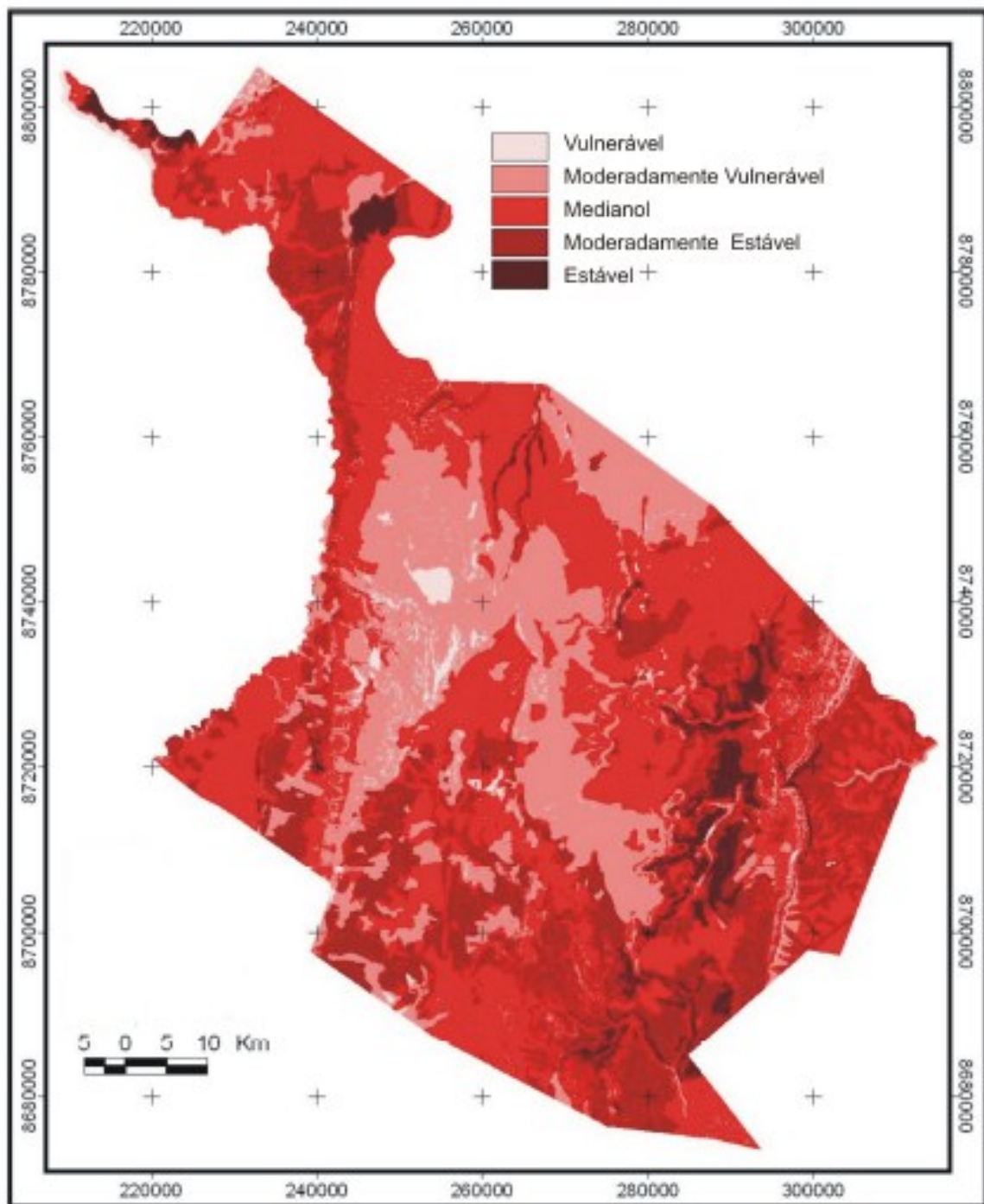


Figura 3.9 -Determinação das vulnerabilidades natural à erosão do Morro do Chapéu-Bahia. Fonte: Lobão (2006).

Contudo, Câmara *et al.* (2001d) relata que podemos caracterizar adequadamente a forma de organização do espaço, mas não capturarmos em toda a sua plenitude a natureza dinâmica dos processos de constante transformação da natureza, em consequência das ações do homem. Dessa forma, estabelece-se o constante desafio da Ciência da Informação geográfica, que é o desenvolvimento de técnicas e abstrações capazes de representar adequadamente os fenômenos dinâmicos do tempo e do espaço, referentes às relações entre natureza e a sociedade.

Capítulo 4 - Materiais e métodos

Neste capítulo serão apresentados os materiais, a área de estudo, bem como todas as metodologias utilizadas com a descrição de suas etapas, a fim de se fundamentar os resultados e análises que serão expostos no capítulo 4.

4.1-Materiais

Os materiais empregados para a elaboração da pesquisa estão descritos nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3.

Tabela 4.1- Características das Cartas.

Cartas	Escala	Fonte
Topográfica de São Carlos (SF-23-Y-A-I-1)	1:50.000	(IBGE, 1972)
Topográfica de Corumbataí (SF-23-Y-A-I-2)	1:50.000	(IBGE, 1972)
Geológica (SF-23-Y-A-I)	1:100.000	(Nishiyama, 1991)
Geomorfológica (SF-23-Y-A-I)	1:100.000	(Nishiyama, 1991)
Pedológica (SF-23-Y-A-I)	1:100.000	(Oliveira & Prado, 1984)

Tabela 4.2- Aplicativos.

Aplicativos	Utilização
Globalmapper 11	Digitalização de vetores
IDRISI Andes 15.0	Reclassificação Matricial Fuzzy
Spring 5.0	Classificação Supervisionada
ArcGis 9.2	Plotagem
GrADS 2.0	Mapa pluviométrico
MS-Office	Textos, gráficos e tabelas

Tabela 4.3- Características da imagem ALOS.

Sensor	Resolução espacial	Imagem		Fonte
		Bandas	Intervalo espectral	
AVNIR-2	10 metros	1	0,42 - 0,50 μm	Satélite ALOS 12/11/2006
		2	0,52 - 0,60 μm	
		3	0,61 - 0,69 μm	

Todos os elementos cartográficos adotados para a elaboração dos mapas seguem as bases do Sistema Brasileiro Geodésico, adotando o Datum planimétrico Córrego Alegre, que usa o elipsóide de Hayford, com a projeção UTM, referente ao Fuso 23 e altimétrico do marégrafo de Imbituba.

4.2-Área de Estudo e Fisiografia

A área de estudo situa-se na cidade de São Carlos, que está localizada na região centro-oeste do estado de São Paulo (Figura 4.1), sendo recortada ao meio pela rodovia Washington Luiz, no sentido SE/NW. A área total do município é de 1.143,9 Km² e uma área urbana próxima de 102,99 Km² (em 1998). Sua população atual está estimada em 212.956 habitantes (IBGE, 2008). Grande parte de seus mananciais se encontram no alto da serra do Cuscuzeiro que drenam o planalto de Itirapina, nos sentidos NE para SW e de E para W. A bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão também engloba frações dos municípios de Analândia e Itirapina.

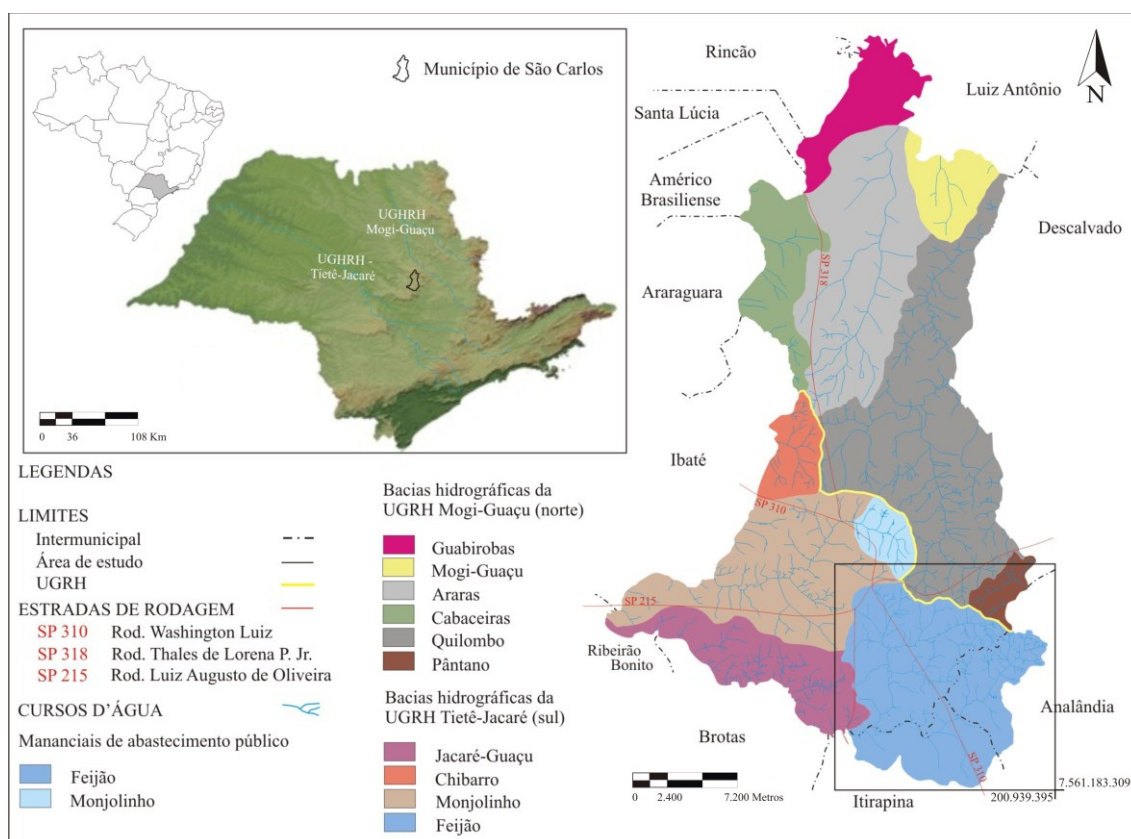


Figura 4.1- Sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do município de São Carlos/SP. Fonte: modificado de Tundisi et al. (2007).

A bacia hidrográfica do ribeirão Feijão possui uma área de 22.240 hectares, tendo as principais drenagens o ribeirão do Feijão, córrego Quebra Canela, córrego São José e córrego Monjolinho. Estes, por sua vez, compõem as bacias hidrográficas do Rio Jacaré-guaçu e, conseqüentemente a do Tietê-Jacaré.

Conforme Tundisi et al. (2005), o município de São Carlos está localizado na Província Geomorfológica das Cuestas Basálticas onde, no passado, havia predomínio da vegetação Cerrado e Floresta Estacional Semidecídua, existindo atualmente apenas

os remanescentes destes ecossistemas que sofrem grande pressão das atividades agrícolas de produtores de cana-de-açúcar e laranja, culturas com grande expressão na região. Apesar da denominação de capital nacional da tecnologia, as diferenças sociais são marcantes e são representadas por “bolsões” de pobreza em vários pontos da área urbana.

Segundo Oliveira e Prado (1984), a vegetação primitiva era representada, principalmente, pelos campos cerrados, cerradões condicionados pela predominância de solos muito profundos, excessivamente ou muito permeáveis e de baixo potencial nutricional. As areias quartzosas profundas e os latossolos de textura média, em função de sua baixa fertilidade, acidez elevada e das condições climáticas, desenvolvem vegetação do tipo cerrado. Essa vegetação normalmente é constituída de uma cobertura herbácea mais ou menos contínua e um dossel descontínuo de elementos arbóreos e arbustivos, de galhos retorcidos, cascas espessas e folhas coriáceas.

Conforme Nishiyama (1991), o baixo gradiente fluvial nesse trecho, possibilitou o desenvolvimento de vales amplos e planícies aluviais relativamente extensas. Com altitude mínima de 720 metros e a máxima de 1.020 metros, a vegetação primitiva foi rapidamente dizimada, sobretudo pelo avanço da pecuária, cultura canavieira, citrus e reflorestamentos. Entretanto, alguns núcleos dessa vegetação ainda persistem, graças às condições naturais dos terrenos que, de certa forma, dificultam a sua ocupação. A presença desses raros núcleos pode ser constatada nas faixas de terrenos com declividades acentuadas ou em áreas de solos de baixa fertilidade.

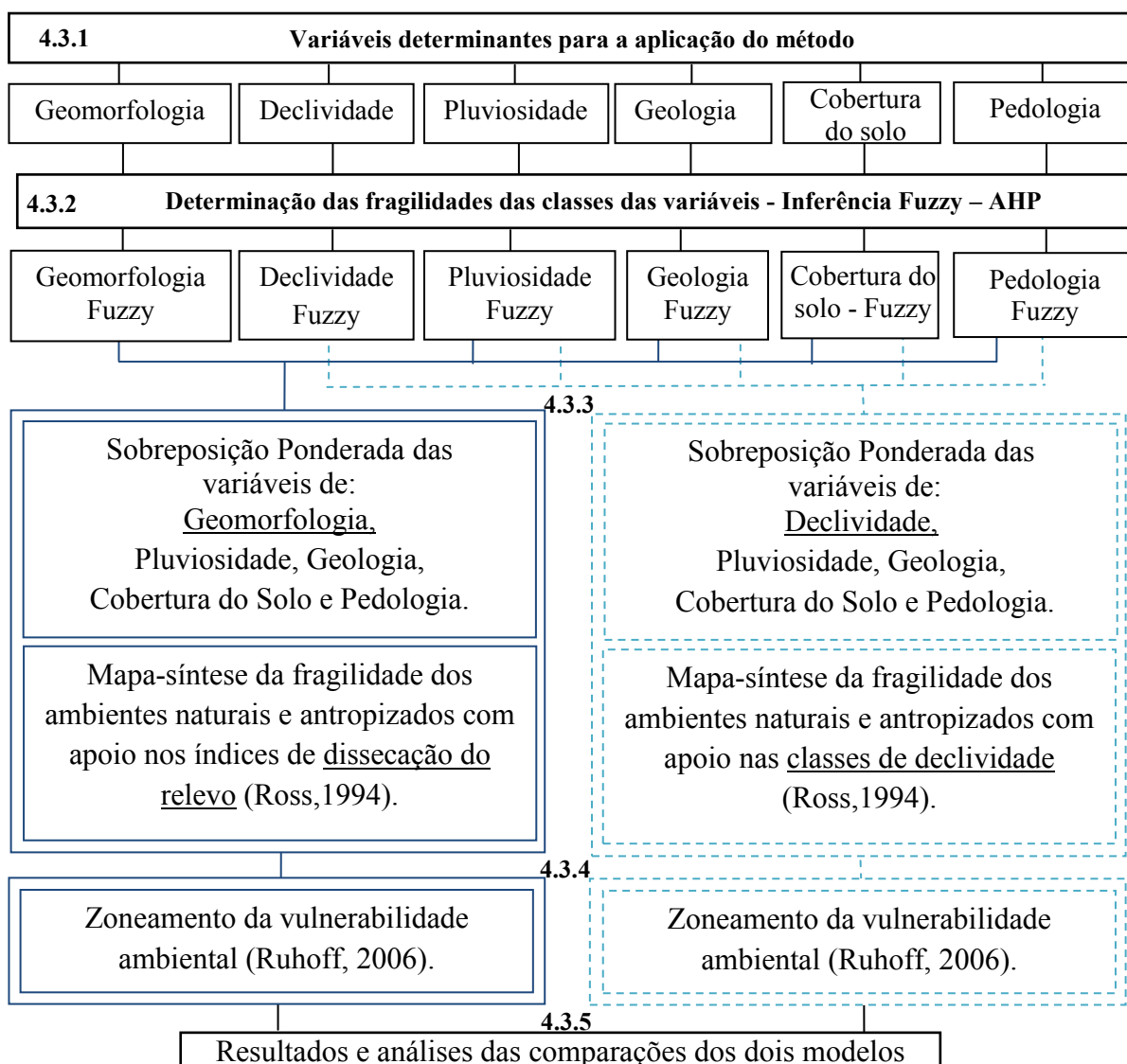
Em relação aos aspectos geológicos e geomorfológicos, Zuquette (1981) afirma que a região faz parte da província geomorfológica das Cuestas Basálticas. Tal província geomorfológica está localizada entre o Planalto Ocidental e a Depressão Periférica. Quanto à geologia, a mesma está totalmente localizada na Bacia Sedimentar do Paraná. Algumas das formações geológicas dessa Bacia aí afloram, tais como: Formação Botucatu, Serra Geral e Sedimentos Cenozóicos.

O clima da região, conforme o sistema de Köppen, pode ser definido por dois tipos climáticos para a região em estudo: o tipo C_{Wa}, mesotérmico inverno seco e a temperatura do mês mais quente superior a 22°C, característico para a porção correspondente à Depressão Periférica, onde os valores altimétricos estão em torno de 600 metros; o tipo C_{wb} ocorre nas regiões serranas com altitudes variáveis entre 800 e

1000 metros, sendo a temperatura do mês mais quente inferior a 22°C (Nishiyama, 1991).

4.3-Método

Na Figura 4.2 encontra-se o fluxograma geral que resume a metodologia empregada. Serão apresentados seus subitens, através das descrições e suas respectivas tabelas detalhadas de cada processo. Destaca-se que o fluxograma geral foi numerado para facilitar a organização e entendimento da estrutura do trabalho.



Legenda: — Metodologia com apoio nos índices de dissecação do Relevo.
 - - - Metodologia com apoio nas classes de declividade.

Figura 4.2 – Fluxograma geral do método.

4.3.1- Variáveis determinantes para a aplicação do método

Na Figura 4.2, especificamente no quadro 4.3.1 e seus respectivos subitens, está representada a primeira etapa de todo o fluxograma metodológico, apresentando e descrevendo a elaboração das variáveis determinantes para a aplicação das duas metodologias da análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados, proposta por Ross (1994).

Antes de iniciar todo o trabalho de elaboração das variáveis, delimitou-se, através de digitalização, a bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão e suas respectivas drenagens utilizando-se do *software* Globalmapper 11.0.

A criação da variável de geomorfologia utilizou-se da carta geomorfológica (SF-23-Y-A-I), com a escala de 1:100.000, elaborada por Nishiyama (1991), para a digitalização das classes encontradas sob a delimitação da bacia em estudo. Após a vetorização, converteram-se as classes mapeadas para a extensão matricial no *software* Idrisi Andes 15.0.

Para as classes de declividades, conforme a metodologia adotada, também realizou-se a digitalização de todas as curvas de nível da área estudada que se encontram nas cartas topográficas de São Carlos e de Corumbataí, por meio do *software* Globalmapper 11.0.

Após a digitalização, foi necessária a transformação dos dados vetoriais em dados matriciais para a construção do mapa de declividade da bacia hidrográfica, utilizando do *software* Idrisi Andes, 15.0. A imagem da altimetria elaborada permitiu a criação das classes de declividades em porcentagens.

Para o mapa pluviométrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão foi utilizado o banco de dados do CLIMAPUB, pertencente ao GPC (Grupo de Previsão Climática) do CPTEC-INPE, o qual foi cedido pelo INMET, através das normais climatológicas entre 1961 a 1990, conforme mostrada na Figura 4.2.

Como no Brasil não há estações meteorológicas em toda sua extensão, é feita uma interpolação (ou extrapolação), no caso a krigagem, para outras regiões remotas. No caso específico, a cidade de São Carlos possui uma PCD (plataforma de coleta de dados) onde os dados da região são confiáveis e específicos.

Portanto, a obtenção do mapa climatológico anual originou-se através do *overlay* dos dados pluviométricos mensais por meio do *software* GRADs 2.0, onde os arquivos originais se encontram no formato binário (.ctl e .bin). Esses formatos são específicos

para leitura do GRADs originando, assim, a Figura referência de precipitação anual da região de São Carlos.

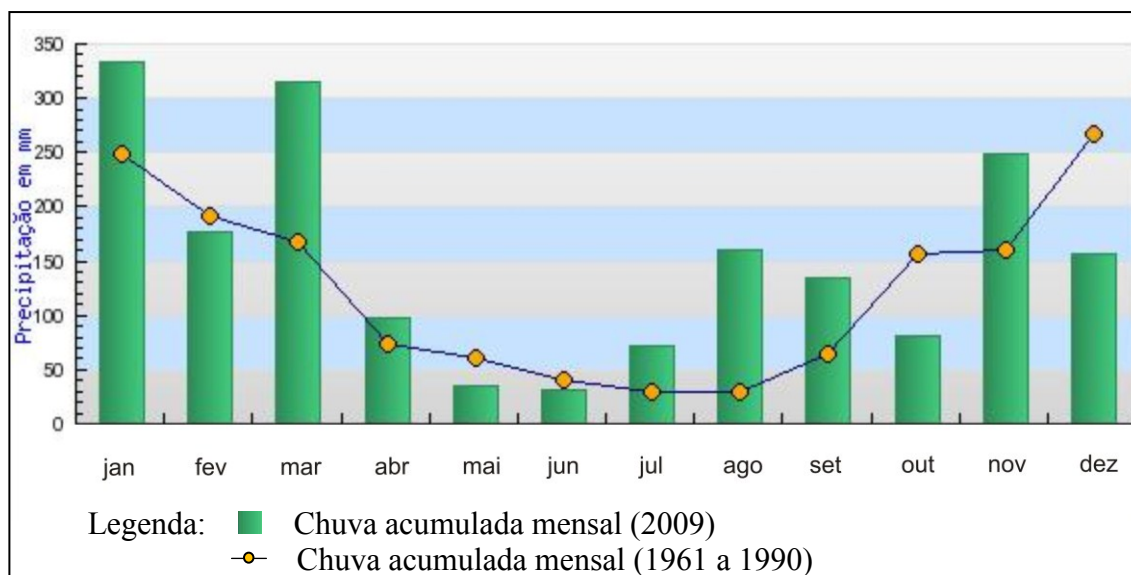


Figura 4.3- Chuva média acumulada mensal de 2009 e entre anos de 1961 a 1990 de São Carlos - SP. Fonte INMET.

Posteriormente à elaboração do mapa de referência de climatologia pluviométrica anual entre 1961 a 1990, o mesmo foi importado em formato GeoTiff para *software* Globalmapper 11.0, onde foi georeferenciado, plotando-se o limite da bacia hidrográfica do ribeirão Feijão, para que fossem vetorizadas as classes pluviométricas pertencentes à área de estudo. Após a vetorização dos dados, os mesmos foram importados pelo Idrisi Andes 15.0 e transformados em formato *raster*, o que permitiu a elaboração do mapa de pluviosidade.

Para o mapa Geológico foi necessária a utilização da carta geológica SF -23-Y-A-I na escala de 1:100.000 pesquisado na dissertação de Nishiyama,(1991). A imagem foi escaneirizada e importada em formato GeoTiff para o *software* Globalmapper 11.0 e, em seguida, vetorizadas as quatro classes geológicas identificadas na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Em seguida, os vetores foram importados e transformados em dados matriciais no *software* Idrisi Andes 15.0

Na elaboração do mapa de cobertura solo, utilizou-se do aplicativo Spring 5.0 onde se iniciou o trabalho fazendo a composição colorida falsa-cor das imagens ALOS 3R, 2G e 1B. Em seguida, o procedimento de aquisição das amostras de treinamento das classes de cobertura do solo, observadas em campo e identificadas na verdade terrestre. Dessa forma, usando a classificação supervisionada através da imagem pelo método da Máxima Verossimilhança, gerou-se o mapa temático de cobertura do solo, no qual foi

exportado para o *software* Idrisi Andes 15.0 para se recortar imagem classificada dentro dos limites da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Para a Pedologia utilizou-se como referência a Carta Pedológica SF -23-Y-A-I na escala de 1:100.000 (Oliveira & Prado, 1984). A carta foi escaneirizada e importada em formato GeoTiff para o *software* Globalmapper 11.0 para a vetorização das classes de solos e exportadas para o aplicativo Idrisi Andes 15.0.

4.3.2-Determinação das fragilidades das classes das variáveis - Inferência Fuzzy – AHP

Nas propostas das metodologias adotadas, determina-se que cada uma das variáveis que foram elaboradas, conforme os subitens do índice 4.3.2, seja hierarquizada em cinco classes, de acordo com sua fragilidade.

Segundo Pereira (2009), a fragilidade sempre está ligada a “algo que a torna frágil”, ou a “susceptibilidade a algo”. No caso do meio físico, está ligada às causas dos desequilíbrios, que podem ter origens diversas, mas que frequentemente relacionam-se com a antropização do meio.

