

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO BOM JESUS  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:

SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO DA PAISAGEM

PEDREGULHO, SÃO PAULO

Eduardo Pagliaroni Menezes

São Paulo

2019

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA DO RIBEIRÃO BOM JESUS  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:

SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO DA PAISAGEM

PEDREGULHO, SÃO PAULO

Eduardo Pagliaroni Menezes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Colângelo

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação  
Serviço de Biblioteca e Documentação  
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

M534a Menezes, Eduardo Pagliaroni  
Análise da fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Bom Jesus utilizando técnicas de sistemas de informações geográficas: subsídios para o planejamento da paisagem - Pedregulho, São Paulo / Eduardo Pagliaroni Menezes ; orientador Antônio Carlos Colângelo. - São Paulo, 2019.  
100 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Geografia física. 2. Geomorfologia. 3. Análise ambiental. I. Colângelo, Antônio Carlos, orient. II. Título.

**MENEZES, E. P. Análise da fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Bom Jesus utilizando técnicas de sistemas de informações geográficas: subsídios para o planejamento da paisagem - Pedregulho, São Paulo.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Prof(a). Dr(a). \_\_\_\_\_ Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à minha namorada Lila, que sempre esteve ao meu lado incondicionalmente com companheirismo e amor infinitos.

Na minha família agradeço todos os meus tios e tias. Meus primos e primas. Agradeço em especial à minha tia Meire por ter sempre me apoiado a vida inteira. Meu pai e minha mãe por terem me colocado no mundo. Aos meus avós por me mostrarem o passado. Obrigado a todos.

Aos meus amigos de onde vim, e aos meus amigos de onde cheguei. Grande parte do que sei veio de nossas conversas. Vocês são o verdadeiro tesouro da vida, e a única coisa que vale a pena colecionar. Obrigado.

Agradeço a todos os meus professores e professoras. Mestres da vida, professores das ciências, das artes e da filosofia. A esses agradeço o novo par de olhos que me deram. Meu muito obrigado.

Agradeço ao meu orientador Colângelo, a paciência, a dedicação e a amizade que me foram dadas durante todo o processo de produção desta dissertação. Obrigado.

Agradeço ao meu professor Fábio por todas as dicas e ajuda para a conclusão deste trabalho.

À CAPES, pela concessão de bolsa que resultou nesta dissertação. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor não necessariamente refletem a visão da FAPESP ou da CAPES.

## Resumo

Esta dissertação tem como objetivo analisar as fragilidades ambientais diante das intervenções humanas na microbacia do ribeirão do Bom Jesus em Pedregulho - SP, uma área bastante representativa do processo de ocupação desordenada do Planalto Residual de Franca/Batatais por lavouras de café e cana. Como fundamento teórico-metodológico, adotou-se a proposta de Jurandyr Ross, de Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, baseada nos conceitos de Unidades Ecodinâmicas de Jean Tricart. O diagnóstico das fragilidades ambientais, sintetizado no Mapa de Fragilidade Potencial do Ambiente, baseou-se na correlação de três fatores de análise: o relevo, o solo e a cobertura vegetal/uso da terra. De forma geral, após a aplicação do modelo de Fragilidade Potencial dos Ambientes Naturais, a área foi classificada predominante com o grau "4 - Alto" de fragilidade, com 49% da área, principalmente na área Centro-Sudoeste e nos topos das colinas, onde há áreas mais íngremes e ao mesmo tempo com a cobertura vegetal removida e substituída por pastos ou plantações de café e cana, que expõe o solo à ação da erosão, além de intoxicarem o solo e os corpos d'água devido ao uso excessivo de fertilizantes químicos e agrotóxicos. Por fim, foram sugeridas práticas de conservação que podem minimizar ou controlar a degradação do ambiente.

## Abstract

This work aims to analyze the environmental fragility in the face of human interventions in the Bom Jesus stream watershed in Pedregulho - SP, an area that is quite representative of the disordered occupation process of the Franca / Batatais Residual Plateau for coffee and sugarcane crops. As a theoretical and methodological foundation, we adopted Jurandyr Ross's proposal of Empirical Analysis of the fragility of natural and anthropized environments, based on the concepts of Jean Tricart's Ecodynamic Units. The diagnosis of environmental weaknesses, summarized in the Environment Potential Fragility Map, was based on the correlation of three analysis factors: relief, soil and vegetation cover / land use. In general, after applying the Potential Fragility of Natural Environments model, the area was classified predominantly with the "4 - High" degree of fragility, with 49% of the area, mainly in the Center-Southwest area and on the tops of the hills, where there are steeper areas and at the same time with the vegetation cover removed and replaced by pastures or coffee and sugarcane plantations, which exposes the soil to the action of erosion, in addition to intoxicating the soil and water bodies due to overuse of chemical and pesticide fertilizers. Finally, conservation practices that can minimize or control environmental degradation have been suggested.

## Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 2: Procedimento de remoção dos "sinks" (SOBRINHO et al, 2010)..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 3: Procedimento de cálculo da direção de fluxo superficial (flow direction) utilizada pelo ArcGis 10.1 (ESRI, 2018)..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 4: Procedimento para o cálculo da acumulação de fluxo (flow accumulation) do ArcGis 10.1 (ESRI, 2018)..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 5: Exemplo de um corte de estrada com a exposição de Latossolo Vermelho, utilizados para a identificação dos solos na conferência de campo.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 6: Localização dos pontos de investigação em campo.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 7: Mapa geológico da microbacia do Bom Jesus**Erro! Indicador não definido.**

Figura 8: Afloramento de arenitos estratificados da Fm. Franca próximos ao topo da área, a sudoeste..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 9: Afloramento de basalto, em altitude de 850m, da Fm. Serra Geral no ribeirão do Bom Jesus ..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 10: Mapa de hierarquia fluvial do ribeirão do Bom Jesus**Erro! Indicador não definido.**

Figura 11: Mapa geomorfológico da microbacia do Bom Jesus**Erro! Indicador não definido.**

Figura 12: Mapa pedológico da área de estudos ..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 13: Mapa de cobertura vegetal e uso da terra .. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 14: mapa de fragilidade segundo o critério da declividade**Erro! Indicador não definido.**

Figura 15: Mapa de fragilidade pelo critério da cobertura vegetal e uso da terra. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 16: mapa de fragilidade ambiental utilizando a variável solos**Erro! Indicador não definido.**

Figura 17: mapa da fragilidade ambiental segundo os critérios de declividade combinado com o uso da terra ..... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 18: Mapa de fragilidade potencial da microbacia do ribeirão Bom Jesus.. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 19: Foto de área com classe “1 - Muito Baixa” localizada em fundo de vale**Erro! Indicador não definido.**

Figura 20: Basalto aflorando na parte central da microbacia hidrográfica. .... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 21: Transição entre uma plantação de café e uma mata galeria e arbustiva.**Erro! Indicador não definido.**

Figura 22: Pasto com algum pisoteio em média vertente**Erro! Indicador não definido.**

Figura 23: Plantação de café em média vertente. .... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 24: Plantação jovem de café, com o solo muito exposto**Erro! Indicador não definido.**

Figura 25: Morro de declividade muito alta com solo exposto por erosão em sulcos. .... **Erro! Indicador não definido.**

Figura 26: Plantação de café com o solo completamente exposto**Erro! Indicador não definido.**

Figura 27: Exemplo de erosão em sulcos presente em toda as estradas de terra**Erro! Indicador não definido.**

## **Lista de Gráficos**

Gráfico 1: Variação da precipitação média mensal histórica de 1974 a 2016 (DAEE, 2016). .... **Erro! Indicador não definido.**

Gráfico 2: Variação da precipitação anual e linha de tendência ao longo da série histórica de 1905 a 2002 (VIOTTO, 2007)..... **Erro! Indicador não definido.**

Gráfico 3: Distribuição da precipitação média mensal ao longo da série histórica de 1905 a 2002 (VIOTTO, 2007)..... **Erro! Indicador não definido.**

## Lista de Quadros

Quadro 1: Cartas topográficas utilizadas ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 2: Procedimentos metodológicos adaptados a Libaut (1971) (adaptado) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 3: Classificação da declividade em cinco dígitos proposta por Ross (1994) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 4: Descrição de alguns aspectos aferidos nos pontos em campo..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 5: Classes de declividade de acordo com o nível de fragilidade e a legenda do mapa de declividade ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 6: Classes de fragilidade dos solos de Ross (1994) (Adaptado) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 7: Grau de fragilidade da cobertura vegetal de Ross (1994) (Adaptado) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 8: Contexto geomorfológico regional (até o 4º táxon) da Microbacia hidrográfica do Ribeirão do Bom Jesus; adaptado de Ross (1991;1992) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 9: Legenda do mapa morfológico (VILLELA, 2005) (adaptado) **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 10: Quadro sintético de descrição dos parâmetros para análise da Fragilidade dos Ambientes. .... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 11: comprimento dos canais fluviais da microbacia do ribeirão Bom Jesus **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 12: Feições geomorfológicas e sua quantidade encontradas na microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 13: Tipos de uso da terra, a área e sua porcentagem em relação ao total **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 14: Fragilidade segundo o critério da declividade **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 15: Grau de fragilidade por tipo de cobertura vegetal, a área e a porcentagem em relação ao total..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 16: Grau de fragilidade dos tipos de solo, sua área e a porcentagem em relação ao total ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 17: matriz da combinação da fragilidade ambiental das variáveis declividade (primeiro dígito) e uso da terra (segundo dígito) ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 18: A área e a porcentagem do grau de fragilidade segundo critérios da declividade ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 19: matriz de fragilidade ambiental combinando as três variáveis ..... **Erro! Indicador não definido.**