Sendo assim, todas as classes das variáveis foram comparadas entre si com um critério de importância relativa que indicará a intensidade da fragilidade, utilizando-se das inferências geográficas Fuzzy – AHP (Câmara *et al.*, 2001c). As mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 0,1, as intermediárias ao redor de 0,5 e as mais vulneráveis estarão próximas de 0,9, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição e Explicação
0,1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
0,3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
0,5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
0,7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
0,9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
0,2, 0,4, 0,6 e 0,8	Valores intermediários – possibilidade de compromissos adicionais entre julgamentos

Fonte: (Barbosa & Cordeiro, 2001).

Portanto, na Figura 4.2, no quadro 4.3.3 e seus seis subitens são referentes à reclassificação com a inferência geográfica Fuzzy–AHP, tanto para os apoiados nos índices de dissecação do relevo, como também para os com apoio nas classes de declividade. Todos os mapas de fragilidade das variáveis foram executados no *software* Idrisi Andes 15.0, utilizando-se da ferramenta *modeling – model deployment tools - FUZZ e Fuzzy set membership function*, onde determinam-se os valores das fragilidades frente aos processos erosivos.

Sendo assim, cada uma das classes das variáveis foram ponderadas de acordo com suas características em cinco categorias: Muito Fraca (0,1), Fraca (0,3), Média (0,5), Forte (0,7) e Muito Forte (0,9), sendo descritas a seguir as formas de definição das fragilidades:

Geomorfologia

A determinação das fragilidades das feições geomorfológicas, fundamentadas no índice de dissecação do relevo, que tem como referência os padrões morfométricos dos valores médios, do entalhamento dos vales e da dimensão interfluvial, no qual, a partir da matriz dos índices de dissecação de relevo, determina-se a fragilidade das classes das variáveis, conforme as Tabelas 4.5 e 4.6 (Dantas, 2007).

Sendo assim, os procedimentos executados foram sobreposição das cartas topográficas e da carta geomorfológica no *software* Globalmapper 11.0, observando-se através da ferramenta que demonstra os perfis topográficos, os valores dos entalhamentos médio dos vales e a dimensão média interfluvial das classes de Geomorfologia. Dessa forma, determinaram-se os índices de dissecação do relevo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, através da matriz da Tabela 4.5.

Tabela 4.5- Matriz dos índices de dissecação do relevo.

Inter-Relação		Dimensão Interfluvial Média em metros				
Entalhamento		> 3750	1750 a 3750	750 a 3750	250 a 750	<250
Médio Dos Vales		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
< 40 m	(1)	11	12	13	14	15
40 a 80 m	(2)	21	22	23	24	25
80 a 160 m	(3)	31	32	33	34	35
160 a 240 m	(4)	41	42	43	44	45
> 240 m	(5)	51	52	53	54	55

Fonte: Modificado de Ross (2001).

Portanto, ponderam-se as fragilidades das classes de geomorfologia, através dos índices de dissecação do relevo propostos por Ross (1994), conforme a Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Importância dos índices de dissecação do relevo nos processos erosivos inferência Fuzzy – AHP.

Classes de Fragilidade	Índice de dissecação do relevo	Fuzzy - AHP
Muito baixo	11	0,1
Baixo	21, 22, 12	0,3
Médio	31, 32, 33, 13, 23	0,5
Alto	41, 42, 43, 44, 14, 24, 34	0,7
Muito alto	51, 52, 53, 54, 55, 15, 25, 35, 45	0,9

Fonte: Modificado de Ross (1994).

Nas hierarquizações das Tabelas 4.6 e 4.7, referentes às variáveis de relevo, levou-se em consideração as intensidades dos processos erosivos, os riscos potenciais de escorregamentos/deslizamentos e a velocidade de transformações dos relevos (Furrier, 2007).

Declividade

Segundo Spori & Ross (2004), as classes das variáveis de declividade foram classificadas nos intervalos já consagrados dos estudos de Capacidade de Uso/Aptidão Agrícola, associados aos valores conhecidos de limites críticos de geotecnia. Sendo assim, a determinação do mapa de fragilidade frente aos processos erosivos das classes de declividade ponderou-se conforme a Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Importância das classes de declividades nos processos erosivos e inferência Fuzzy – AHP.

Classes de Fragilidade	Classes de Declividade	Fuzzy - AHP
Muito fraco	Até 6%	0,1
Fraco	De 6 a 12%	0,3
Médio	De 12 a 20%	0,5
Forte	De 20 a 30%	0,7
Muito forte	Acima de 30%	0,9

Fonte: Modificado de Ross (1994).

Pluviosidade

Segundo Dantas (2007), a quantidade de chuvas e o modo como estas se distribuem ao longo do ano, são decisivos no intemperismo. As chuvas exercem uma forte ação mecânica em solos com pouca cobertura vegetal e quando associadas a relevos acentuados, ocasionam uma enorme velocidade de escoamento superficial, podendo ter os fatores litológicos e pedológicos ainda mais favoráveis à erosão (Ruhoff, 2004).

Sendo assim, após o mapeamento da variável pluviométrica, elaborou-se o mapa de fragilidade, através do processo analítico hierárquico, conforme os mesmos procedimentos relatados no item 4.3.3, baseando-se, através das informações expostas (Tabela 4.8), onde os valores das intensidades pluviométricas levam em consideração a razão entre a pluviosidade anual e o período de chuvas, chegando a um valor empírico da fragilidade (Dantas, 2007).

A hierarquização das características do clima é devido à maior ou menor intensidade de chuvas na influência da dinâmica dos ambientes, no qual, obteve-se como referência, os domínios climáticos que ocorrem no Brasil. As categorias vão do limite inferior (muito baixa) até o limite superior (muito alta) apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Importância dos índices pluviométricos nos processos erosivos e inferência Fuzzy – AHP.

Classes de Fragilidade	Características Pluviométricas	Fuzzy AHP
Muito fraco	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano	0,1
Fraco	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano	0,3
Médio	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses	0,5
Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas nos períodos chuvosos	0,7
Muito forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semi-árido)	0,9

Fonte: Modificado de Ross (2001).

Geologia

As fragilidades que foram determinadas em formações geológicas frente aos processos erosivos são apresentadas na Tabela 4.9, a qual considera os graus de agregação das partículas e a resistência aos processos erosivos (Ruhoff, 2005).

Tabela 4.9– Importância das formações geológicas no processo erosivo e a inferência Fuzzy – AHP.

Classes de Fragilidade	Classes de formações geológicas	Fuzzy - AHP
Muito baixo	Riolito Serra Geral	0,1
Baixo	Basalto Serra Geral	0,3
Médio	Formação Rosário do Sul	0,5
Alto	Formação Botucatu	0,7
Muito alto	Formação Aluvial	0,9

Fonte: Modificado de Ross (1994).

Cobertura do solo

Segundo Dantas (2007), as áreas com alto grau de proteção aos solos têm um tipo de cobertura vegetal capaz de evitar que as chuvas tenham uma ação erosiva sobre os solos, mantendo-os estáveis. Para Ross (1990, 1994) *apud* Oliveira & Chaves (2009), uma hierarquização da cobertura vegetal que obedece à ordem decrescente quanto à capacidade de proteção aos solos, conforme se verifica na Tabela 4.10.

Sendo assim, elaborou-se o mapa de fragilidade, de acordo com o mesmo procedimento para a elaboração das demais variáveis.

Tabela 4.10 – Importância da cobertura vegetal no processo erosivo e a inferência Fuzzy-AHP.

Classes de Fragilidade	Classes de cobertura do solo	Fuzzy AHP
Muito fraco	Florestas e matas naturais com biodiversidade	0,1
Fraco	Formações arbustivas naturais, matas secundarias, cerrados e capoeiras	0,3
Médio	Cultivos de ciclos longos, pastagens com baixo pisoteio de gado, silvicultura	0,5
Forte	Culturas de ciclo longo com baixa densidade, culturas de ciclo curto	0,7
Muito forte	Áreas desmatadas, solo exposto, agricultura não-conservacionista	0,9

Fonte: Modificado de Ross (1994).

Pedologia

Conforme Tabela 4.11, ponderou-se o mapa de fragilidade da variável pedológica. A hierarquização das classes de erodibilidade dos solos considerou o escoamento superficial difuso e concentrado. O tipo de solo e suas características intrínsecas (textura, estrutura, porosidade, profundidade e pedregosidade) fornecem a maior ou menor resistência do mesmo ao processo de erosão (Ross, 1994 in Rohoff, 2004).

Tabela 4.11 - Importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos e a inferência Fuzzy – AHP.

Classes de Fragilidade	Classes de Solos	Fuzzy - AHP
Muito fraco	Latossolo roxo, Latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo de textura argilosa	0,1
Fraco	Latossolo Amarelo e vermelho, de textura média argilosa	0,3
Médio	Latossolo vermelho amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, solos Podzólicos vermelho amarelo de textura média argilosa	0,5
Forte	Podzólicos vermelho amarelo de textura médio-arenosa e Cambissolos	0,7
Muito forte	Podzólicos, litólicos e Areia quartzosas	0,9

Fonte: Modificado de Ross (1994)

4.3.3- Sobreposição ponderada das fragilidades ambientais

Após estabelecer a classificação da fragilidade dos seis planos de informação, compostas pelas categorias e algarismos acima mencionados, realizou-se a sobreposição ponderada, representado nos quadros 4.3.3, na Figura 4.2. (p.29) A partir desse procedimento, geraram-se dois mapas-síntese de fragilidade ambiental, demonstrado no fluxograma.

Sendo assim, ainda na Figura 4.2, (p.29) representado pelas linhas e caixas em azul escuro, elaborou-se o mapa de fragilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo, empregando as variáveis, índice de dissecação do relevo, cobertura do solo, pedologia, geologia e pluviosidade.

Para a elaboração da fragilidade ambiental, com apoio nas classes de declividade, empregaram-se as variáveis, declividade, cobertura do solo, pedologia, geologia e pluviosidade, podendo ser observadas no fluxograma do método, através das linhas tracejadas em azul claro.

Portando, os resultados foram mapas-síntese que demonstram um sistema dinâmico, integrando um modelo celular automatizado que prognostica a mudança, permitindo analisar o comportamento dos modelos do zoneamento da vulnerabilidade ambiental (He *et al.*, 2005 *apud* Mao *et al.*, 2007).

4.3.4-Zoneamento das vulnerabilidades ambientais

A vulnerabilidade ambiental refere-se ao conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades ocorrentes ou que venham se manifestar,

poderá sofrer adversidades e afetar de forma vital, total ou parcial a estabilidade ecológica da região em que ocorre. Dessa forma, para a determinação dos riscos alguns elementos devem ser considerados, principalmente, a suscetibilidade da área e a vulnerabilidade dos sistemas ali existentes (Pereira, 2009).

Assim, utilizando-se os critérios estabelecidos por Ruhoff *et al.* (2005) os zoneamentos das vulnerabilidades ambientais foram classificados de maneira sistemática em cinco classes de riscos potenciais: estável, moderadamente estável, estabilidade emergente, instável e instabilidade emergente transformadas em riscos ambientais potenciais, através do *software* Idrisi Andes 15.0, conforme mostrado na Tabela 3.12.

Tabela 4.12 - Classes de zoneamentos à vulnerabilidade transformada em riscos ambientais.

Classes de Zoneamento à Vulnerabilidade Ambiental	Risco Ambiental Potencial
Estável	Até 20%
Estabilidade Moderada	Entre 20 e 40%
Instabilidade Moderada	Entre 40 e 60%
Instável	Entre 60 e 80%
Instabilidade Emergente	Acima de 80%

Fonte: Ruhoff *et al.* (2005).

4.3.5-Resultados e análises das comparações dos dois modelos

O quadro 4.3.5, da Figura 4.2, representa o quanto cada uma das classes das variáveis das duas metodologias influenciou o risco potencial acima de 60%. Sendo assim, cruzaram-se as classes instável e instabilidade emergente sobre as variáveis determinantes para a aplicação. A compilação desses dados e suas análises permitiu compreender quais e o quanto cada uma das classes das variáveis atuou na determinação do risco ambiental potencial acima de 60%, na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Capítulo 5-Resultados e discussões

Neste capítulo serão apresentados os resultados da presente dissertação, bem como suas pertinentes discussões e análises. O capítulo está dividido em quatro partes conforme o fluxograma (Figura 5.1) que foi elaborado para facilitar a compreensão dos resultados a serem expostos.

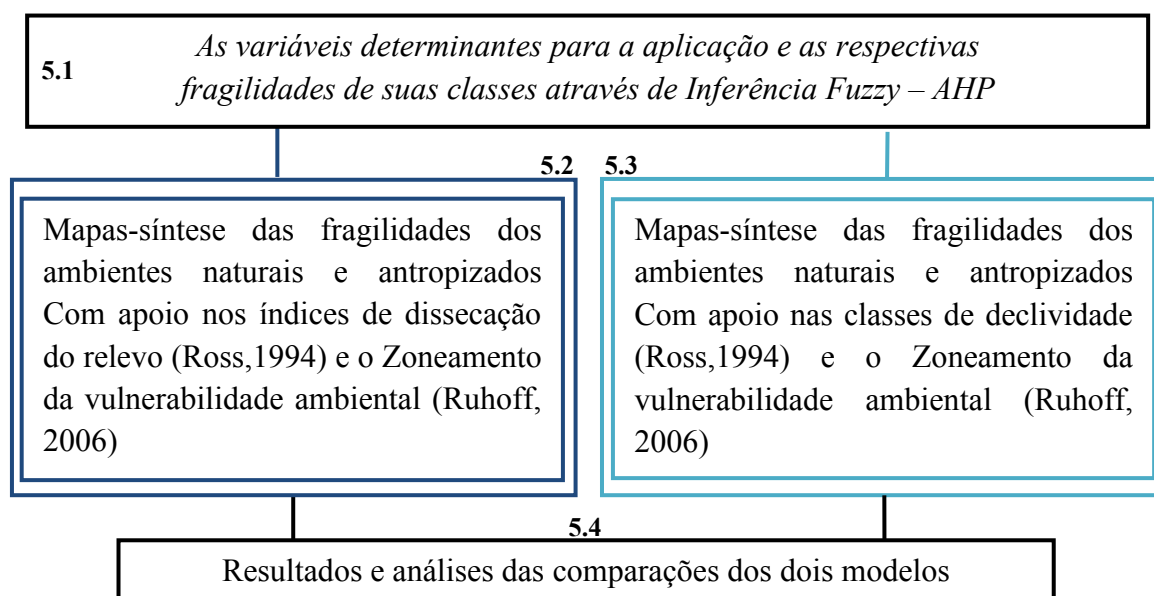


Figura 5.1 - Fluxograma da apresentação dos resultados.

Conforme apresentada a Figura 5.1, segue a descrição de cada uma das suas etapas:

5.1 As variáveis determinantes para a aplicação e as respectivas fragilidades de suas classes através de Inferência Fuzzy – AHP demonstra nesse primeiro momento os mapas das variáveis empregadas no estudo dos dois modelos de zoneamento da vulnerabilidade ambiental, seguidos dos mapas das fragilidades das classes das variáveis através de ponderação Fuzzy-AHP;

5.2 Mapa-síntese da Fragilidade dos ambientes naturais antropizados, com apoio nos índices de dissecação do relevo, e o seu respectivo zoneamento da vulnerabilidade ambiental o qual é mostrado no mapa-síntese, resultante da sobreposição ponderada, apoiado nos índices de dissecação do relevo, reclassificando-o em classes de risco ambiental potencial na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão;

5.3 Mapa-síntese da Fragilidade dos ambientes naturais antropizados com apoio nas classes de declividade e o seu respectivo zoneamento da vulnerabilidade ambiental, no qual mostra-se o mapa-síntese resultante da sobreposição ponderada, apoiado nas

classes de declividade, reclassificando-o em classes de risco ambiental potencial na bacia hidrográfica em estudo;

5.4 Comparações e análises foram elaboradas a partir das classes, instável e instabilidade emergente provenientes dos dois zoneamentos gerados, a fim de se conhecer as influências variáveis na determinação na vulnerabilidade ambiental da bacia.

5.1- Variáveis determinantes para a aplicação e fragilidades de suas classes - Inferência Fuzzy – AHP

Nesta primeira etapa encontram-se as informações das variáveis de geomorfologia, declividade, pluviosidade, geologia, cobertura do solo e pedologia que foram descritas, individualmente, seguidas de suas respectivas fragilidades, por meio de mapas, gráfico e tabelas da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, dando o suporte à elaboração dos dois mapas-síntese de fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados.

Geomorfologia

Os mapas geomorfológicos apresentam, em contrapartida aos demais mapas temáticos, um grau de complexidade maior no sentido da representação dos elementos indispensáveis para a análise geomorfológica, uma vez que, de acordo com Ross (2007), apesar da comunidade de geomorfólogos apresentarem unanimidade de conteúdo geral para a representação nos mapas, sendo basicamente informações sobre os tipos de formas de relevo, gênese e idade; a maior problemática que pode ser traçada é a questão da (des) padronização da representação cartográfica, visto que ainda não se chegou a um modelo de uniformização que atendesse aos diversos interesses dos estudos geomorfológicos.

Para a elaboração da carta geomorfológica, Ross (1992) propõe que se deva mapear concretamente o que se vê e não o que se deduz da análise geomorfológica. Portanto, em primeiro plano os mapas geomorfológicos devem representar os diferentes tamanhos de formas de relevo, dentro da escala compatível. Em primeiro plano devem-se representar as formas de diferentes tamanhos e, em planos secundários, a representação da morfometria, morfogênese e morfocronologia, que têm vínculo direto com a tipologia das formas (Ross, 1992).

Dessa forma, apresenta-se o mapeamento da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, descrevendo as suas classes seguidas do mapa das fragilidades geomorfológicas, associados às respectivas áreas, conforme a Figuras 5.3, 5.4 e Tabela 5.1.

A Figura 5.3 demonstra as classes das feições geomorfológicas encontradas na área de estudo que são descritas a seguir:

Colinas Amplas, que constituem formas de relevo subniveladas de grandes dimensões, predominando interflúvios com áreas acima de 4 Km², perfil de vertente retilíneo à convexo e topos aplainados. Destacam-se ainda pela presença de drenagem com padrão subdendrítico, densidade muito baixa e planícies aluviais interiores estreitas. Nessas áreas, os vales são abertos com presença de planícies aluviais interiores restritas, podendo ocorrer, eventualmente, lagoas perenes ou intermitentes, onde predominam sedimentos da Formação Botucatu. Tendo isto, ponderaram-se as colinas amplas com o índice 22, baseado na matriz dos índices de dissecação do relevo, no qual se obteve uma classe de fragilidade fraca, correspondente à classe de maior representatividade de toda a área da bacia com 68,4%.

As Colinas Médias constituem formas de relevo também subniveladas, com topos aplainados e perfil de vertente retilíneo à convexo, porém, com interflúvios menores com áreas entre 1 e 4 Km². A densidade de drenagem é relativamente maior (média à baixa), ocupando uma área um pouco menor, comparada com a distribuição das Colinas Amplas; seus vales são abertos a fechados, observando-se planícies aluviais interiores restritas, com a presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes que são encontradas nos interflúvios da região nordeste da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão com as bacias vizinhas, correspondendo aos sedimentos das formações Marília / Itaqueri e aos basaltos da Formação Serra Geral (Nishiyama, 1991). Da mesma forma, os índices inferidos sobre as classes, baseiam-se na matriz dos índices de dissecação do relevo, no qual para a classe de colinas médias determinou-se o 23, representando uma fragilidade média, correspondendo a uma área de 8,65% da região em estudo.

As classes de Morros Arredondados ocorrem justamente nas cabeceiras do ribeirão do Feijão, sendo constituídos de topos arredondados e achatados, com vertentes de perfis convexos a retilíneos, localmente ravinados. Observam-se as exposições locais de rocha e a presença restrita de espigões curtos. A drenagem de média densidade possui um padrão dendrítico a subdendrítico, com vales fechados, estando associados aos sedimentos das formações Itaqueri e Botucatu (Sigrh, 2000). No ponderamento da

respectiva classe que obteve uma área de 17,4 ha, a sua fragilidade foi ponderada como média, devido ao índice de dissecação do relevo ter sido enquadrado pelo algarismo 33.

Por último, as Encostas Sulcadas por Vales Subparalelos caracterizam-se por interflúvios lineares, de topos angulosos a arredondados e vertentes de perfis retilíneos. As drenagens são de média densidade, com padrão subparalelo a dendrítico, vales fechados, incidindo sobre as formações Botucatu, Marília/Itaqueri e Serra Geral. A referida classe obteve uma área de 5,55%, correspondendo também a uma fragilidade média devido algarismo 32 conforme a matriz dos índices de dissecação do relevo.

Descritas as características da variável geomorfológica da região em estudo, podem-se conferir nas Figuras 5.2 e 5.5 e tabela 5.1 as áreas da variável geomorfológica apoiadas nos índices de dissecação do relevo.

Tabela 5.1- Áreas das classes de Geomorfologia, seus índices de dissecação do relevo e suas fragilidades ambientais.

Classes de Geomorfologia	Índice de dissecação do relevo	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
Colinas amplas	22	15.203,7	68,3	Fraco
Colinas médias	23	1.926,9	8,65	Médio
Morros arredondados	33	3.869,5	17,5	Médio
Encostas sulcadas por Vales subparalelos	32	1.239,9	5,55	Médio

A Figura 5.2 representa o comparativo entre as áreas dos diferentes graus de fragilidades da variável geomorfológica após a elaboração das Figuras 5.3 e 5.4.

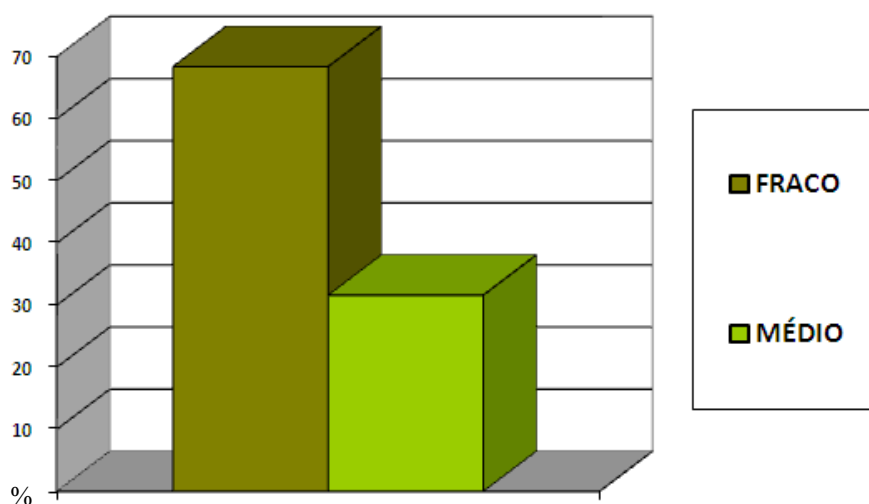


Figura 5.2 - Gráfico das áreas em porcentagens das classes de fragilidade ambiental da variável de Geomorfologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

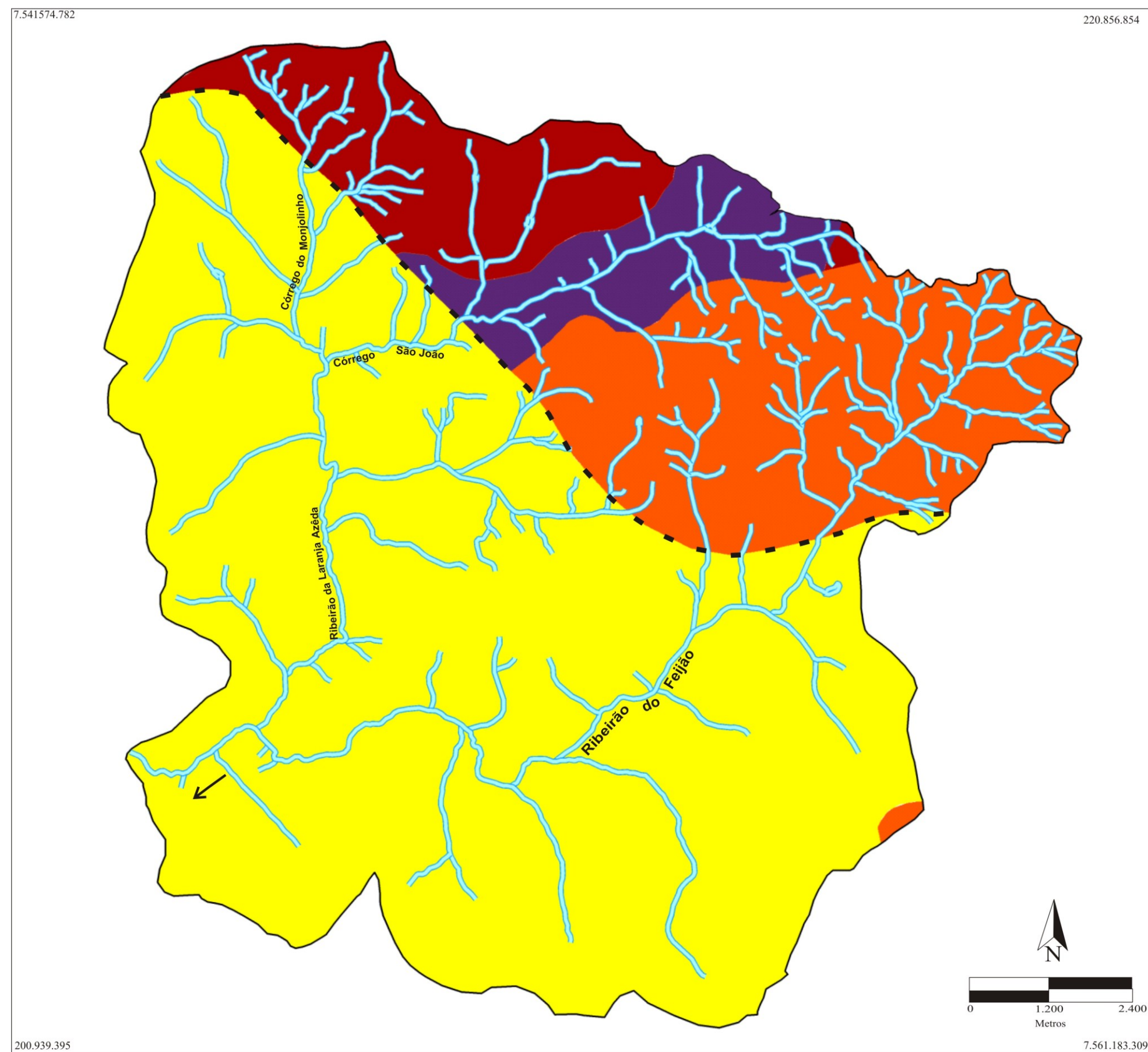


Figura 5.3 - Mapa geomorfológico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Fonte: Adaptado de Nishiyama (1991).

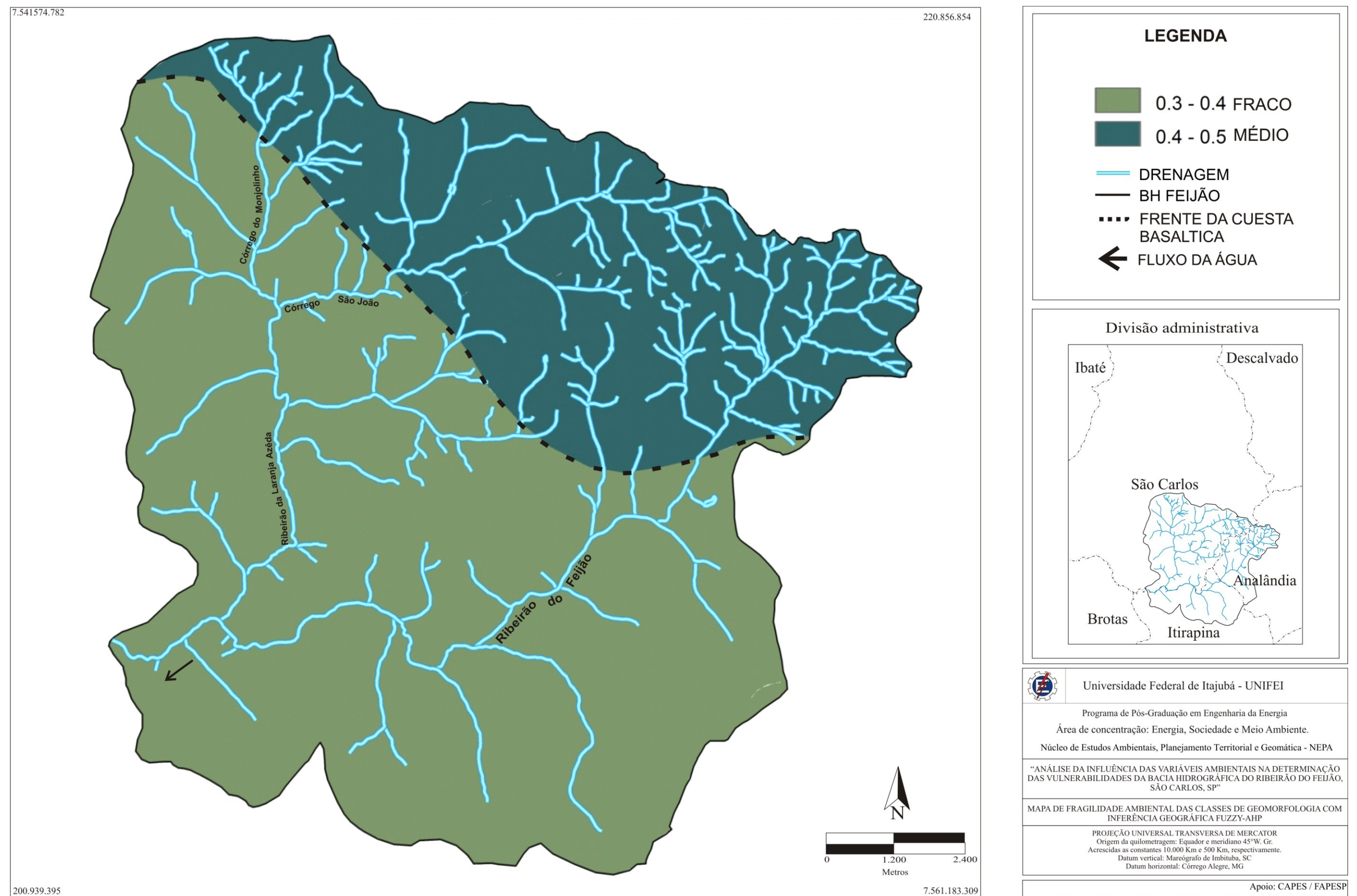


Figura 5.4– Mapa de fragilidade ambiental das classes de Geomorfologia com inferência Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Declividade

Sendo a variável declividade, que considera para a sua determinação apenas amplitude topográfica da área, temos na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão o seu ponto mais baixo em aproximadamente 780 metros e o ponto mais alto de 1000 metros de altitude. Pode ser demonstrado que as declividades mais acentuadas se encontram nas bordas escarpadas das Cuestas basálticas, devido às maiores amplitudes de desníveis, chegando até a 200 metros.

Portando, através da morfometria do terreno, determinaram-se as cinco classes no processo de erodibilidade que acontece de forma gradual e crescente. Assim sendo, pode-se observar a espacialização das classes de declividades e suas respectivas fragilidades, conforme Figuras 5.6 e 5.7.

Através dos dois mapas foi possível observar as áreas das classes de declividade e de suas respectivas fragilidades na Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Áreas das classes de declividade e suas fragilidades ambientais.

Classes de Declividade	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
Até 6%	12.888,8	57,8	Muito fraco
De 6 a 12%	5.436,0	24,6	Fraco
De 12 a 20%	2.272,9	10,2	Médio
De 20 a 30%	980,55	4,4	Forte
Acima de 30%	661,75	3,0	Muito forte

A Figura 5.5 representa o comparativo entre as áreas dos diferentes graus de fragilidades da variável geomorfológica, após a elaboração das Figuras 5.6 e 5.7.

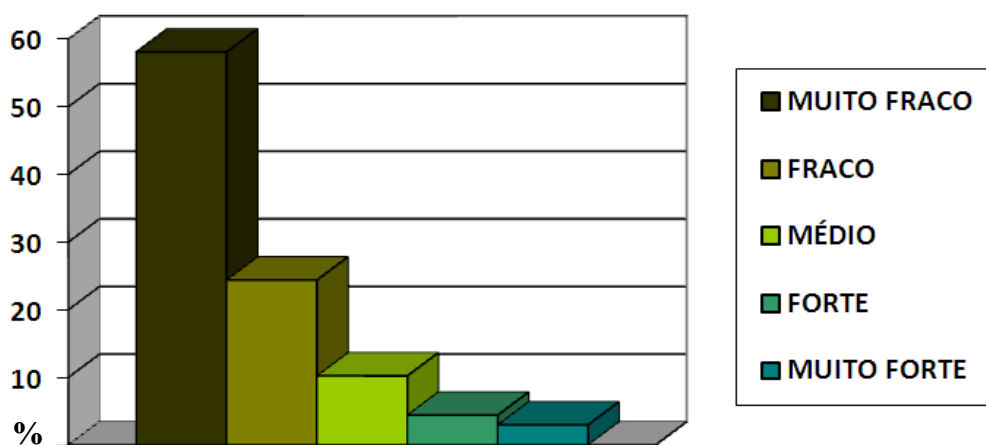
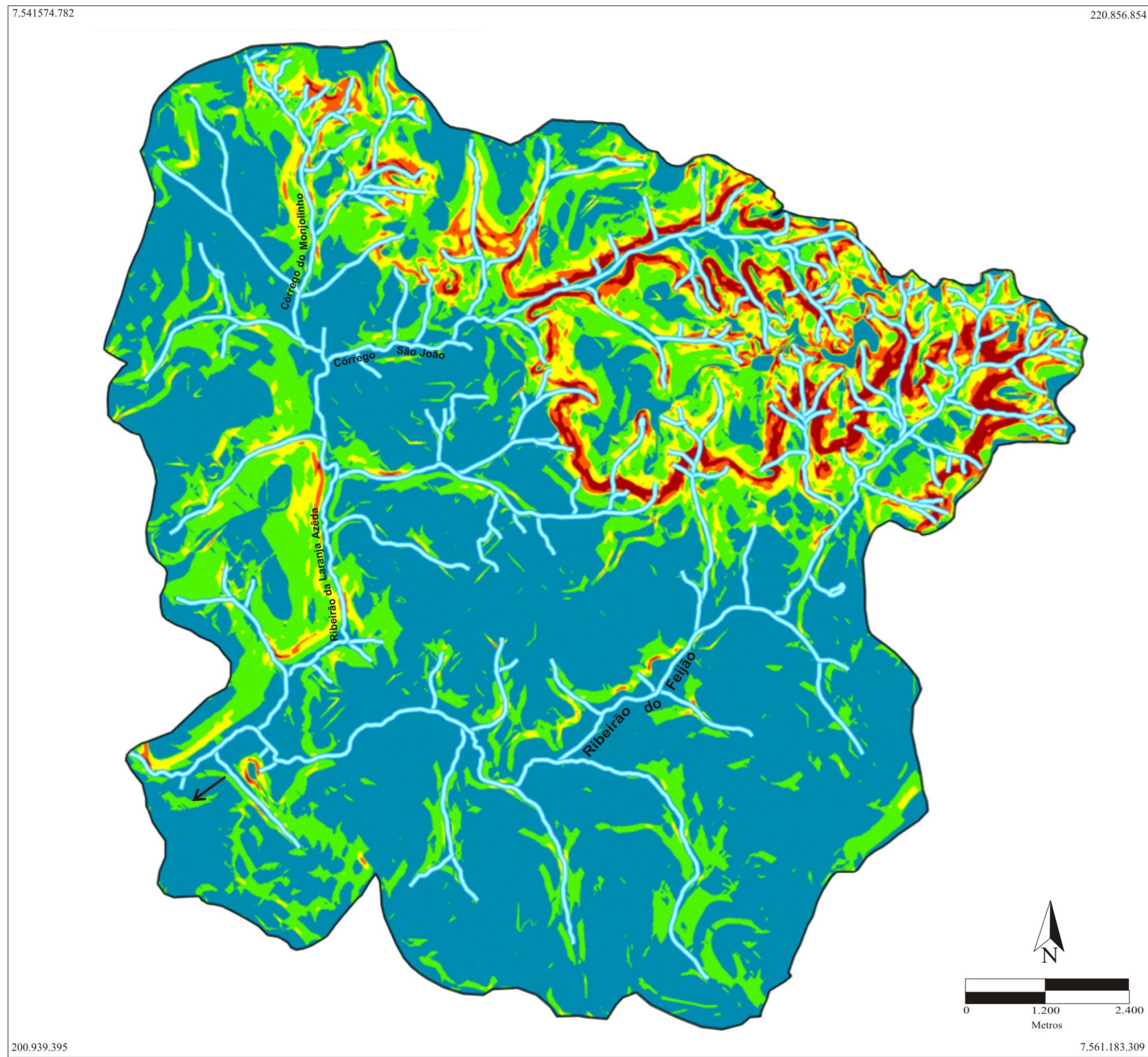


Figura 5.5- Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.



LEGENDA

- ATÉ 6%
- DE 6% ATÉ 12%
- DE 12% ATÉ 20%
- DE 20% ATÉ 30%
- ACIMA DE 30%
- DRENAGEM
- BH FEIJÃO
- FLUXO DA ÁGUA

Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

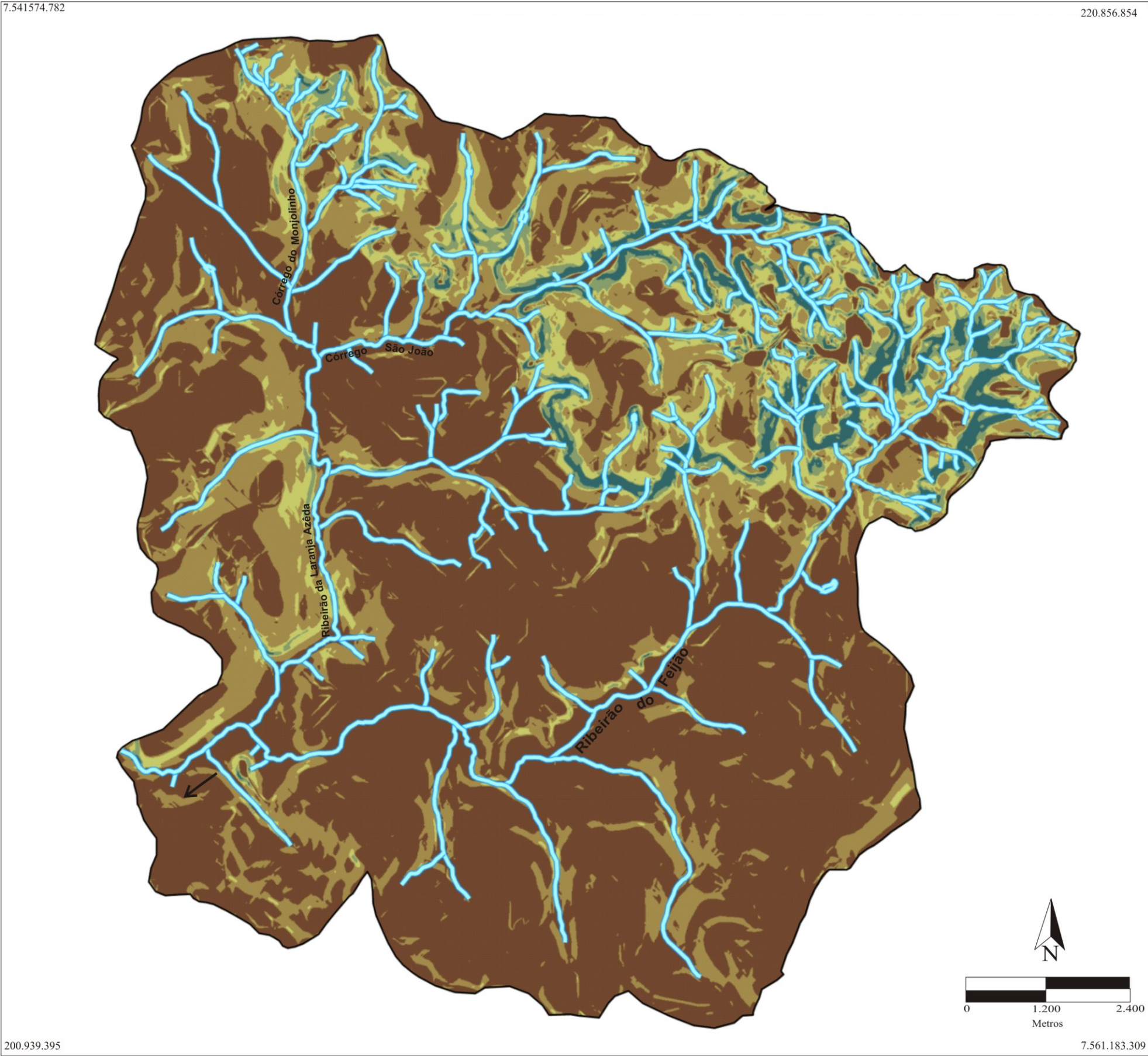
“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

MAPA DE DECLIVIDADE

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45°W. Gr.
Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.
Datum vertical: Mareógrafo de Imbituba, SC
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 5.6-Mapa de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.



LEGENDA

0.09 - 0.11 MUITO FRACO

0.33 - 0.38 FRACO

0.49 - 0.55 MÉDIO

0.66 - 0.71 FORTE

0.88 - 0.93 MUITO FORTE

DRENAGEM

BH FEIJÃO

FLUXO DA ÁGUA

Divisão administrativa

Ibaté

Descalvado

São Carlos

Anelândia

Brotas

Itirapina

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

MAPA DE FRAGILIDADE AMBIENTAL DAS CLASSES DE DECLIVIDADE COM INFERÊNCIA GEOGRÁFICA FUZZY-AHP

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45° W. Gr.

Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.

Datum vertical: Marcógrafo de Imbituba, SC

Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 5.7- Mapa de fragilidade ambiental das classes de declividade com inferência Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Observou-se pelo mapa de declividade e suas respectivas fragilidades que as classes de menor declive possuem, aproximadamente, o dobro da área das classes seguintes, conforme o aumento do gradiente de declividade.

Sendo assim, a classe que se refere de 0 até 6% corresponde a 58,07% e é a maior classe da bacia em estudo, referindo-se a uma fragilidade muito fraca. Essas áreas são encontradas nos vales fluviais e planícies de inundação da bacia hidrográfica.

A classe de 6% a 12% possui uma área de 24,37%, sendo reclassificada como classe fraca, pois está situada nas superfícies altas do planalto, ou seja, em áreas com suaves ondulações.

De 12% a 20% apresenta uma área de 10,02% sendo uma classe de fragilidade média, podendo ser encontrada nas proximidades das bordas das escarpas das Cuestas Basálticas.

Na declividade de 20% a 30% que ocupa uma área de 4,4% oferece uma fragilidade forte por se situar nas bordas superiores e inferiores do planalto, bem como, na região mais ao norte da bacia por meio de morros com ondulações um pouco mais acentuadas.

E por fim, a classe acima de 30% de declividade, obtendo uma área de apenas 2,96% sendo encontrada justamente às bordas das Cuestas Basálticas, no qual oferecem um potencial de erodibilidade muito forte devido à grande amplitude altimétrica, conforme pode ser visto nas Figuras 5.6 e 5.7.

Pluviosidade

A variável de pluviosidade pode ser analisada baseando-se nos dados de precipitação da região de São Carlos. Para isso, utilizou-se da Figura 5.8 referente à climatologia anual da região, ou seja, a precipitação média de 1961 a 1990.

Dessa forma, elaborou-se somente a classe pluviométrica entre 1.500 a 1.550, situando-se entre as latitudes de 22 a 22,2 Sul e longitude de 48 a 47,6 Oeste, conforme pode-se observar os limites da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão em branco na Figura 5.8.

Após a classificação em classes, conforme as características pluviométricas, elaborou-se o mapa de fragilidade da pluviosidade, onde, através do processo analítico hierárquico, ponderou-se a classe de 1.500 milímetros como classe de fragilidade forte, 0,7, na qual a situação pluviométrica possui uma distribuição anual desigual, com

períodos secos entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas nos períodos chuvosos da precipitação, podendo ser observados nas Figura 5.9 e 5.10.

Portanto, após as observações, elaborou-se a tabela 5.3 com o valor da área em hectares e porcentagem da classe de pluviosidade encontrada na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Devido à incidência de uma única classe pluviométrica, não houve a necessidade de elaboração do gráfico comparativo das áreas das classes de fragilidades, conforme as demais variáveis apresentam, pois é entendido que a classe de 1.500 mm representa 100% de toda a área em estudo.

Tabela 5.3- Área da classe de Pluviosidade a sua fragilidade ambiental.

Classes de Pluviosidade	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
1.500 milímetros com distribuição anual desigual	22.240,0	100	Forte

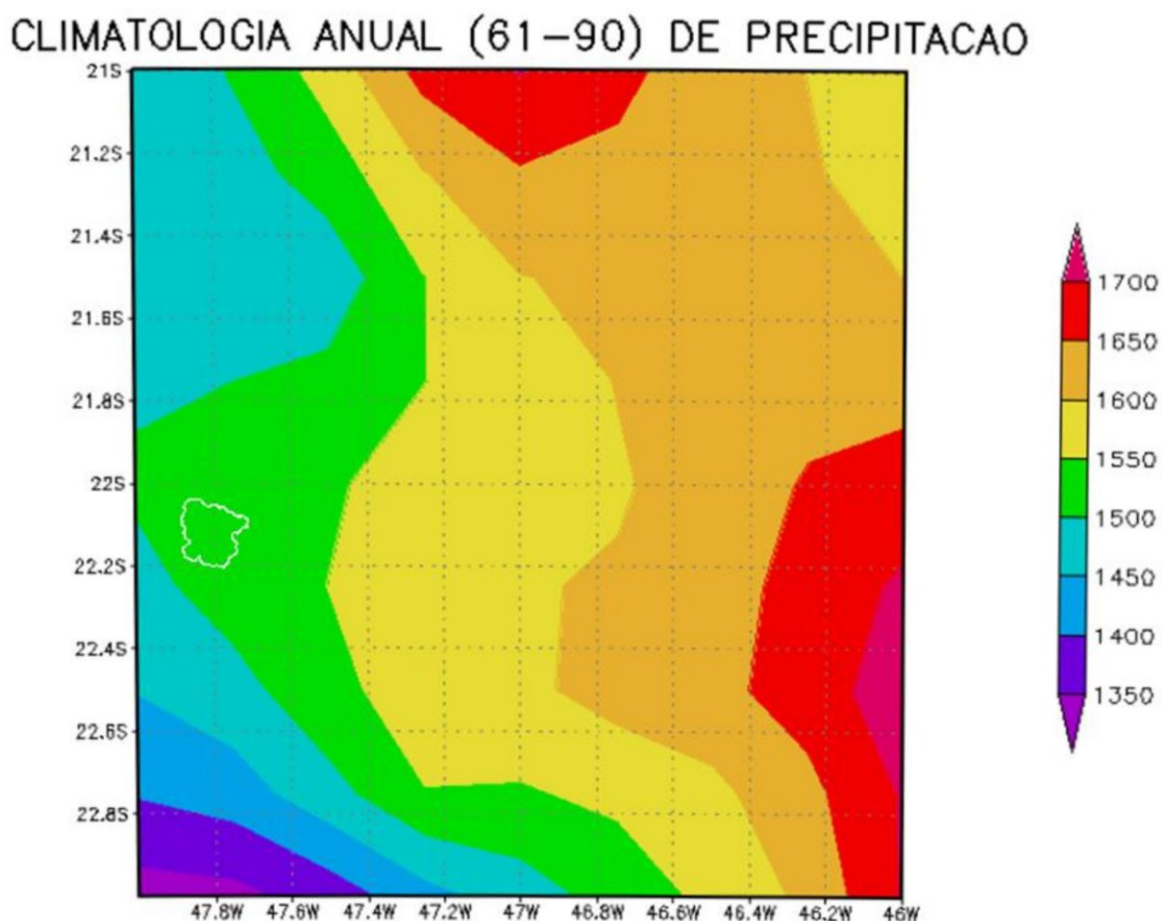
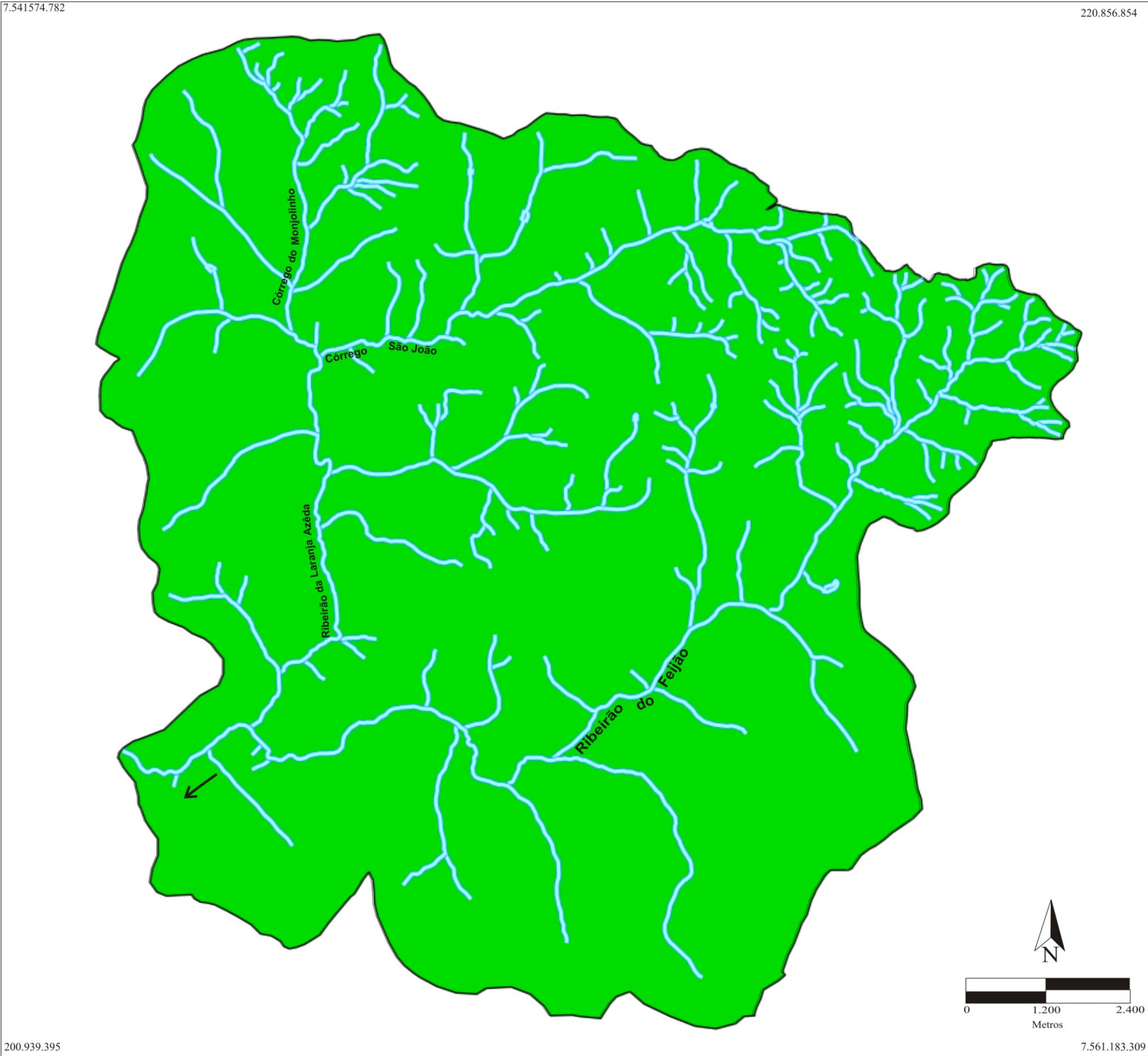


Figura 5.8- Mapa de Climatologia anual de 1961 a 1990.



LEGENDA

- 1.500 MILÍMETROS
- DRENAGEM
- BH FEIJÃO
- FLUXO DA ÁGUA

Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

MAPA DE PLUVIOSIDADE

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45°W. Gr.
Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.
Datum vertical: Marcógrafo de Imbituba, SC
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 5.9- Mapa pluviométrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

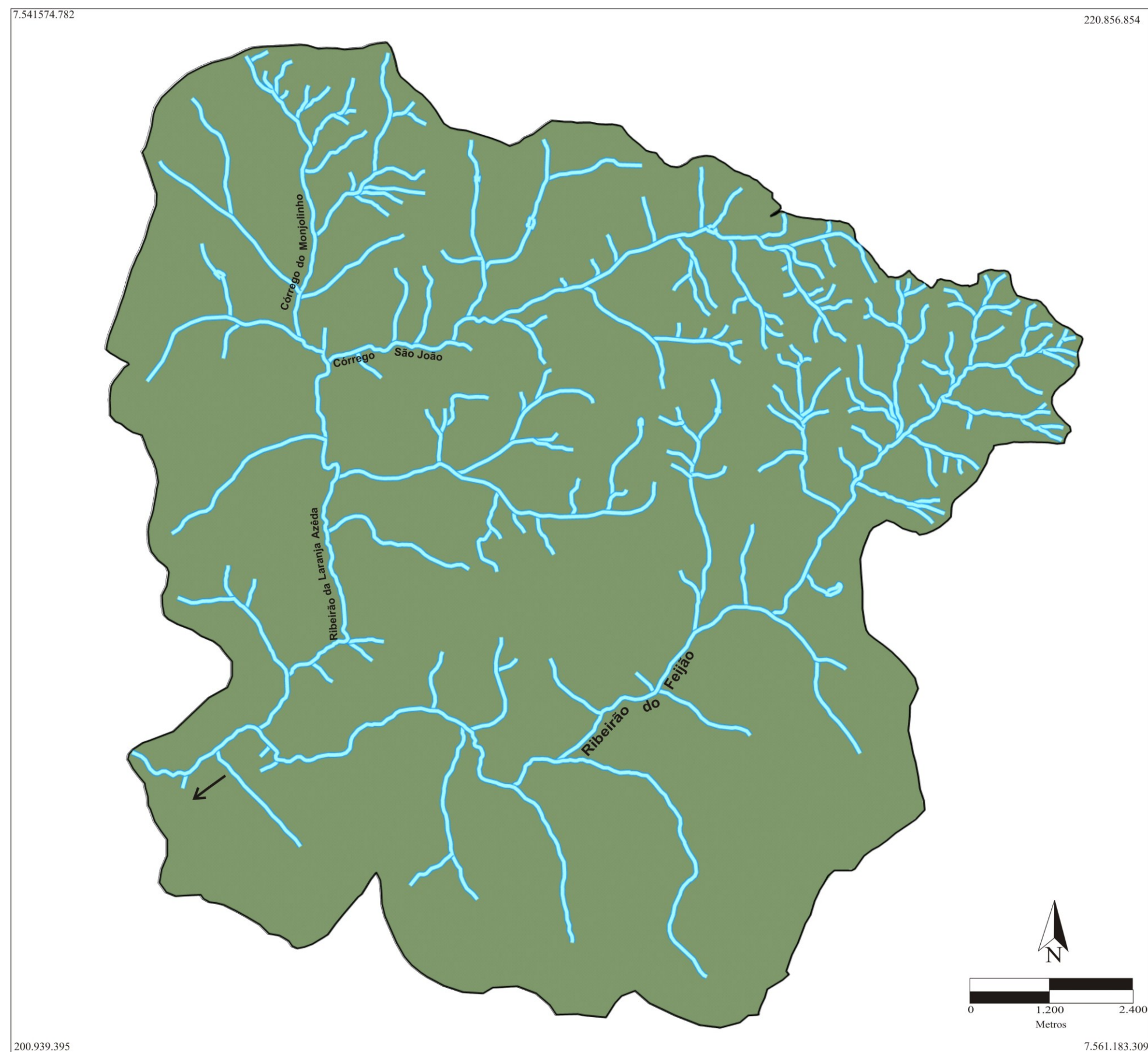


Figura 5.10 – Mapa de fragilidade ambiental da classe pluviométrica com inferência Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Geologia

A análise dos resultados da variável geológica permitiu observar as características das formações rochosas e suas correlações com as demais variáveis de pedologia, declividade e geomorfologia, subsidiando um melhor entendimento de suas características e peculiaridades nas reclassificações das fragilidades.

Na área específica de estudo, as formações geológicas que afloram são: Formação Marília e Itaqueri, que compõe o Grupo Bauru, Formação Serra Geral e Magmatito Básico e Formação Botucatu, que compõe o grupo São Bento (Zuquette, 1981). As descrições das mesmas serão apresentadas logo após a Figura 5.12.

A Figura 5.11 representa a secção geológica K/L da Figura 5.12 referente à linha tracejada, conforme sua legenda. A presente secção busca demonstrar uma espacialização das formações geológicas da bacia hidrográfica em estudo, respeitando as mesmas cores da figura 5.12. O perfil topográfico associado a secção geológica K/L subsidia o entendimento das respectivas fragilidades das classes da variável que serão apresentadas na Figura 5.13.

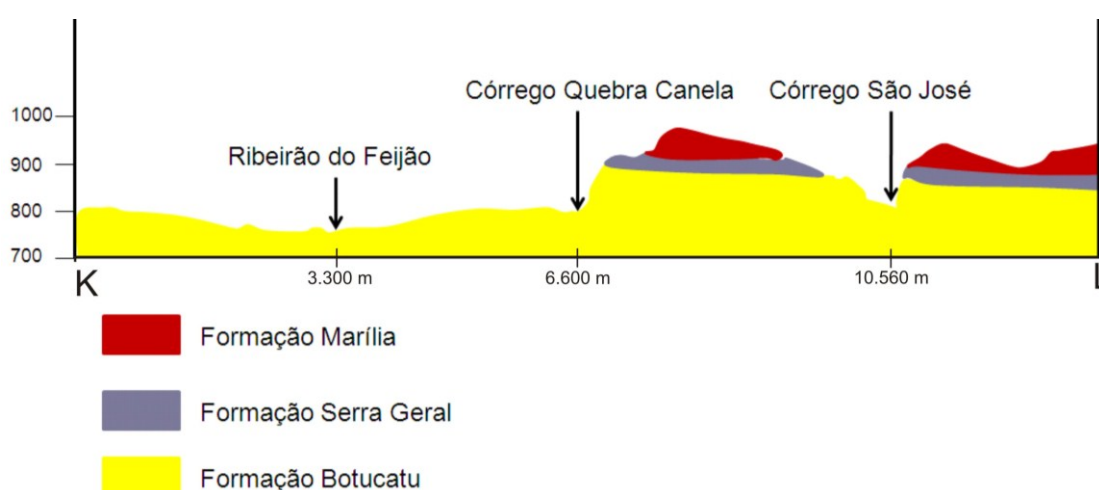


Figura 5.11- Secção geológica K/L Ribeirão do Feijão. Fonte: Adaptado de Nishiyama (1994).

A Tabela 5.14 demonstra as áreas em hectares e porcentagem, bem como as classes de fragilidades das formações geológicas referentes aos mapas das figuras 5.12.

Tabela 5.4- Áreas das classes de Geologia e suas fragilidades ambientais.

Classes de Geologia	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
Formação Botucatu	16.148,20	72,52	Forte
Magmatito Básico	1.966,3	8,85	Fraco
Formação Marília/Itaqueri	3.484,6	15,65	Fraco
Formação Serra Geral	640,9	2,98	Fraco

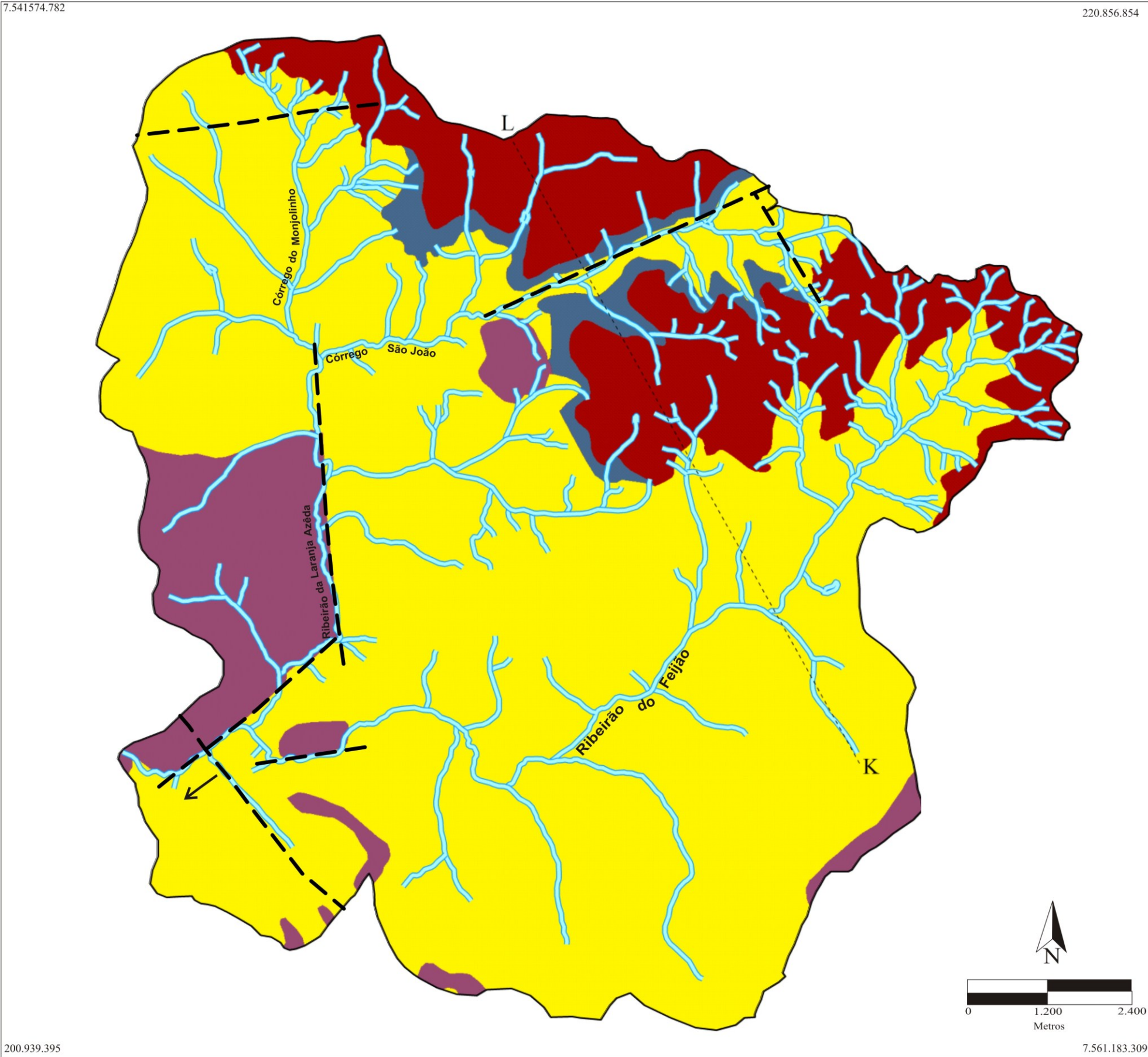


Figura 5.12 – Mapa Geológico da bacia hidrográfica do Feijão. Fonte: Adaptado de Nishiyama (1991).

LEGENDA

- LR - LATOSSOLO ROXO
- LE - LATOSSOLO VERMELHO ESCURO
- LI - SOLOS LITÓLICOS
- TE- TERRA ROXA ESTRUTURADA
- PV - PODZÓLICO VERMELHO AMARELO
- HI Or - SOLOS HIDROMÓRFICOS
- AQ - AREIAS QUARZOSAS PROFUNDAS
- LV- LATOSSOLO VERMELHO AMARELO
- DRENAGEM ← FLUXO DA ÁGUA
- BH FEIJÃO - FALHAS GEOLÓGICAS

Divisão administrativa

Ibaté, Descalvado, São Carlos, Analândia, Brotas, Itirapina

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia
Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.
Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

MAPA GEOLÓGICO

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45° W. Gr.
Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.
Datum vertical: Marcógrafa de Imbituba, SC
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Sendo assim, ao observar os quatro tipos de classes da variável Geologia, faz-se a descrição das mesmas, conforme a organização e elaboração do respectivo mapa.

A Formação Botucatu é a maior área das classes geológicas presente na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão; possui uma área de 72,64% do total, situando-se na região central, especificamente nas áreas de planícies fluviais com amplitude altimétrica baixa. Segundo Soares (1973) *apud* Nishiyama (1991), redefine-a como uma unidade genética de ambiente desértico, constituída de arenitos de granulação fina a média, com grãos bem arredondados, superfície fosca, bem selecionados e com baixa porcentagem de finos. São arenitos eólicos finos a médios de composição essencialmente quartzosa, encontrados em depósitos fluviais proveniente de escarpas verticais, com desníveis topográficos superiores a 200 metros. A espessura da formação Botucatu varia entre 20 a 280 metros, tendo os valores altimétricos médios entre 800 metros.

Nas classes referentes ao Magmatito Básico apresenta-se uma área de 8.85%, encontrando, em grande parte, fragmentos isolados, tendo sua maior incidência ao oeste da bacia. Já a formação Serra Geral possui apenas 2,87% da área total e encontra-se apenas na região do vale do córrego São José, margeando a parte interna das escarpas das Cuestas Basálticas.

As duas formações citadas referem-se ao grupo São Bento, dentre as quais incluem-se derrames de lavas, soleiras, diques de diabásio e corpos de arenitos de cor cinza a negra, associada ao Latossolo Roxo e Terra Roxa. Na Formação Serra Geral, observam-se declividades acentuadas com bordas escarpadas, tendo espessura aproximada a 80 metros. Sua origem estaria associada ao vulcanismo de fissura, com efusão relativamente calma, evidenciada pela ausência de materiais piroclásticos. A idade do vulcanismo acha-se no intervalo de 150 a 90 milhões de anos (Nishiyama, 1991).

Conforme Nishiyama (1991), a Formação Marília/Itaqueri é constituída pelo grupo Bauru, de Litologia Mesozóica (período entre 250 a 65 milhões de anos atrás), que possui a subdivisão em quatro formações, a saber: Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília. A mesma situa-se nas regiões mais altas, ou seja, no planalto de São Carlos, onde se observa uma grande quantidade de nascentes do ribeirão Feijão, bem como ao norte da bacia, tendo 15,64% da área total.

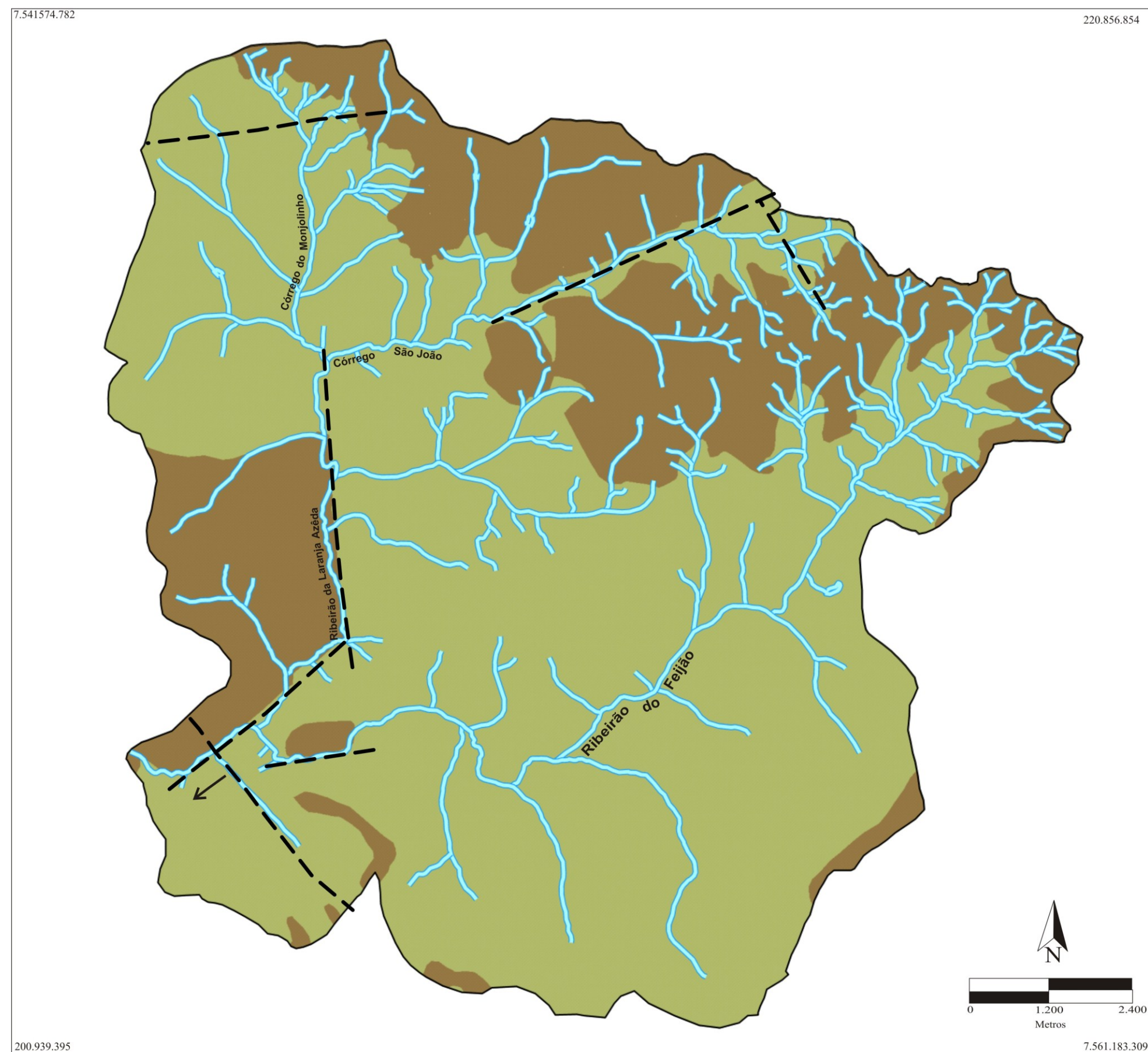


Figura 5.13 – Mapa de fragilidade ambiental das classes de Geologia com inferência Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Conforme a redefinição estratigráfica adotada por Nishiyama (1991), a formação Marília pode ser dividida em duas formações: Itaqueri (base) e Marília (topo), onde essa estrutura não pode ser considerada uma formação autêntica, devido a sua descontinuidade espacial e posição altimétrica de níveis altimétricos mais elevados – 800 a 1000 metros, sugerindo uma idade mais recente, composta de seixos e arenitos de granulação fina a mais grossa. Os conglomeráticos possuem aproximadamente 60 metros de espessura e estão presentes na Serra de Itaqueri, no planalto de São Carlos, sendo associados aos Latossolos vermelho-amarelo e podzólico vermelho-amarelo (Zuquette, 1981).

Portanto, conforme as descrições das formações geológicas que se encontram na bacia do ribeirão Feijão, pode-se determinar a fragilidade das classes observadas na Figura 5.13.

Sendo assim, de acordo com as classes de fragilidade ambiental, constatou-se que a formação Botucatu é entendida como uma classe de fragilidade forte, possuindo uma área de 72,52%. Já as formações magmatito básico, Marília/ Itaqueri e Serra geral possuem uma fragilidade fraca, onde juntas representam uma área de 27,36%, podendo ser melhor visualizado pela Figura 5.14

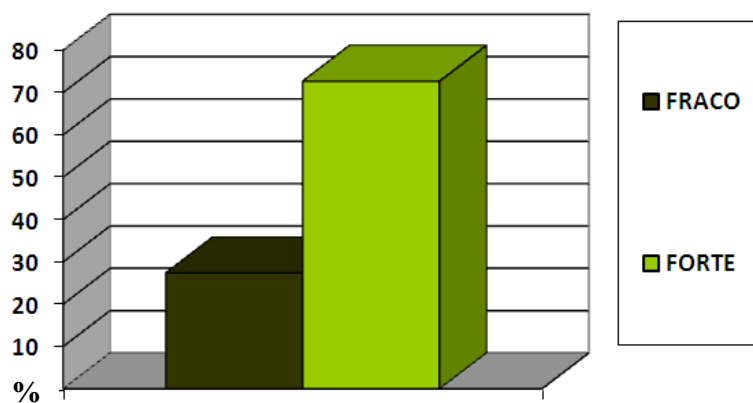


Figura 5.14 - Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de geologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Cobertura do solo

Segundo Richards & Jia (1999), *in* Rodrigues (2009), o método de Máxima Verossimilhança é o mais utilizado na classificação supervisionada de dados de Sensoriamento Remoto. Contribuiu para a sua popularidade seu satisfatório

desempenho, fato que justifica a comparação de muitas novas técnicas descobertas acerca desse método (Bolstand & Lillesand, 1990).

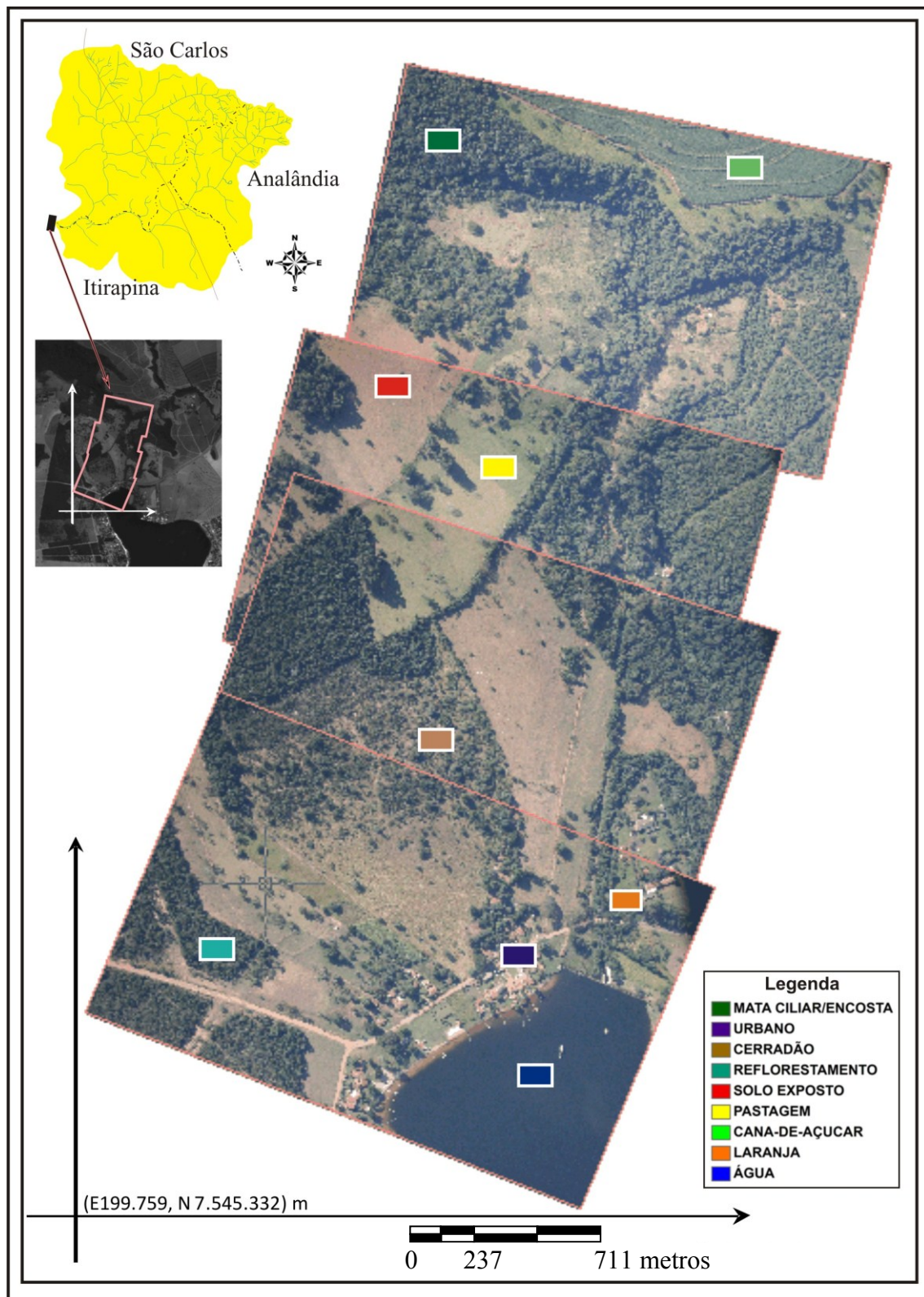


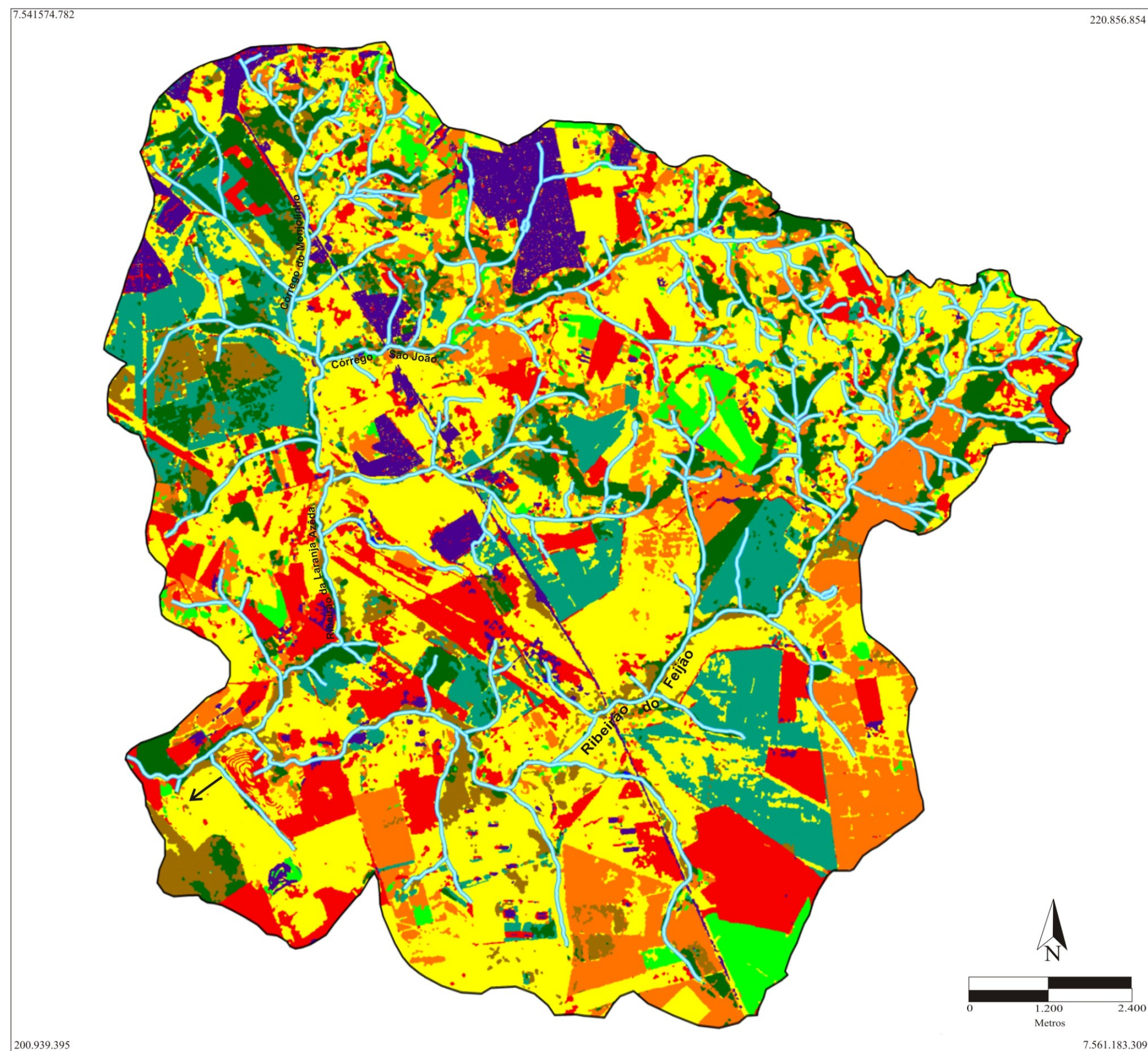
Figura 5.15 – Verdade terrestre utilizada na classificação supervisionada para o mapeamento da cobertura do solo de 2006.

Sendo assim, para a elaboração da classificação do mapa da cobertura do solo, foram amostrados 9 temas encontrados em campo na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, conforme a verdade Terrestre (Figura 5.15), bem como as fotografias retiradas durante o processo de observação em campo, no mês de novembro de 2009, conforme demonstradas na Figura 5.16.



Figura 5.16 –Fotografias retiradas em campo de novembro de 2009

Portanto, ao se elaborar a classificação dos temas referentes à verdade terrestre e observação em campo, empregaram-se as imagens ALOS para a obtenção o mapa da cobertura do solo (Figura 5.17).



LEGENDA

- MATA CILIAR/ENCOSTA
- URBANO
- CERRADÃO
- REFLORESTAMENTO
- SOLO EXPOSTO
- PASTAGEM
- CANA-DE-AÇUCAR
- LARANJA
- ÁGUA RESERVATÓRIO
- DRENAGEM
- BH FEIJÃO
- FLUXO DA ÁGUA

Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

MAPA DE COBERTURA DO SOLO

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45°W. Gr.
 Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.
 Datum vertical: Mareógrafo de Imbituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 5.17 – Mapa da cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Sendo assim, seguem-se as descrições dos temas e suas respectivas características, iniciando-se pela classe de Mata ciliar/encosta que é entendida por vegetações mais densas com árvores de maiores portes, sempre encontradas nas bordas de escarpas das Cuestas basálticas e, em alguns fragmentos de matas naturais e matas ciliares, sendo essencial para resiliência da bacia hidrográfica, no sentido de manutenção dos recursos hídricos, envolvendo a vazão, a qualidade da água, bem como, os recursos terrestres como, por exemplo, a contenção de erosão (Moscchini, 2008). Dessa forma, entende-se que em sua ponderação em relação às classes de fragilidade deve-se obter uma classe de muito fraca na determinação das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados, conforme se pode observar na Figura 5.18.

O tema urbano considerou toda a área construída composta por asfaltos, casas, edifícios, pequenos bairros sitiados e quaisquer outros conjuntos de edificações do município de São Carlos. A classificação foi identificada e elaborada por técnicas de fotointerpretação como: padrões retilíneos, formas geométricas, cor e texturas bastante particulares.

O crescimento da malha urbana do município, na bacia do ribeirão do Feijão, vem sendo cada vez mais estimulada pela Rodovia Washington Luís, oficialmente denominada SP-310 que faz a ligação de São Paulo ao município São Carlos, a uma distância de aproximadamente 237 km e corta ao meio a área de estudo, no sentido sudeste-noroeste. A rodovia Luiz Augusto de Oliveira e Dr. Paulo Lauro, que compreendem a rodovia SP-215, também estimulam o desenvolvimento do município na bacia em estudo, região noroeste da mesma.

Sua reclassificação, frente à metodologia adotada na presente pesquisa, é a da classe de fragilidade muito forte, ponderando-se como 0,9, frente ao processo analítico hierárquico – AHP, podendo ser observada na Figura 5.18 da fragilidade ambiental da cobertura do solo.

O tema Cerradão, que é a vegetação nativa característica da região pesquisada, foi identificado pelas técnicas de fotointerpretação, através dos fragmentos florestais que possuem formas não geométricas, cor característica e textura rugosa bastante heterogenea, ora mostrando-se mais densa, ora mostrando-se menos. O Cerradão é um subgrupo de formação do Cerrado com uma fisionomia típica e restrita das áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em clima tropical, eminentemente estacional. Apresenta sinúrias lenhosas e tortuosas, com ramificação irregular.

Extremamente repetitiva, a sua florística reflete-se de norte a sul em uma fisionomia caracterizada por dominantes fanerófitos típicos, com plantas lenhosas e palmeiras anãs. (IBGE 1992).

Sendo assim, a inferência Fuzzy do processo analítico hierárquico determina que o tema cerradão obtenha uma fragilidade fraca, ou seja, 0,3 (Figura 5.18).

No Brasil, o reflorestamento teve maior fomento, a partir de 1970, sendo estimulado por incentivos fiscais. As florestas plantadas são a principal matéria-prima para a produção de papel e celulose. Com destaque histórico, as áreas de florestas plantadas no Brasil acumularam, em 2008, o total estimado de 6.126.000 ha com eucalipto, e por esse total, representa um acréscimo de cerca de crescimento de 7,3% na área plantada com eucalipto (Bracelipa, 2009).

Portanto, para se obter o tema de reflorestamento detectaram-se os talhões padronizados por formas retangulares e textura meio rugosa e bastante homogênea, observando uma área de aproximadamente 2280.58, representando aproximadamente 10,25 % da bacia hidrográfica, conforme Figura 5.17.

Orientada pela metodologia, a classe de reflorestamento foi ponderada no processo analítico hierárquico com 0,5, respectivo à classe de fragilidade média que identifica os cultivos de ciclos longos, pastagens com baixo pisoteio de gado, silvicultura.

Na classificação do solo exposto, foram consideradas as áreas de exploração mineral de areia, rochas e solos. Essas áreas estão desprovidas totalmente de qualquer tipo de vegetação, sendo possível sua determinação pelas técnicas de fotointerpretação observando suas formas bastante irregulares e também suas cores. O solo foi reclassificado no processo analítico hierárquico, sendo ponderado como classe de fragilidade muito forte, 0,9 (Figura 4.18), pois é condizente com áreas desmatadas, solo exposto, agricultura não-conservacionista, conforme determina a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, proposta por Ross (1994).

As áreas de pasto foram encontradas na bacia e diagnosticadas pela sua textura lisa, cor, padrão e suas formas retangulares. Na bacia em estudo, foi verificada a existência de áreas para a criação de gado extensiva e intensiva, bem como áreas desmatadas degradadas sem devido manejo.

O Brasil é, mundialmente, um dos países mais fortes na pecuária. Em termos de quantidade de cabeças de gado, nosso país encontra-se na liderança, sendo um dos

maiores exportadores de carne de boi. O processo de tecnificação e densificação reflete no aumento da produção de carne bovina e leite no Brasil, nos últimos anos, e mostra como as áreas de pastagem, manejadas adequadamente e cultivadas com forrageiras de maior qualidade, podem suportar um número maior de animais, liberando terras para outros fins.

Analisando esse tema de outra forma, em 2005, a densidade média de bovinos praticada na pecuária brasileira era de aproximadamente uma cabeça por hectare, enquanto no Estado de São Paulo essa densidade alcançava 1,4 cabeças por hectare, ou seja, 40% mais (IBGE, 2007 *apud* HORTA NOGUEIRA, 2008).

Tendo isso em vista, a classificação da área de pasto foi ponderada com o valor de 0,8, (Figura 5.18), representando as classes de fragilidades entre: média (cultivos de ciclos longos, pastagens com baixo pisoteio de gado, silvicultura) e muito forte (áreas desmatadas, solo exposto, agricultura não-conservacionista), pois com a grande intensificação do pastoreio em menores áreas e áreas de pastagem degradadas sem o devido manejo, houve a catalisação do processo de fragilidade ambiental das bacias hidrográficas.

A cultura de cana-de-açúcar foi observada em grandes áreas, na bacia hidrográfica, distinguindo-se das demais culturas por apresentar formas geométricas extensas, textura lisa e cor característica. A cana-de-açúcar é uma planta semiperene pertencente ao gênero *Saccharum*, da família das gramíneas, composta de espécies de gramas altas perenes, oriundas de regiões temperadas quentes as tropicais da Ásia, especialmente da Índia.

Atualmente, ocupa uma área plantada de cerca de 7 milhões de hectares e corresponde a 42% do total produzido mundialmente. Já no Brasil, a cultura da cana alcança quase todos os estados brasileiros e ocupa cerca de 9% da superfície agrícola do país, sendo o terceiro cultivo mais importante em superfície ocupada, depois da soja e do milho. O maior produtor nacional é o Estado de São Paulo, com cerca de 60% da produção (HORTA NOGUEIRA, 2008).

Conforme a metodologia adotada, o ponderamento Fuzzy foi de 0,7 (Figura 5.18), frente ao processo analítico hierárquico, pois se trata de uma cultura de ciclo longo com características de ciclo curto, devido aos cortes anuais de sua colheita.

O cultivo de laranja está disseminado por mais de 60 países, sendo o Brasil o maior produtor e exportador do suco de laranja e detém 50% da produção mundial, dos

quais apenas 3% ficam no mercado interno. Os principais municípios produtores de laranja se encontram em São Paulo, estado responsável por 79% de toda a produção brasileira. (IBGE, 2003) Na década de 70, instalou-se em Araraquara, ficando aproximadamente 45 km de São Carlos, a Sucocítrico Cutrale, incentivando o parque industrial de suco de laranja no estado de São Paulo com fábricas modernas, que utilizam uma avançada tecnologia de produção (Moschini, 2008).

O tema respectivo à cultura de laranja foi identificado pela verdade terrestre, através das formas regulares, padrão e texturas lineares bastante características das plantações dos pomares que possuem espaçamentos de plantio entre: 6mx4m e 6mx3m, proporcionando uma média entre 416 plantas/hectare e 555 plantas por hectare, respectivamente (Koller, 1994).

Portando, após o mapeamento dos pomares, os mesmos foram reclassificados no processo analítico hierárquico- AHP como a classe de fragilidade forte, tendo o seu ponderamento de 0,7 por possuir as características das Culturas de ciclo longo com baixa densidade, determinada pela metodologia da análise empírica fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, proposta por Ross (1994), observado na Figura 5.18.

Por fim, na área em estudo, encontram-se vários pequenos lagos, situados em sítios e pesqueiros, sendo reconhecido o tema água pela forma e textura lisa encontrada, em sua grande maioria, nos próprios caminhos das drenagens. Entendendo que oferecem baixos graus de fragilidade, a mesma foi ponderada, conforme a metodologia, como a classe de fragilidade muito fraca, correspondendo ao ponderamento 0,1 (Figura 5.18).

Descrito todo o processo de reconhecimento e ponderamento da inferência geográfica Fuzzy no processo analítico hierárquico – AHP dos temas, obteve-se a Figura 5.18, que representa as fragilidades de todas as classes da cobertura do solo.

Portanto, após as elaborações e descrições dos mapas da variável cobertura do solo e suas respectivas fragilidades, obteve-se a Tabela 5.5, que demonstra os valores em hectares e porcentagens de todos os temas classificados e suas respectivas fragilidades, observadas na Figura 5.18.

A figura 5.19 também é derivada da Figura 5.18, a qual demonstra as áreas de fragilidades dos temas sem porcentagens, porém em forma de gráfico.

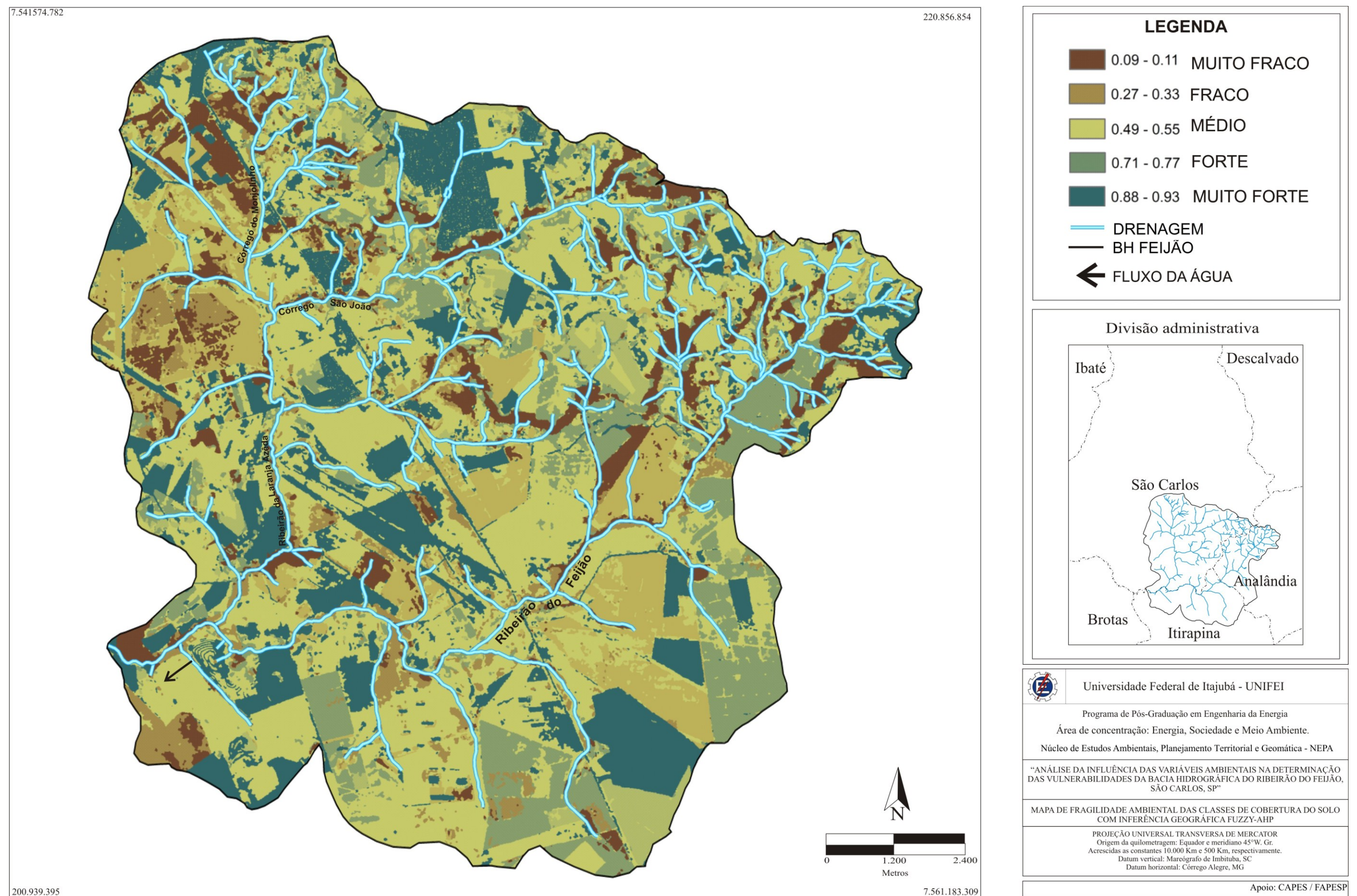


Figura 5.18 – Mapa de fragilidade ambiental da cobertura do solo com inferência geográfica Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Tabela 5.5- Áreas das classes da cobertura do solo e suas fragilidades ambientais.

Classes da cobertura do solo	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
Mata ciliar/Encosta	2.357,65	10,6	Muito fraco
Urbano	1.083,65	4,85	Muito forte
Cerradão	1.293,45	5,8	Fraco
Reflorestamento	2.280,6	10,25	Fraco/Médio
Solo exposto	2.861,3	12,8	Muito forte
Pastagem	8.584,5	38,52	Médio
Cana-de-açúcar	680,65	3,33	Médio/Forte
Laranja	3.085,1	13,8	Forte
Água	13,1	0,05	Muito fraco

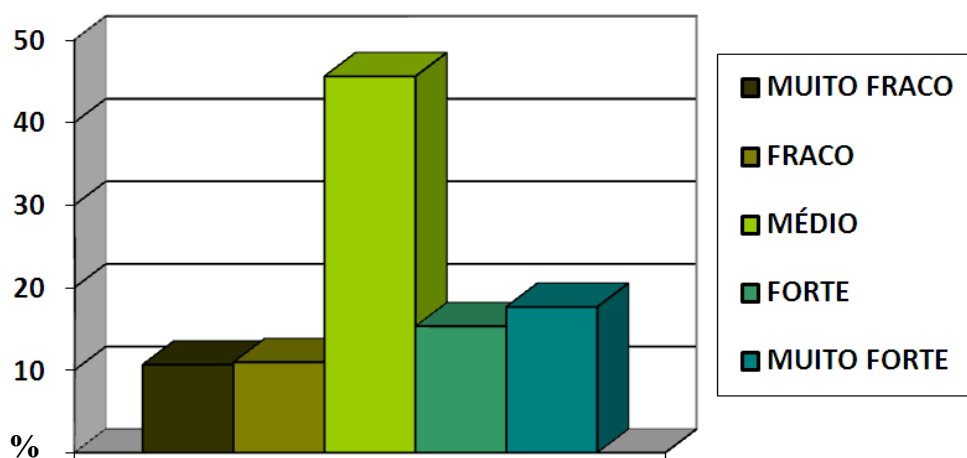


Figura 5.19 – Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável cobertura do solo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Pedologia

Os resultados referentes à variável de pedologia foram provenientes a partir dos dados do trabalho do mapeamento pedológico, elaborado por Oliveira e Prado (1984) e reestruturados por Nishyama (1991). Dessa forma, foram identificadas e descritas as classes de solos na região estudada, respeitando a ordem de elaboração das classes, conforme a Figura 5.20.

Portanto, seguem as descrições, iniciando-se com a classe Latossolo Roxo (LR), que são solos originados a partir da decomposição de rochas básicas (basaltos e diabásios). Em função de sua origem, apresentam elevado teor em ferro (acima de 18%) e de titânio (acima de 3%). Apresentam textura argilosa a muito argilosa, com teor de areia grossa inferior a 10%, horizonte A moderado e B apédico. Ocorrem em áreas dispersas na bacia, abrangendo no total cerca 8% da superfície da mesma.

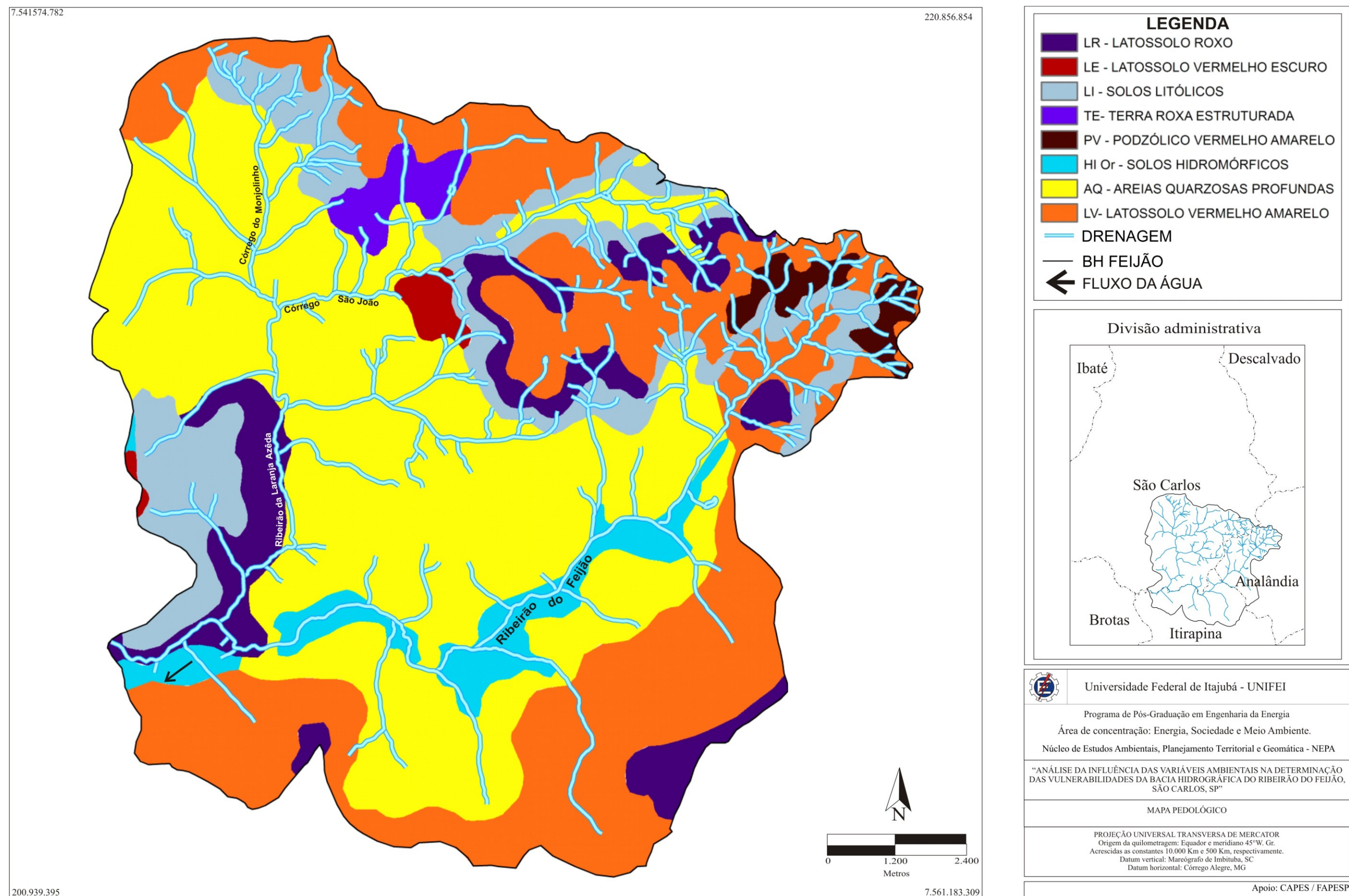


Figura 5.20 – Mapa de Pedologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Fonte: Adaptado de Oliveira e Prado (1984).

A classe Latossolo Vermelho Escuro (LE) é a que ocupa a menor superfície, aproximadamente 1%, restrita a uma única área situada próxima ao centro da região mapeada. Compreende solos álicos, de textura média a argilosa, horizonte A moderado, cores vermelho-escuro, vermelho e bruno avermelhado escuro. Possui teores de ferro entre 8 e 18% (textura média). Os latossolos vermelho-escuros de textura argilosa têm a sua origem a partir de sedimentos finos (siltitos e argilitos) com maior ou menor contribuição de rochas básicas, e os de textura média são originados de materiais mais grosseiros, especialmente do retrabalhamento de arenitos.

Os solos Litólicos (LI) são caracterizados pela pequena espessura do "solum", geralmente inferior a 40 centímetros no horizonte A moderado e presença de minerais instáveis. Têm como substrato os arenitos da Formação Botucatu, basaltos da Formação Serra Geral e arenitos e conglomerados da Formação Marília (Nishiyama, 1991). Ocupam 11,34% da superfície da região em estudo e desenvolvem-se, preferencialmente, em áreas de declividades mais acentuadas.

Já a Terra Roxa Estruturada (TE) compreende os solos com o horizonte A moderado e horizonte B textural argiloso ou muito argiloso. Ocupa cerca de 1,61% da área total da bacia, situando-se no sentido nordeste da bacia hidrográfica, entre os solos litólicos ao norte e sul, areias quartizosas a oeste e a leste o solo latossolo vermelho amarelo.

O solo Podzólico Vermelho Amarelo (PV) constitui a terceira menor classe quanto à distribuição em termos de área, ocupando cerca de 1,65% da área total da bacia hidrográfica. Acha-se presente com maior frequência ao extremo leste. São solos que apresentam o horizonte B textural e A moderado a proeminente, textura média a argilosa e espessura inferior a 1,5 metros. Trata-se de solos ácidos a muito ácidos. A origem desses solos está ligada aos sedimentos da Formação Pirambóia e Formação Marília.

Para a classe dos Solos Hidromórficos (HI Or), os mesmos possuem sua expressão restrita às planícies de inundação do curso d'água do Ribeirão do Feijão. Caracteriza-se por apresentar o horizonte glei muito pouco espesso, cores claras, podendo mostrar um certo mosqueamento. Os tipos de solos hidromórficos encontrados na região estudada são: solos orgânicos, glei húmico e glei pouco húmico, resultando em uma área de, aproximadamente, 4,65% da região em estudo.

As Areias Quartzosas Profundas (AQ) apresentam o horizonte A moderado, espessura superior a 2 metros, cores variando de vermelho-acinzentado a bruno-avermelhado claro, tendo consistência friável e fortemente ácida. A composição essencialmente arenosa mais de 70% faz supor a origem a partir do retrabalhamento de arenitos da Formação Botucatu. Ocupam a maior área da bacia hidrográfica, com 42,8%, situando-se principalmente na região central da bacia, desenvolvendo-se sobre as coberturas Cenozóicas.

Por fim, os Latossolos Vermelho Amarelo (LV) são solos de caráter álico, textura média a muito argilosa e horizonte A moderado. Os solos pertencentes a essa classe ocupam 29,1%, representando a segunda maior classe da área total da bacia. Estão associados às coberturas cenozóicas originadas do retrabalhamento de arenitos da Formação Botucatu e sedimentos da Formação Marília.

Descritos os tipos de solos e suas áreas, apresenta-se a espacialização das fragilidades ambientais de variável pedologia, conforme a Figura 5.22 e a compilação dessas informações na Tabela 5.6 e Figura 5.21.

Tabela 5.6- Áreas das classes de Geologia e suas fragilidades ambientais.

Classes de Pedologia	Área - Hectares	Área - %	Classes de Fragilidade
LR - Latossolo Roxo	1.778,25	8,0	Muito fraco
LE - Latossolo Vermelho Escuro	189,40	0,85	Muito fraco
LI - Solos Litólicos	2.524,2	11,35	Muito forte
TE- Terra Roxa Estruturada	359,70	1,6	Médio
PV - Podzólico Vermelho Amarelo	368,45	1,65	Forte
HI Or - Solos Hidromórficos	1.035,3	4,65	Muito fraco
AQ - Areias Quartzosas Profundas	9.508,4	42,73	Muito forte
LV - Latossolo Vermelho Amarelo	6.476,3	29,17	Médio

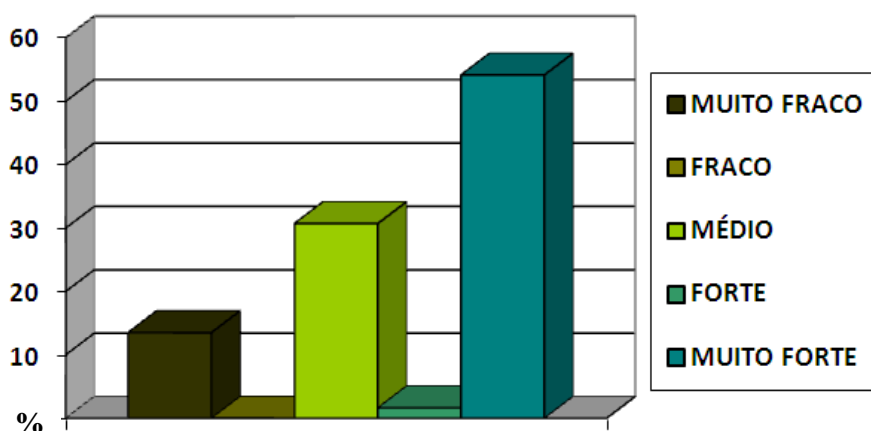


Figura 5.21 - Gráfico da área em porcentagem das classes de fragilidade ambiental da variável de pedologia da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

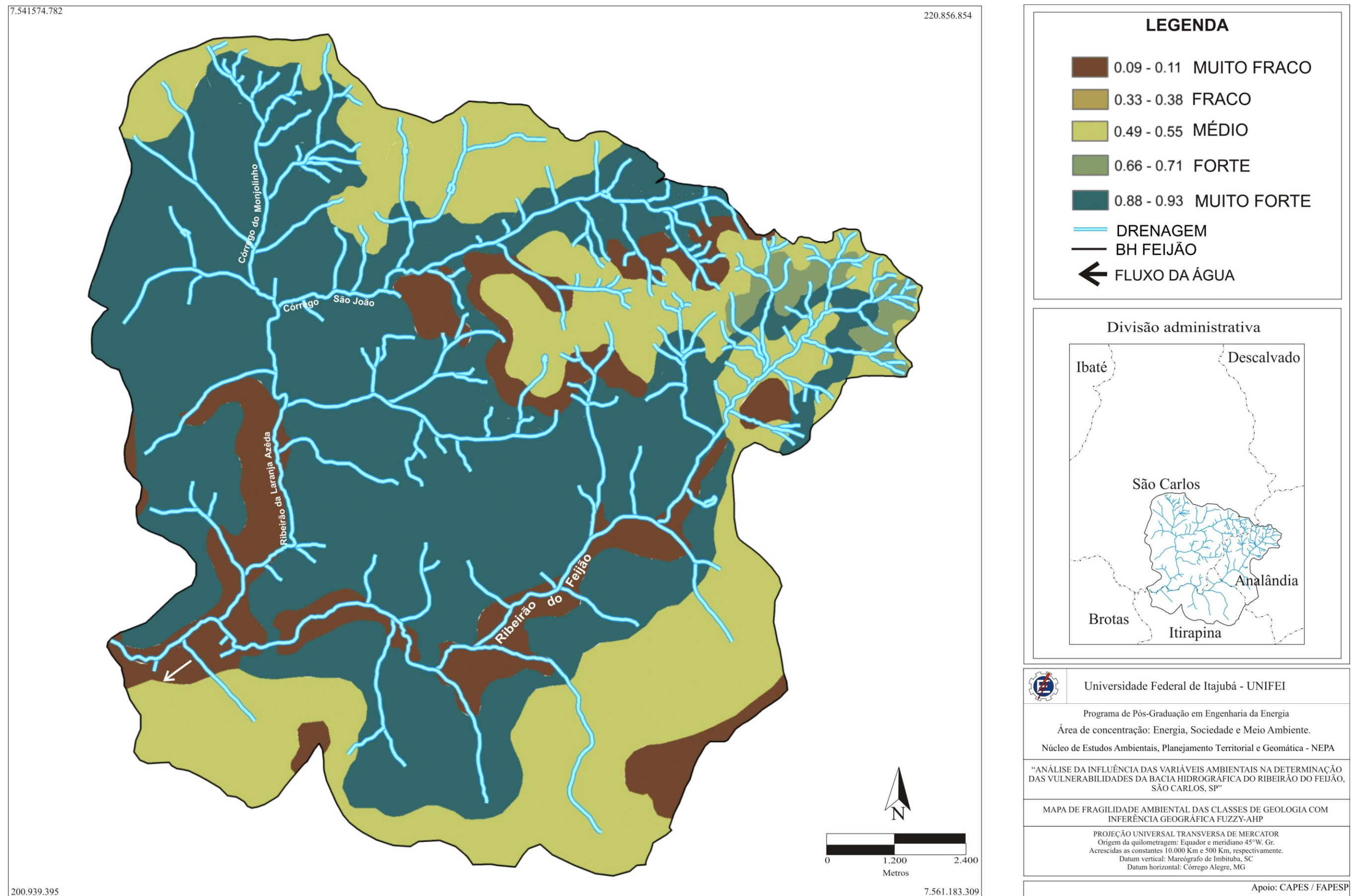


Figura 5.22- Mapa de fragilidade ambiental das classes de Pedologia com inferência Fuzzy-AHP da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Sendo assim, pode-se concluir que a reclassificação pedológica possui a sua maior área na classe fragilidade muito forte de 54,14% referente as areias quartzosas profundas e dos solos Litólicos que proporcionam uma dinâmica intensa na bacia em estudo. Já a classe de fragilidade forte foi referenciada apenas pelo Podzólico Vermelho Amarelo, não apresentando grandes áreas dessa hierarquia, apenas 1,65%. Contudo, a segunda classe de maior área é a classe de fragilidade média, sendo composta pelos solos Latossolos Vermelho Amarelo e Terra Roxa Estruturada, obtendo uma área de 30,71%. Por fim as classes Latossolo Roxo, Vermelho Escuro e solos Hidromórficos foram classificadas pela classe de fragilidade muito fraco, não havendo na área a classe de fragilidade fraca, como pode ser visto na Tabela 5.6.

5.2- Os mapas-síntese das fragilidades dos ambientes naturais e antropizados

Após a apresentação das variáveis e suas respectivas reclassificações hierarquizadas, executaram-se as sobreposições ponderadas dos planos de informações das fragilidades ambientais das variáveis, obtendo-se assim, os dois mapas-síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, seguindo a proposta metodológica adotada.

Portanto, nesse segundo momento, os resultados dos mapas-síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados estão sequenciados em seu respectivo zoneamento em classes de vulnerabilidade ambiental no qual determinam o seu risco.

A apresentação desses resultados servirão de base, permitindo a análise das influências das fragilidades individuais de cada uma das classes das variáveis, na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

5.2.1- Índices de dissecação do relevo e o zoneamento de suas vulnerabilidades ambientais

Conforme explicitado na metodologia, as variáveis empregadas para se determinar o mapa-síntese da análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados foram a cobertura do solo, pedologia, geologia pluviosidade e geomorfologia, que se baseou nos índices de dissecação do relevo. Dessa forma, ao se efetuar a sobreposição ponderada dos cinco planos de informação das fragilidades, obteve-se a Figura 5.24.

É importante salientar que após elaborado o mapa-síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, prosseguiu-se com a reclassificação deste produto em cinco classes, que variam em uma escala de [0 a 100%] de risco ambiental potencial, correspondendo a áreas estáveis, de estabilidade moderada, moderadamente instável, instável e de instabilidade emergente.

Dessa forma, o mapa-síntese, com apoio nos índices de dissecação do relevo, apresentou uma amplitude de valores Fuzzy-AHP entre 0 a 0.15, onde, os mesmos foram divididos em cinco classes iguais, determinando-se, assim, o zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo.

Observando a Figura 5.24, as classes que representam a área estável possuem um risco potencial de 0 a 20% e são representadas pelas cores marrom-escuras e claras. Seguida da classe de risco entre 20% e 40%, sendo conhecida como a classe moderadamente estável, representados nas cores, especificamente, mais claras.

Conforme a graduação das cores, quando se aproxima de um tom azul claro, essas são determinadas como a classe de zoneamento da vulnerabilidade ambiental moderadamente instável, representando um risco ambiental potencial de 40 a 60%. A classe instável e instabilidade emergente possuem um risco potencial de 60% a 100%, ou seja, oferecem os maiores riscos potenciais na bacia em estudo, portanto servindo de base para as análises futuras. Suas cores na Figura 5.24, são as azuis variando dos valores Fuzzy de 0,07 a 0,15.

Dessa forma, determinou-se o zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo, conforme Figura 5.25.

Após a elaboração do mapa de zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo, foi possível averiguar as áreas de cada uma das classes (Figura 5.23).

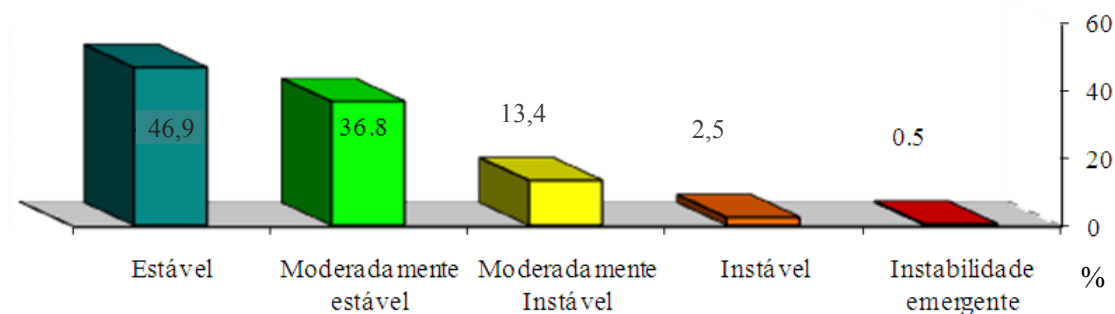


Figura 5.23 – Gráfico da área em porcentagem das classes de zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo.

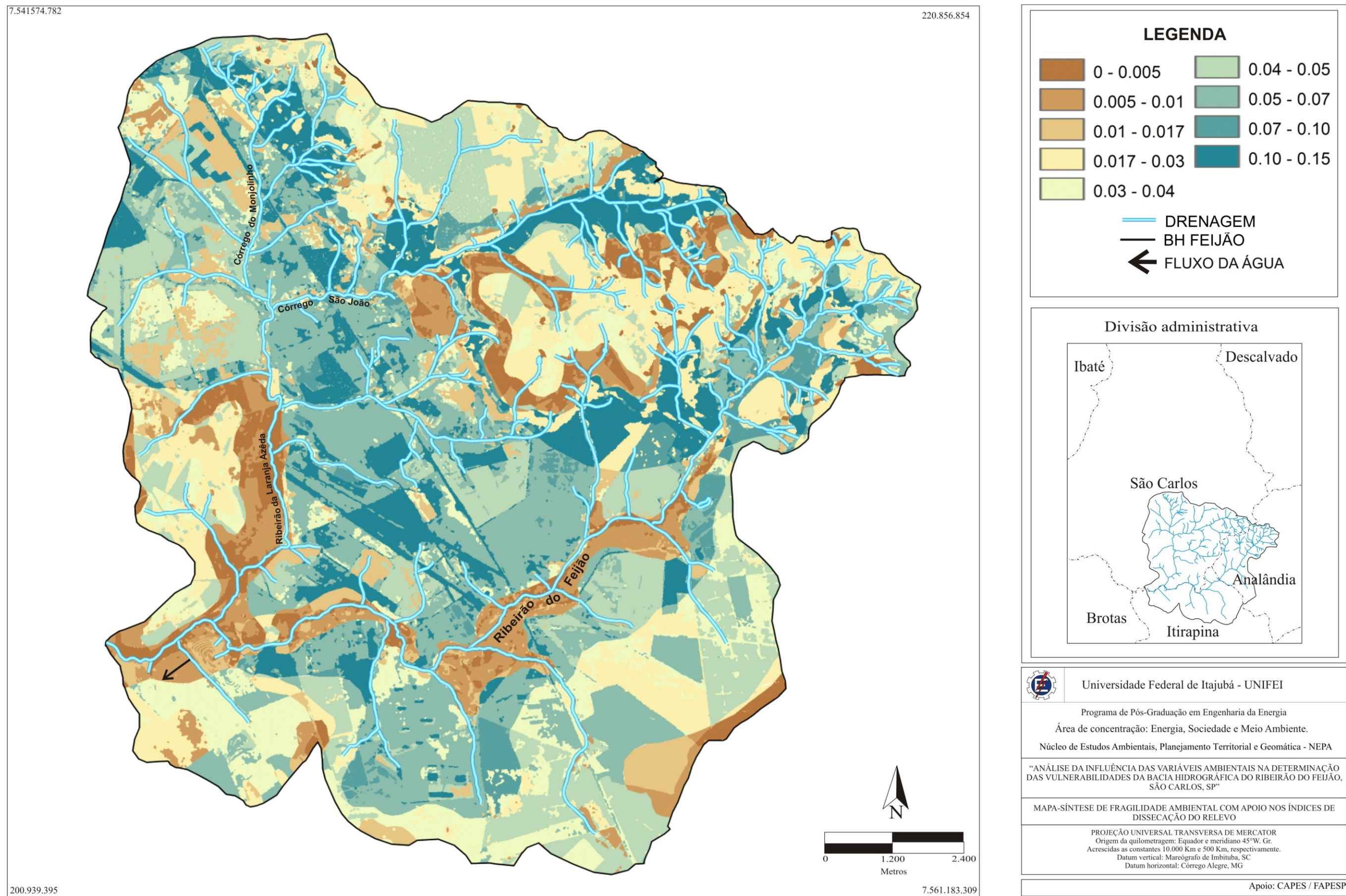


Figura 5.24- Mapa síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados com apoio nos índices de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

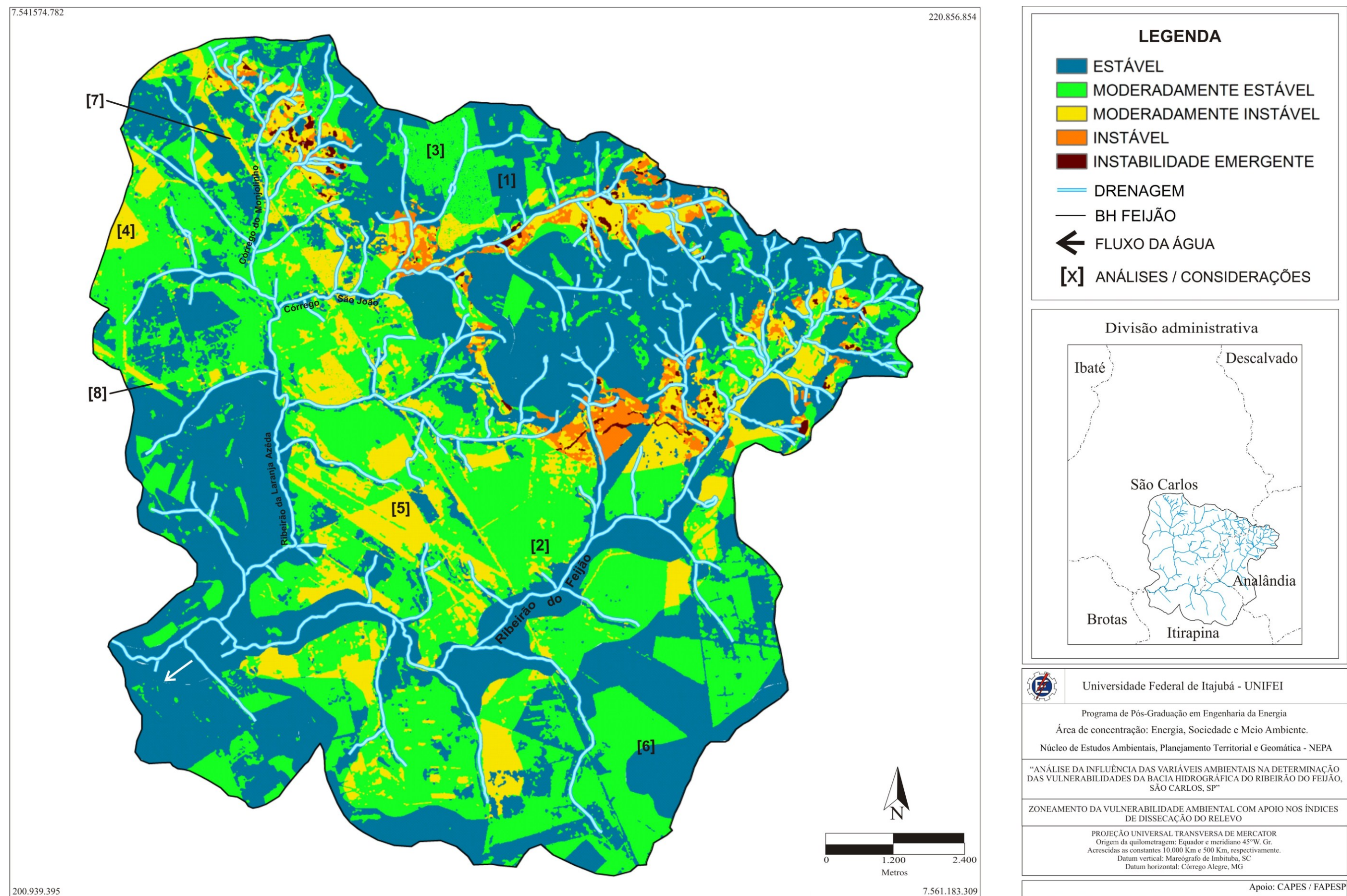


Figura 5.25 – Mapa do Zonamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Ao analisar a Figura 5.24 e 5.25, foi possível verificar uma gradual e decrescente queda nos valores das áreas partindo da classe estável para a classe de instabilidade emergente. A compilação dos resultados referentes às classes do zoneamento da vulnerabilidade ambiental também foram trabalhadas e expostas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7- Áreas das classes do zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nos índices de dissecação do relevo.

Classes do Zoneamento das vulnerabilidades ambientais.	Risco ambiental potencial	Área em hectares	Área em %
Estável	Até 20%	10.415,1	46,9
Moderadamente estável	20% a 40%	8.184,4	36,8
Moderadamente instável	40% a 60%	2.979,3	13,4
Instável	60% a 80%	551,35	2,5
Instabilidade emergente	de 80% a 100%	109,9	0,5
Total		22.240	100

Na Figura 5.25, pode ser observado polígonos regulares nas classes: estável, moderadamente estável, moderadamente instável e na instável. Esta ocorrência tem a ver com o tipo de atividade antrópica (cobertura do solo, Figura 5.17) associadas às demais variáveis que foram aplicadas neste modelo.

Tomando-se como exemplos as numerações [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] na Figura 5.25 verifica-se que em [1] o polígono na classe estável foi determinado pela pastagem (Figura 5.17), mesmo encontrando-se pastagem na classe moderadamente estável como pode ser visto em [2].

Em [3] e [4], incide-se sobre áreas urbanas e observa-se os polígonos regulares nas classes moderadamente estável e moderadamente instável, isso se deve a variabilidade das demais variáveis aplicadas.

Em [5] a cobertura do solo apresenta solo exposto na classe moderadamente instável em função das variáveis (Figuras 5.3, 5.9, 5.12, 5.20). Contudo, como em [5], em [6] também apresenta cobertura de solo com solo exposto, apresenta uma parcela do polígono na classe estável e a outra parcela na classe moderadamente estável, indicando claramente que apesar da topografia apresentar baixa e regular declividade (Figura 5.6), a classe de pedologia (AQ) e a cobertura do solo foram os pontos determinantes para sua delimitação.

Em [7], onde está localizada a SP-310 (Figura 4.1) na direção NW/SE aparece com classe moderadamente instável até próximo ao ribeirão do Feijão devido à

constância das variáveis determinantes de geomorfologia, de topografia, de pedologia e de geologia. Contudo, a SE a partir do ribeirão do Feijão, apresenta uma variação pedológica de LE e AQ que faz a condição de moderadamente instável visto no trecho NW, passar para condição de moderadamente estável e estável.

Em [8], onde está localizada a linha de abastecimento de energia na direção SE a partir da borda da bacia, da mesma maneira que em [7], apresenta classe moderadamente estável e é interrompida por classe predominantemente estável e, continuando a moderadamente instável, logo em seguida. Neste caso, esta variabilidade de classes podem ser atribuídas às variáveis de pedologia e geologia, destacando-se que, apesar do pequeno trecho com pequenas variações de declividades um pouco mais acentuadas, a geologia com magmatitos básicos e a pedologia com PV e HI Or, são os maiores responsáveis por tais mudanças de classes de vulnerabilidade ambiental.

5.1.2- Classes de declividade e o zoneamento de suas vulnerabilidades ambientais

A multiplicação dos mapas de fragilidade das variáveis da cobertura do solo, pedologia, geologia, pluviosidade e declividade resultaram-se no mapa-síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, com apoio nas classes de declividade, este, por sua vez, obteve as variações Fuzzy entre 0 a 0,27, conforme Figura 5.26.

Portanto, o zoneamento da vulnerabilidade ambiental se deu através da divisão referente às variações Fuzzy, reclassificando-as em cinco classes de riscos ambientais potenciais de 0 a 100%, nomeadas como estável, moderadamente estável, moderadamente instável, instável e instabilidade emergente, conforme Figura 5.27.

A classe estável, que possui uma variação Fuzzy entre 0 à 0,05, oferece um risco potencial de até 20% na bacia hidrográfica, representadas pelas áreas marrons mais escuras, tendendo a uma graduação para o marrom mais claro. Já na classe moderadamente estável, possui uma variação Fuzzy entre 0,05 à 0,1, sendo representada por um risco potencial entre 20% a 40%. Para as áreas da classe moderadamente instável, observadas através das cores mais claras da Figura 4.26, obtem-se uma variação Fuzzy entre 0,01 à 0,15, representando um risco potencial entre 40% a 60%. Para a classe instável, a variação Fuzzy situa-se entre 0,15 a 0,20 com áreas de risco potencial entre 60% e 80% determinando, por fim, a classe de instabilidade emergente, com sua variação Fuzzy entre 0,20 a 0,27, tendo seu risco potencial de 80% a 100% na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

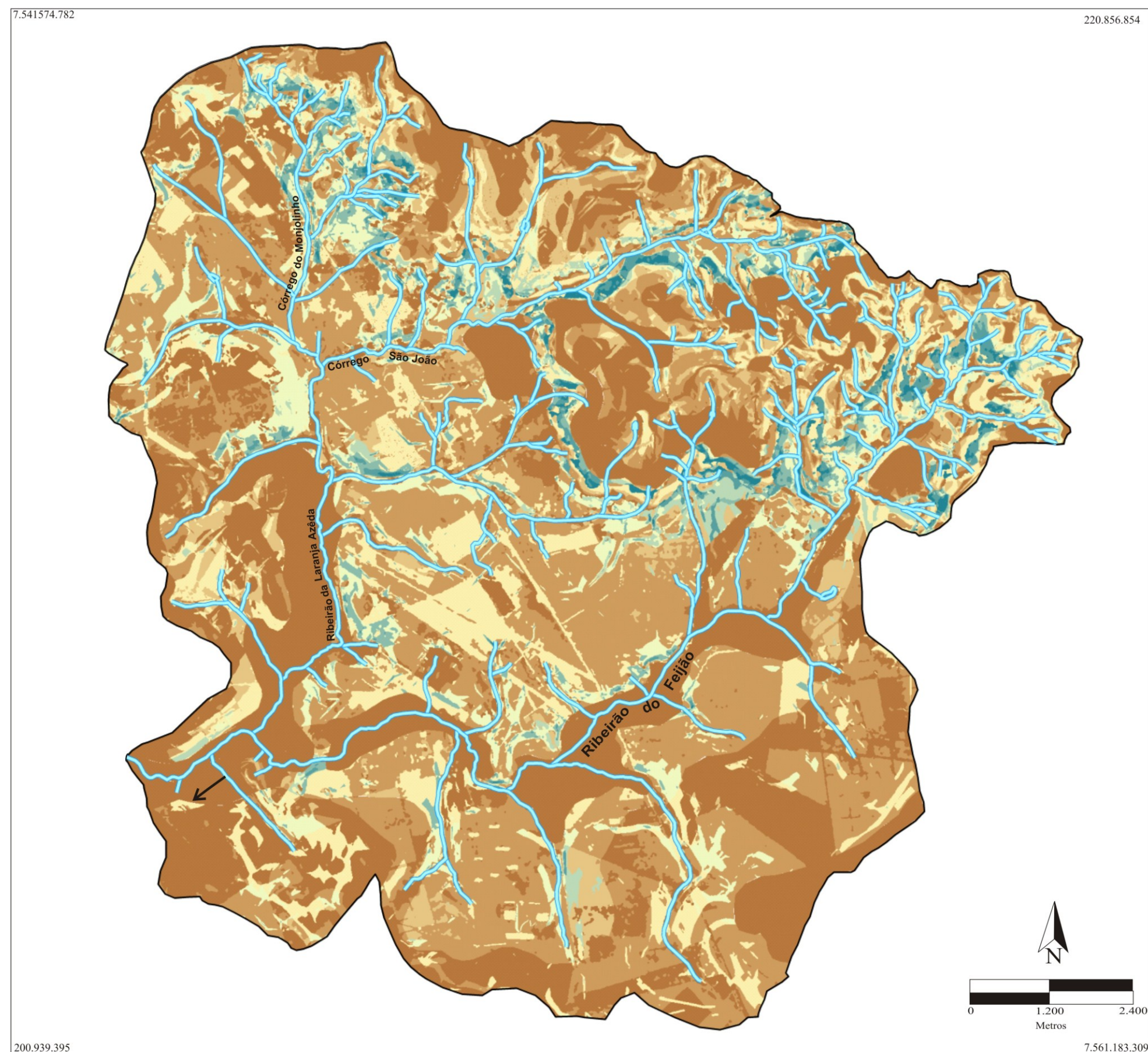
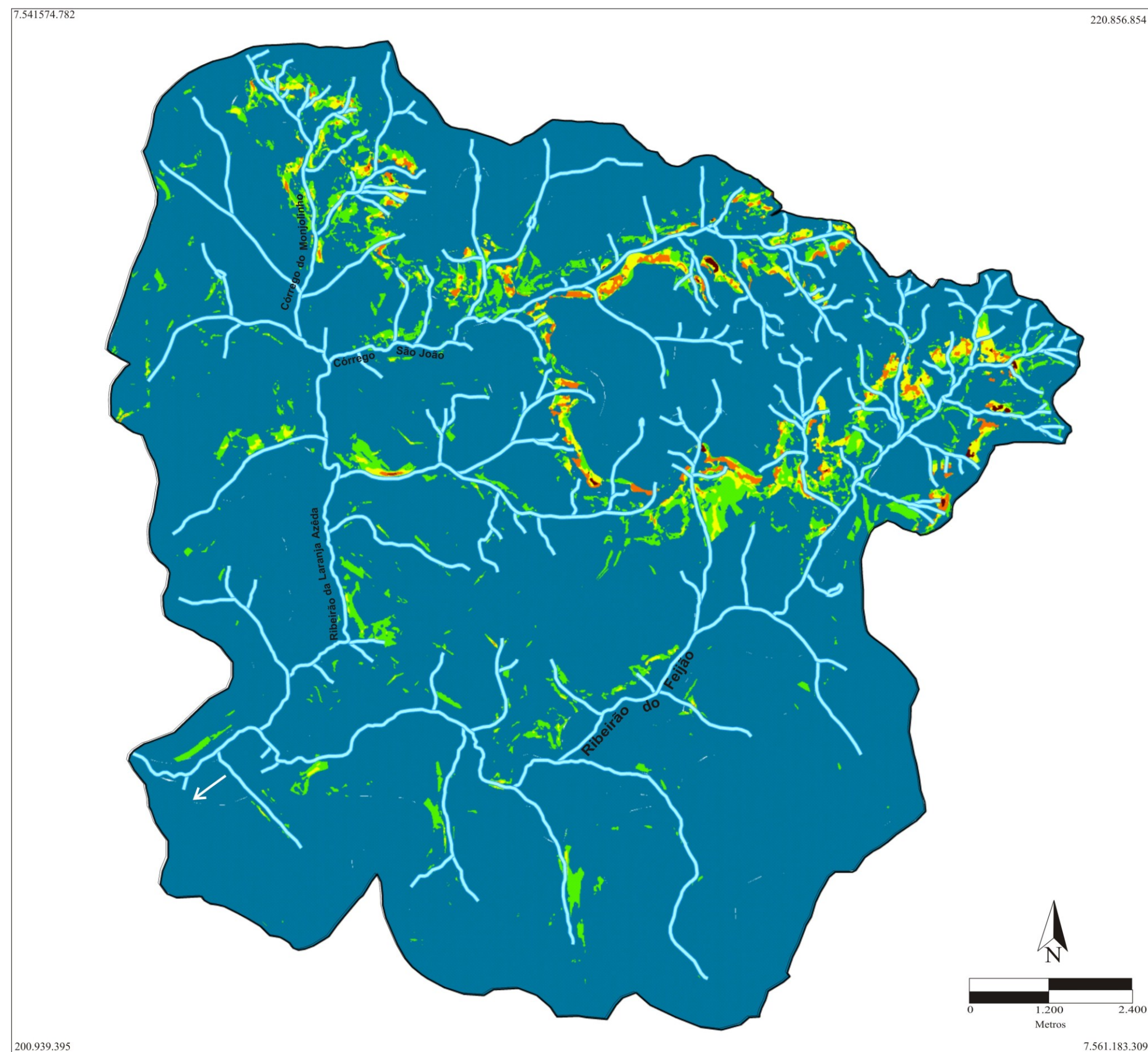


Figura 5.26- Mapa síntese da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados com apoio nas classe de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.



LEGENDA

- ESTÁVEL
- MODERADAMENTE ESTÁVEL
- MODERADAMENTE INSTÁVEL
- INSTÁVEL
- INSTABILIDADE EMERGENTE
- DRENAGEM
- BH FEIJÃO
- FLUXO DA ÁGUA

Divisão administrativa

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática - NEPA

“ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA DETERMINAÇÃO DAS VULNERABILIDADES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO FEIJÃO, SÃO CARLOS, SP”

ZONEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COM APOIO NAS CLASSES DE DECLIVIDADE

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
 Origem da quilometragem: Equador e meridiano 45°W. Gr.
 Acrescidas as constantes 10.000 Km e 500 Km, respectivamente.
 Datum vertical: Marcógrafo de Imbituba, SC
 Datum horizontal: Córrego Alegre, MG

Apoio: CAPES / FAPESP

Figura 5.27 – Mapa do Zonamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Após a elaboração do mapa de zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nas classes de declividade, verificaram-se as áreas de cada uma das classes conforme Figura 5.28

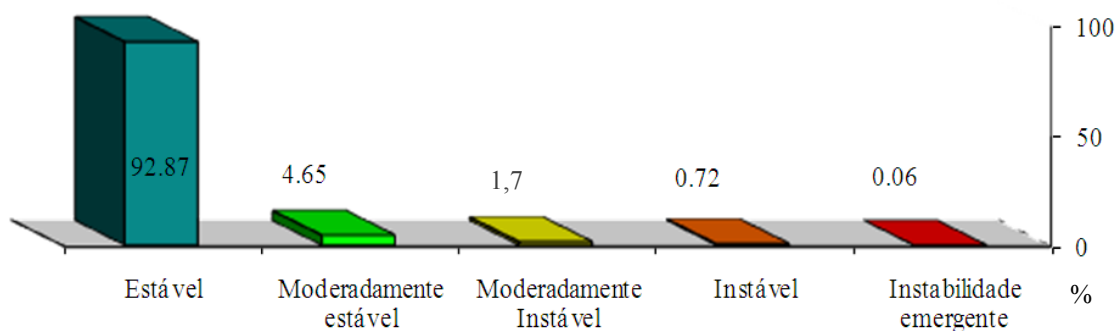


Figura 5.28 – Gráfico da área das classes de zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade

Através da Figura 5.28, observou-se que a área em porcentagens da classe estável obteve 92,8% de toda a bacia hidrográfica. Já as classes de risco ambiental potencial, acima de 60%, referentes às classes instável e instabilidade emergente, possuem uma área muito pequena frente às demais classes. A Tabela 5.8 detalha as áreas em porcentagens e hectares do zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nas classes de declividade.

Tabela 5.8- Áreas das classes do zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade.

Classes do Zoneamento das vulnerabilidades ambientais.	Risco ambiental potencial	Área em hectares	Área em %
Estável	Até 20%	20.656,2	92,87
Moderadamente estável	20% a 40%	1.035,8	4,65
Moderadamente instável	40% a 60%	373,8	1,7
Instável	60% a 80%	160,9	0,72
Instabilidade emergente	de 80% a 100%	13,3	0,06
Total		22.240	100

Na Figura 5.27, que considera o zoneamento da vulnerabilidade ambiental com apoio nas classes de declividade, pode ser observado que ela não apresenta polígonos regulares em nenhuma das classes. A não existência de polígonos regulares tem a ver com a menor sensibilidade que o modelo tem em considerar as variáveis de pluviosidade, geologia, pedologia frente a declividade e a cobertura do solo dentro da bacia.

5.3-Análises comparativas das influências das classes das variáveis nos dois zoneamentos das vulnerabilidades ambientais

Tendo realizado as duas propostas metodológicas para os dois zoneamentos, analisam-se, neste último momento, as influências das classes das variáveis na determinação das vulnerabilidades ambientais da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Para efeito de análise comparativa dos resultados, foram consideradas classes com riscos ambientais potenciais >60% (Tabela 4.12), ou seja, instável e de instabilidade emergente, por serem as áreas críticas.

Na Tabela 5.9 estão resumidas as respectivas áreas do zoneamento da vulnerabilidade ambiental, com apoio nos índices de dissecação do relevo e declividade que correspondem às classes instável e de instabilidade emergente, na bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão.

Tabela 5.9- Áreas das classes instável e instabilidade emergente dos dois zoneamentos das vulnerabilidades ambientais.

Classes de zoneamento da vulnerabilidade ambiental	Índice de dissecação do relevo		Classes de declividade	
	Hectares	(%)	Hectares	(%)
Instável	551,3	2,5	160,9	0,7
Instabilidade Emergente	109,9	0,5	13,3	0,1
Total	661,2	3,0	174,2	0,8

Mesmo com valores das áreas de zoneamento distintos dos dois modelos, observou-se que o risco potencial acima de 60% incidia-se sempre nas mesmas classes das variáveis, o que permitiu uma análise individual da influência de cada uma das classes das variáveis na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica.

Por meio da comparação dos resultados do modelo baseado nos índices de dissecação do relevo e do modelo baseado nas classes de declividade, observaram-se algumas diferenças das influências das classes das variáveis na determinação das áreas instáveis e instabilidade emergente, conforme a Tabela 5.10 e também da Figura 5.29.

Para as classes de geomorfologia empregadas temos a classe Encostas Sulcadas por Vales Subparalelos, sendo a maior influenciadora com 16,4% seguida da classe de Morros Arredondados com 8,5% e, posteriormente, por Colinas Médias com 6,7%. Para o zoneamento com apoio nas classes de declividade, obteve-se uma maior influência as declividades acima de 30% (12,6%) e, posteriormente, a de 20% a 30% (10,7%). Já na variável cobertura do solo, a classe de cultivo de laranja foi a que mais influenciou nos

dois modelos aplicados (16,5% e 4,8%). As demais classes determinaram diferentemente, sendo que no modelo com apoio nos índices de dissecação do relevo, obteve-se a segunda classe de maior influência: a cana-de-açúcar (6,2%), seguida do solo exposto (3,3%) e, por último, a classe de urbano (1,5%). No modelo com apoio nas classes de declividade, após a classe de cultivo de laranja, o solo exposto (1,0%) foi a segunda classe de maior influência, seguida da classe de urbano (0,5%) e, posteriormente, de cana-de-açúcar (0,2%).

A variável pedologia para a classe de solo Litólico foi a de maior influência, em comum para os dois modelos com 12,8% e 5,4%, respectivamente. A segunda classe que mais influenciou no modelo de dissecação do relevo foram as Areias Quartzosas Profundas (3,6%), seguida da classe de solo Podzólico Vermelho Amarelo com 0,9%. Já no modelo com apoio nas classes de declividade, obteve-se o contrário, a classe de solo Podzólico Vermelho Amarelo (0,6%) influenciou mais que as Areias Quartzosas Profundas (0,4%).

Tabela 5.10- Áreas totais das classes das variáveis e as incidências do risco potencial acima de 60% dos dois modelos aplicados de vulnerabilidade ambiental.

Classes das variáveis	Área das classes (%)	1 (%)	2 (%)
<i>Geomorfologia</i>			
Colinas médias	8,7	6,7	-
Morros arredondados	17,4	8,5	-
Encostas sulcadas por vales subparalelos	5,6	16,4	-
<i>Declividade</i>			
De 20% até 30%	4,0	-	10,7
Acima de 30%	2,9	-	12,6
<i>Cobertura do solo</i>			
Urbano	4,9	1,5	0,5
Solo exposto	12,8	3,3	1,0
Cana-de-açúcar	3,1	6,2	0,2
Laranja	13,8	16,5	4,8
<i>Pedologia</i>			
LI - Solos Litólicos	11,3	12,8	5,4
PV - Podzólico Vermelho Amarelo	1,7	0,9	0,6
AQ - Areias Quartzosas Profundas	42,8	3,6	0,4
<i>Geologia</i>			
Formação Botucatu	72,6	4,1	1,1
<i>Pluviosidade</i>			
1.500 Milímetros	100	3,0	0,8

Legenda : 1. Área em porcentagem de incidência de risco potencial >60% com apoio nos índices de dissecação do relevo; 2. Área em porcentagem de incidência de risco potencial >60% com apoio nas classes)

A influência da geologia resultou sobre a classe da formação Botucatu 4,1% e 1,1%. Na variável de Pluviosidade, na classe de 1.500 milímetros, a influência foi de 3,0 e 0,8%. Para este caso, ambas influenciando praticamente na mesma proporção dos riscos potenciais mapeados.

Na Figura 5.29 é mostrada a determinação em escala decrescente (%), e os graus de influência de cada uma das variáveis nos dois zoneamentos da vulnerabilidade ambiental, frente às classes de instabilidade e instabilidade emergente (>60%). Observaram-se que as variáveis de relevo foram as mais significantes em ambos os modelos (31,6% e 23,3%), seguido da cobertura do solo (27,4% e 6,5%), pedologia (17,5% e 6,4%), geologia (4,1% e 1,1%) e pluviosidade (3,0% e 0,8%). Portanto, as variáveis de relevo foram as que apresentaram as menores discrepâncias (8,3%). Já a cobertura do solo apresentou as maiores diferenças com 20,9%, seguido da pedologia com 11,1%, geologia com 3,0% e pluviosidade com 2,2%.

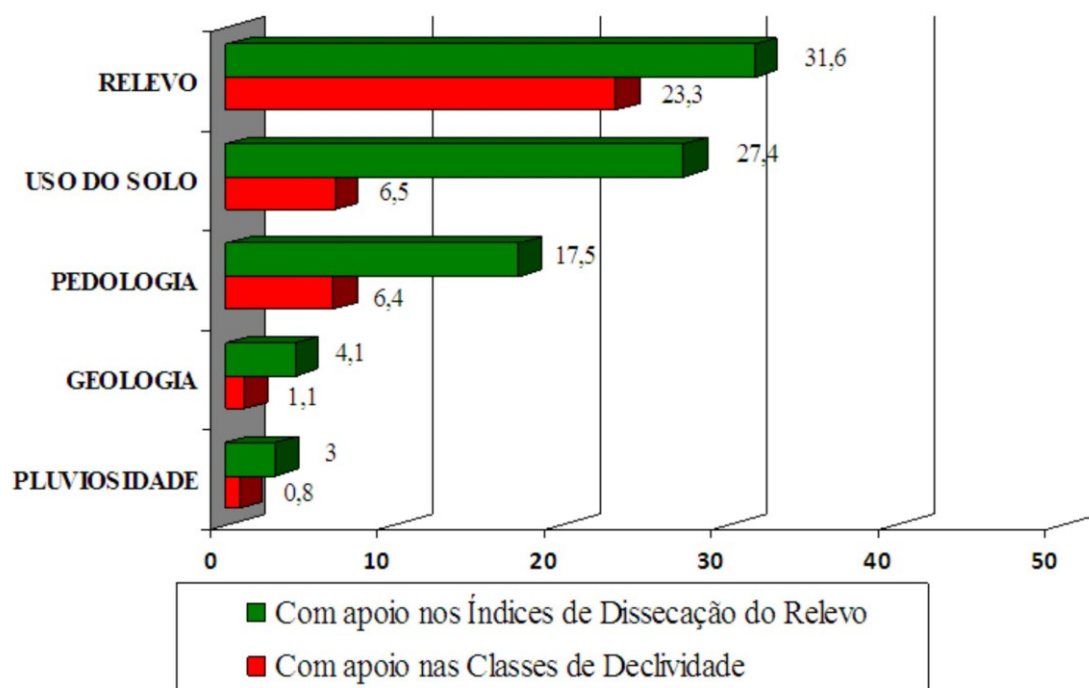


Figura 5.29 – Gráfico da Comparação (%) das influências das variáveis sobre a classe instável e instabilidade emergente do zoneamento da vulnerabilidade ambiental.

Capítulo 6-Conclusões

O mapeamento da fragilidade ambiental ainda é um campo pouco explorado. Contudo, a ênfase que deve ser dada não é nas operacionalizações em sistemas de informações geográficas, mas na proposta dos mapas-síntese. As metodologias das unidades ecodinâmicas é uma das diversas formas de se entender o ambiente dentro do universo complexo da análise ambiental e que, sendo um modelo, uma abstração da realidade, construído a partir de uma visão teórico-metodológica, possui conceitos e paradigmas associados.

Observou-se que a utilização das técnicas de inferência geográfica Fuzzy-AHP, em suas atribuições de pesos, é decorrente de processos que dão suporte à decisão através de superfícies numéricas que melhor se adaptam às transições gradativas entre as ocorrências representadas nos mapas temáticos, o que favoreceu a simulação das características de fragilidades de cada uma das variáveis empregadas no estudo de caso.

Dessa forma, a análise dos modelos elaborados baseados nesses conceitos, embora forneça resultados aproximados, devido à subjetividade inerente ao processo de avaliação da realidade, deve ser sempre confrontada com os dados observados e coletados em campo, buscando apontar qual deles se ajusta melhor à área estudada, contribuindo, via retroanálise, para a calibração e o aperfeiçoamento de modelos de análise da vulnerabilidade ambiental.

Portanto, para a avaliação mais coerente sobre a influência dos modelos de análise de vulnerabilidade ambiental da referida bacia hidrográfica, sugere-se que sejam também correlacionados problemas de erosão, perda de solos, deslizamentos, perda de qualidade das águas de superfície, variação das características sedimentológicas, entre outras metodologias, a fim de se obter uma abordagem cada vez mais sistêmica e integrada, considerando os reais fluxos de matéria e energia responsáveis pela configuração atual da respectiva unidade ecodinâmica. A associação dessas propostas, concomitante a resultados de outras metodologias e análises *in loco*, determinarão novas considerações mais específicas, aperfeiçoando, com auxílio da Geomática, as modelagens ambientais. A integração de mais variáveis aos modelos, além da ampliação de sua complexidade, permitirá construir cenários cada vez mais condizentes com a complexidade da realidade das bacias hidrográficas. Dessa forma, acredita-se que, com os zoneamentos cada vez mais consistentes, os mesmos permitirão uma regulamentação

do espaço geográfico a fim de se explorar as potencialidades locais e regionais buscando conservar a estabilidade dos ambientes naturais.

As comparações e análises aqui apresentadas procuraram determinar o quanto cada uma destas variáveis e suas respectivas classes contribuem para se estabelecer o grau de vulnerabilidade da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão. Verificou-se também que o uso do solo e relevo são as variáveis, nos dois modelos, mais importantes quando se deseja minimizar impactos sobre a aceleração dos processos erosivos em bacias hidrográficas. Destaca-se também que, enquanto o solo está coberto por cobertura vegetal adequada, as demais variáveis determinantes não se mostram com tanta influência sobre os processos erosivos. Exemplo pode ser visto quando uma parcela está coberta com vegetação em um determinado tipo de solo, relevo e geologia, quando ela perde essa cobertura ou a reduz, a pluviosidade passa a interferir direta e fortemente como agente desagregador do solo e, tendo o relevo como variável determinante na aceleração dos processos erosivos. Concluindo-se que a cobertura vegetal é determinante na minimização dos impactos advindos dos processos erosivos e, também, considera-se destacadamente a grande importância que tem o planejamento de uso do solo integrado aos demais instrumentos de gestão ambiental e de recursos hídricos para manejo de bacias hidrográficas.

Referências Bibliográficas

ARCURI, M.E.P. *Planejamento Ambiental através de análise de informações em bases cartográficas: o caso de estudo da microbacia Santa Eliza, Rio Claro – SP*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1997.

BARBOSA, C.C.F. & CORDEIRO, J.P.C. Manual de Referencia em LEGAL. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação. Apêndice A*. São José dos Campos: INPE. 2001. p. 325-345.

BERNINI, H., OLIVEIRA, D.S., MORET, A.S. O uso de geoprocessamento para a tomada de decisão na utilização dos recursos naturais estudo de caso Resex do Rio Preto – RO In: ANAIS DO XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 2223-2230.

BERTRAND, G. & BERTRAND, C. *Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades*. PASSOS, M.M. (Org.). Maringá-PR: Massini. 2007. p.332.

BLASCHKE, T.; GLÄSER, C. & LANG, S. Processamento de Imagens num ambiente integrado SIG / Sensoriamento Remoto – Tendências e Conseqüências. BLASCHKE, T. & KUX, H. (Tradução de Hermann Kux). *Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores*. São Paulo: oficina de Textos. 2005. p. 11-18.

BRACELPA –ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAPEL E CELULOSE. Relatório Florestal Estatístico de 2009. Disponível: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF-2009-BR.pdf>>. Acesso em: 18/10/2010.

BRASIL. *Lei nº 6.938*. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF, 31 de agosto de 1981.

BOLSTAD, P.V. & LILLESAND, T.M. Rapid Maximum Likelihood Classification. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 57, January 1991, pp. 67-74.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford: Oxford University, 1998.

CÂMARA, G. & DAVIS, C.; Introdução In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2001a. p. 1-6.

CÂMARA, C. & MONTEIRO, M.V.M. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2001b. p. 7-40.

CÂMARA, C.; MOREIRA, F.R.; BARBOSA, C. FILHO, R.A. & BÖNISCH, S. Técnicas de Inferência Geográfica In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2001c. p. 241-288.

CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. Geoprocessamento para Projetos Ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2001d. p. 289-320.

CÂMARA, G.; ALMEIDA, R. & MOREIRA, F. Inferência geográfica e suporte à Decisão. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. & MONTEIRO, M.V.M. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: INPE. 2001e. p. 241-281.

CAMARGOS, M.N. Desafios da implementação do zoneamento ambiental: preservação de manguezais e exploração de seus recursos por população tradicional. In: 10º CONGRESSO BRASILEIRO DE ADVOCACIA PÚBLICA. 2006. Paraty, RJ. 2006.

CEREDA JUNIOR, A. *Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do ribeirão do Monjolinho – São Carlos, SP - utilizando ferramentas de geoprocessamento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2006.

CONWAY, T.M. & LATHROP, R.G. Alternative land use regulations and environmental impacts: assessing future land use in an urbanizing watershed. *Landscape and Urban Planning*, v. 71, n. 1, p. 1–15, 2005.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P. & FLORENZANO, T. *Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. & BARBOSA C. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: INPE, 2000.

CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. *A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2005. p. 248.

DANNA, R.A.; BOLZÓN, H.A.; ROJAS, E.R.; ROSSETTO, E. & TEDESCO, J.E. El uso de los S.I.G. en la gestión de los Municipios, como factor de construcción de la Sociedad. In: ANAIS DO XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 2223-2230.

DANTAS, A.S. *Mapa preliminar da fragilidade ambiental no Estado de Sergipe*. Monografia em Especialização em Geologia Sedimentar, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju. 2007.

FURRIER, M. *Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa - 1:100.000*. Tese de Doutorado em Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

HORTA NOGUEIRA, L.A. *Bioetanol de cana-de-açúcar- energia para o desenvolvimento sustentável*. (Org.). BNDS e CGEE. Rio de Janeiro: BNDS 2008. Disponível: <<http://www.bioetanoldecana.org/>> Acesso em: 17/10/2010.

IBAMA. *Demanda de instrumentos de gestão ambiental – Zoneamento Ambiental*. ABSY, M.L. (Coordenação). Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Brasília. 1997.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Satélite ALOS [Online]. Disponível: < <http://www.ibge.gov.br/alos/sensores.php>> Acesso em: 17/10/2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem da População 2007 e Estimativas, segundo os municípios. 2008. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/SP.pdf>>. Acesso em: 17/10/2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Contagem da População 2007 e Estimativas, segundo os municípios. 2008. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/SP.pdf>>. Acesso em: 17/10/2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais Técnicos de Geociências, n.1).1992. 92 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal de 2003 Disponível:

<http://www.ibge.gov.br/english/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=259&id_pagina=1>. Acesso em: 17/10/2010.

KOLLER, O.C. *Citricultura: laranja, limão e tangerina*. Porto Alegre: Rígel, 1994. p.446.

LAGO, W.J.S.; ARAÚJO, E.P.; TELES, M.G.L. Vulnerabilidade natural à erosão na Região do Baixo Parnaíba-MA. In: ANAIS DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, p. 3975-3980.

LIMA, F.R.; MARTINELLI, M. As unidades ecodinâmicas na Cartografia Ambiental de Síntese. In: I SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO E VII SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNESP- RIO CLARO, 2008. Campus Bela Vista, Rio Claro, SP. 2008.

LOBÃO, J.S.B.; ROCHA, W.J.S.F.; SILVA, A.B. Utilização de lógica fuzzy na modelagem da vulnerabilidade à erosão no município de morro do chapéu-BA. In: III SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2006. Aracaju, SE, 2006.

MAO, G.; WANG, J.; YU, Y.; GUO, H.; QIN, X.; L.V., X. & LIU, Y. An integrated GIS-based analysis system for land-use management of lake areas in urban fringe. *Landscape and Urban Planning*, v. 82, n. 4, 2007.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J. & PEREIRA, S.E.M. (Org.). *Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar: Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. P.55. Disponível : <http://www.cnps.embrapa.br/zoneamento_cana_de_acucar/ZonCana.pdf> Acesso em: 01/10/2010

MONTAÑO, M. *Os recursos hídricos e o zoneamento ambiental: o caso do município de São Carlos (SP)*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

MOSCHINI, L.E. *Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do médio Mogi-Guaçu superior*. Tese de doutorado da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2008.

NIJS, T.C.M. & CROMMENTUIJN, R.N.L. Constructing land-use maps of the Netherlands in 2030. *Journal of Environmental Management* , v. 72, p. 35-42, 2004.

NISHIYAMA, L. *Mapeamento Geotécnico preliminar da quadricula de São Carlos, SP*. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1991.

ODUM, E.P. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 1988. p. 434.

OLIVEIRA, I.S.D. *A contribuição do zoneamento ecológico econômico na avaliação de impacto ambiental: bases e propostas metodológicas*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2004.

OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. *Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadricula de São Carlos*. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1984.188p.

OLIVEIRA, J.H.M. & CHAVES, J.M. Fragilidade ambiental de um setor do raso da Catarina-BA e entorno, utilizando geoprocessamento (álgebra simples de mapas-sobreposição ponderada). In: ANAIS DO XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FISICA APLICADA, 2009, Viçosa. 2009. p. 1-13.

PAULA, E.M.S. & SOUZA, M.J.N. Lógica Fuzzy como técnica de apoio ao Zoneamento Ambiental. In: ANAIS DO XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 2979-2984.

PEREIRA, K.N. *Avaliação da Fragilidade Ambiental na Microbacia do Ribeirão de Imaruí/SC: uma análise comparativa entre o modelo da Fragilidade Empírica dos*

Ambientes e o Método da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE). Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina. 2009.

PIJANOWSKI, B.C.; BROWN, D.G.; SHELLITO, B.A. & MANIK, G.A. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Comput. Environ. Urban Syst.* v.26 (6), p.553–575, 2002.

RAMOS, A. *Diccionario de la naturaleza: Hombre, Ecología, Paisaje*. Madrid, Espasa-Calpe, p. 1016. 1987.

RIBAS, O. *A sustentabilidade das cidades: os instrumentos de gestão urbana e a construção da qualidade urbana*. Tese de Doutorado, Centro de desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2002.

RODRIGUES, G.O. *Análise da acurácia temática das classificações de imagens orbitais AVNIR-2/ALOS, CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5, comparando as abordagens de Máxima Verossimilhança e Fuzzy*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2009.

ROSS, J.L.S. *Geomorfologia: Ambiente e Planejamento*. São Paulo: Contexto, 1990. p. 85.

ROSS, J.L.S. *Aplicabilidade do conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento*. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Coordenadores), *Geomorfologia :uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 365-391.

ROSS, J.L.S. *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados*. *Revista do Departamento de Geografia – DG-FFLCH-USP*. São Paulo, n° 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J.L.S.; KAWAKUBOL, F.S.; MORATO, R.G.; CAMPOS, K.C. & LUCHIARI, A. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: ANAIS DO XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, 2005. Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 2203-2210.

RUHOFF, A.L. *Gerenciamento de recursos hídricos em bacias hidrográficas: modelagem ambiental com simulação de cenários preservacionistas*. Dissertação de Mestrado em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004.

RUHOFF, A.L.; Gerenciamento de recursos hídricos na bacia do Arroio Grande, RS: Zoneamento através de inferência Geográfica Fuzzy. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, Campo Grande, 2006. Embrapa informática agropecuária/Instituto de Pesquisas Espaciais, 2006. p. 136,144.

RUHOFF, A.L.; SOUZA, B.S.P.; GIOTTO, E. & PEREIRA, R.S. Lógica Fuzzy e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande. In: ANAIS DO XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, 2005. Instituto de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 2355-2362.

SABATINI, M.C.; VERDIELL, A.; INGLESIAS, R.M.R. & VIDAL, M.A quantitative method for zoning of protected areas and its spatial ecological implications. *Journal of Environmental Management*. v.83, p.198–206, 2007.

SIGRH – SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório da Bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré CBH-TJ. nº 40.674, v.1. 2000. Disponível: <<http://www.sigrh.sp.gov.br>>. Acesso em: 17/10/2010.

SILVA, J.X. *Geoprocessamento para análise ambiental*. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica. 2001. p.228.

SOUZA, M.P. *Instrumentos de gestão ambiental: Fundamentos e práticas*. São Carlos: Riani Costa. 2000.

SOTCHAVA, V.B. *O estudo de Geossistemas*. São Paulo, Instituto de Geografia USP. p. 51. 1977.

SPÖRL, C. & ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOUSP - Espaço e Tempo*. n.15, p.39-49, 2004.

TANAKA H. & ENTANI, T. Interval estimations of global weights in AHP by upper Approximation. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 158, p. 1913 – 1921, 2007.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. p. 31.

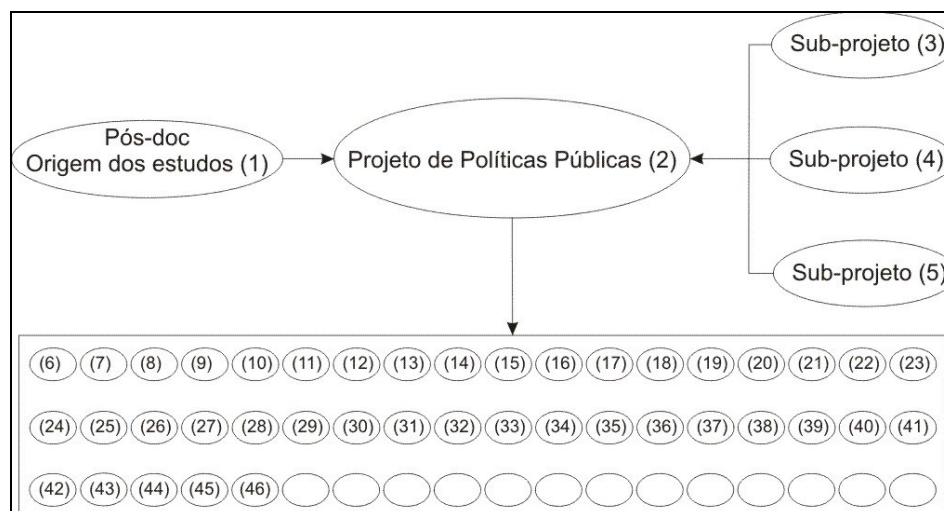
TUNDISI J. G.; TUNDISI, T. M.; DUPAS, F. A. & SILVA E SOUZA, A. T. *Uso atual e uso potencial do solo no município de São Carlos, SP - base do planejamento urbano e rural*. Relatório final de Projeto de Políticas Públicas da FAPESP, proc. 98/10924-3, 2007.

WILSON, J.S.; CLAY, M., MARTIN, E., STUCKEY D. & VEDDER-RISCH, K.: Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 3, p. 303–321, 2003.

ZUQUETTE, L.V. *Mapeamento Geotécnico preliminar na região de São Carlos*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 1981.

ANEXO I

ANEXO I – Histórico dos estudos já realizados desde 1997 na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, com financiamento da FAPESP, CNPq, CAPES e Fapemig.



() Artigos, Relatórios de Projetos, doutorados, dissertações, iniciações científicas com apoio da Fapesp, Fapemig, CNPq e Capes na forma de bolsas e auxílio financeiro utilizando São Carlos (SP) como área de estudo e demais trabalhos.

■ (1) até (12) Já concluídos até 2007 durante a vigência do projeto – formato *Itálico*.

■ (13) até (31) Já concluídos e em andamento após a vigência do projeto em 2007 e 2007 – formato **Arial**.

■ (32) até (45) Já concluídos e em andamento - trabalhos correlatos fora da cidade de São Carlos – formato Times New Roman.

TRABALHOS CONCLUÍDOS DURANTE A VIGÊNCIA DO PROJETO – ATÉ 2007.

- (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. UFSCar, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 63 pg.*

- (2) 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.
- (3) 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.
- (4) SUB-PROJETO (2007). **“Estudo do Índice de Integridade Biótica (IIB) da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão”**, Proc. 98/10924-3.
- (5) SUB-PROJETO (2007). **“Análise da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão”**, Proc. 98/10924-3.
- (6) 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.
- (7) 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.
- (8) DUPAS, F. A.; SOUZA, Ângela Teresa Silva e; TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura; ROHM, Sérgio Antonio. **Indicadores ambientais para planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v., p. 491-506.
- (9) SOUZA, Ângela Teresa Silva e; SHIBATTA, Oscar Akio; TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura; DUPAS, F. A.. **Parasitas de peixes como indicadores de estresse ambiental e eutrofização**. In: José Galizia Tundisi; Matsumura-Tundisi, T.; Galli, C.S.. (Org.). Eutrofização na América do Sul: causas, conseqüências e tecnologias para gerenciamento e controle - EUTROSUL. São Carlos: DMD, 2006, v. 1, p. 373-386.
- (10) LUZ, S. R.. **“Análise da relação entre o uso de agrotóxicos, solo e água”**. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

- (11) GANNAM, M. G. ***“Mapa de uso e ocupação do solo utilizando fotografias aéreas originadas de sensores e aeronave de baixo custo. estudo de caso da bacia do córrego Feijão em São Carlos, SP”***. 2007. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (12) ROSELLI, R. G. ***“Aplicação de metodologia para estudo da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí”***. 2006. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.

TRABALHOS CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO APÓS A VIGÊNCIA DO PROJETO – 2007.

- (13) GUIMARÃES, M. W. O. (2008). ***“Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Ribeirão 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) AFONSO, G. F. (2008). ***“Integração de dados baseada em ontologia”***, Dissertação de Mestrado em Computação. Dep. Computação, Universidade Federal de São Carlos.
- (15) 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.
- (16) VIEIRA, A. M. (2009). ***Estudo da relação entre as variáveis ambientais da bacia hidrográfica do Rórrego do Feijão, São Carlos, SP. Estruturação de banco de dados para ambiente de simulação***. Projeto de Iniciação Científica PROBIC – FAPEMIG, Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá. 16 pág.
- (17) PEREIRA, P. R. G. (2010). ***“Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação do nível de degradação ambiental na bacia do Ribeirão 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.

- (18) COSTA, C. W. (2010). **“Expansão da mancha urbana e suas consequências 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.
- (19) VIANA, E. H. (2010). **“Estruturação de Banco de Dados Físicos, Químicos, Biológicos e Geográficos da Bacia do Córrego Feijão em São Carlos-SP”**.. Relatório de bolsa de iniciação científica CNPq. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (20) OLIVEIRA, J. A. (2011). **“Análise da quantidade de sedimentos em bacia hidrográfica - Estudo do caso do caso do Ribeirão do Feijão em São Carlos, SP”**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN Universidade Federal de Itajubá.
- (21) MACHADO, F. H. (2011). **“Valoração econômica dos recursos hídricos 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.
- (22) CAVALCANTE, T. D. M.. **Planejamento do uso do solo em bacias hidrográficas. Estudo do caso do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Início: 2011. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá (em andamento).
- (23) CUNHA, R. C; DUPAS, F. A.; TUNDISI, J. G. **Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades: estudo de caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. 2011. Revista Geociências (UNESP. Impresso) ^{JCR}, v. 30, p. 399-414, 2011.
- (24) YAGUINUMA, C. A., AFONSO, G. F., FERRAZ, V., BORGES, S., SANTOS, M. T. P. (2011). **A Fuzzy Ontology-Based Semantic Data Integration System**. Journal of Information & Knowledge Management, Vol. 10, No. 3, pg. 285-299. DOI: 10.1142/S0219649211002997.
- (25) LUZ, F. G. F. (2012). **“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.
- (26) GONÇALVES, F. K.. **Análise da influência do uso e cobertura do solo sobre os recursos hídricos. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP**. Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento

Territorial e Geomática – NEPA, IRN. Universidade Federal de Itajubá, CAPES (em andamento).

- (27) CUNHA, R. C. da (2012). **“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.(28) OTTOBONI, R. (2012). **Desenvolvimento do banco de dados(BD) ambientais para otimização de análises do processo de transporte de solo para reservatórios de geração hidrelétrica. Estudo do caso da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, São Carlos SP**. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN, Dissertação de mestrado, Engenharia da Energia, UNIFEI (em andamento).
- (29) COSTA, C. W.; DUPAS, F. A.; PONS, N. A. D.. **Regulamentos de uso do solo e impactos ambientais: avaliação crítica do plano diretor participativo do município de São Carlos, SP**. Geociências (UNESP. Impresso) ^{JCR}, 2012. (no prelo)
- (30) COSTA, C. W. ; DUPAS, F. A. ; SILVA, L. F. . **Monitoramento e predição de expansão populacional e urbana e o consumo de recursos naturais na cidade de São Carlos, SP**. Geociências (UNESP. Impresso), 2012. (no prelo).
- (31) MACHADO, F. H. ; DUPAS, F. A. . **Análise econômica do uso do solo e da disposição a pagar para proteção ambiental dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do manancial do Ribeirão do Feijão, São Carlos - SP**. Geousp (USP), 2012. (no prelo).

TRABALHOS CORRELATOS FORA DA CIDADE DE SÃO CARLOS – CONCLUÍDOS E EM ANDAMENTO

- (32) OLIVEIRA, T. F. **“Análise preliminar da influência do uso e ocupação do solo sobre os recursos hídricos da bacia hidrográfica do alto Rio Sapucaí, MG”**. 2003. 37 f. Relatório de bolsa de iniciação científica Fapemig. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (33) 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, Fapemig - Universidade Federal de Itajubá.
- (34) 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.

- (35) HONÓRIO, D. H. **“Utilização da ferramenta Idrisi Taiga - módulo ETM na análise espacializada de tendências climáticas no Brasil”**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso. Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática – NEPA, IRN - Universidade Federal de Itajubá.
- (36) 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.
- (37) 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.
- (38) SPERANDELLI, D. I. (2010). **“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.
- (39) PAES, F. S.; DUPAS, F. A.; SILVA, Fernando das Graças Braga da; PEREIRA, J. C. D. . **Espacialização da perda de solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí (MG)**. Geociências (UNESP. Impresso) ^{JCR}, v. 29, p. 537-549, 2010.
- (40) ABE, C. A.. **Características do uso do solo de entorno e suas implicações em Unidade de Conservação. Estudo do caso do Parque Nacional do Itatiaia, RJ**. Início: 2011 - Universidade Federal de Itajubá, CNPq (em andamento).
- (41) TEIXEIRA, D. R.. **Análise comparativa dos instrumentos de gestão em unidades de conservação visando a gestão socioambiental no Cone Sul. Início: 2012**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Co-orientador). (em andamento).
- (42) BUGANA, G. O.. **Análise da expansão urbana da cidade de Bragança Paulista, SP**. Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (em andamento).
- (43) ALVES, B. S. J. N.. **Análise da expansão urbana da cidade de Lorena, SP**. Início: 2012. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Itajubá (em andamento).
- (44) GARGALHIONI, Saulo Roberly ; DUPAS, F. A. ; RODRIGUEZ-ARDILA, A.. **Previsão dos impactos causados por poluição luminosa com ênfase sobre sítios de observação astronômica e síntese da proposta de legislação nacional**. HOLOS Environment (Online), v. 12, p. 27-40, 2012 ^{JCR}.

- (45) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A. ; PONS, N. A. D.. **Urban sprawl, vacant land and green spaces dynamics on the metropolitan fringe of São Paulo, Brazil.** Journal of Urban Planning and Development ^{JCR}, ASCE, 2012 (no prelo).
- (46) SPERANDELLI, D. I. ; DUPAS, F. A.. **Dinâmica de expansão, áreas verdes e vazios urbanos na cidade de Atibaia (SP).** Geousp (USP), 2012. (no prelo).