Quadro 20: Classes de fragilidade, área e porcentagem do total **Erro! Indicador não definido.**

## Sumário

1. Introdução.....	3
1.1. A pesquisa .....	3
1.2. Objetivos .....	4
1.3. Justificativas.....	5
1.4. Localização da área de estudo.....	6
2. Fundamentação teórica .....	8
3. Materiais, métodos e técnicas .....	17
3.1. Materiais.....	17
3.2. Métodos .....	18
3.3. Procedimentos técnicos .....	20
3.3.1. Técnicas cartográficas.....	20
3.3.2. Técnicas de campo.....	23
3.4. Produtos gerados e suas orientações metodológicas .....	33
3.4.1. Mapa base .....	34
3.4.2. Mapa hipsométrico .....	34
3.4.3. Mapa de declividade .....	35
3.4.4. Mapa das unidades geológicas .....	36
3.4.5. Mapa de solos .....	36
3.4.6. Mapa de uso e cobertura da terra.....	37
3.4.7. Mapa do relevo .....	39
3.4.8. Mapa da fragilidade ambiental potencial .....	41
4. Resultados.....	43
4.1. Os componentes da paisagem e a caracterização da microbacia hidrográfica do Córrego Bom Jesus.....	43
4.1.1. Unidades geológicas e litologias.....	43
4.1.2. Relevo .....	47

4.1.2.1. Morfometria.....	48
4.1.2.2. Morfogênese e morfochronologia .....	50
4.1.2.3. Feições nas vertentes.....	50
4.1.3. Solos.....	53
4.1.4. Clima .....	56
4.1.5. Uso e cobertura da terra .....	58
4.2. A fragilidade ambiental potencial na Microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus.....	61
4.2.1. Fragilidade utilizando apenas a variável da declividade .....	61
4.2.2. Fragilidade utilizando apenas a variável uso da terra.....	64
4.2.3. Fragilidade utilizando apenas a variável solo .....	68
4.2.4. Fragilidade combinada das variáveis declividade e uso da terra.....	70
4.2.5. Análise integrada e a fragilidade potencial do ambiente.....	73
4.2.6. Discussão dos Resultados.....	83
5. Considerações Finais .....	87
6. Bibliografia .....	89
Anexo I .....	96

## **1. Introdução**

### **1.1. A pesquisa**

Desde o fortalecimento da questão ambiental no final do século XX, o desenvolvimento sustentável e a ecologia, popularizados em escala global após a conferência Rio-92, tornaram-se temas centrais na gestão do espaço (MEDEIROS, 2001). Dado o avançado estado de degradação ambiental que as atividades humanas causaram nos últimos séculos, a análise e planejamento do espaço levando em conta a inter-relação entre o meio físico-biótico (meio ambiente natural) e a sociedade (o fator humano), tornou-se necessária para qualquer análise do meio ambiente (ROSS, 1990; 1994; 1995).

Essa necessidade de perceber os sistemas ambientais, e suas complexidades, para compreender a paisagem, e, assim, interferir no meio de forma mais harmoniosa e sustentável, tornou-se vital para que o ser humano consiga sobreviver, e que não tenha o meio ambiente natural, e, por consequência, a si mesmo, prejudicado.

Ao pensar a ocupação de uma área, é fundamental perceber a paisagem levando em consideração os diversos sistemas que a compõe, elaborando uma análise e uma síntese da área. A abordagem geográfica de diagnósticos ambientais utiliza dessa síntese do ambiente para elaborar prognósticos que levam em conta as potencialidades naturais e humanas e a fragilidade ambiental dos sistemas ambientais (ROSS, 1995).

O planalto de Franca, no estado de São Paulo, é uma área de interflúvio em forma de cuesta com marcante contraste entre as escarpas íngremes e as colinas suaves com longas vertentes. Nas escarpas, rios ortogonais são drenados pela bacia hidrográfica do Rio Grande; no reverso da cuesta, rios cataclinais seguem o suave abatimento divergindo do planalto em direção a oeste, para os rios do Carmo e Sapucaí, que são grandes tributários do Rio Grande.

Nessa região se encontra a microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus, no município de Pedregulho - SP, que foi escolhida para a pesquisa desta dissertação. A área é muito familiar para este pesquisador, que cresceu no lugar. Por isso, sempre

houve o deslumbre diante das vastas colinas e o assombro causado pelas imponentes escarpas que se abriam para o imenso vale do Rio Grande.

Ao longo do processo de ocupação da região, a área da microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus vem sendo palco de diversas atividades, com destaque para o café, representando neste contexto, um bom exemplo da realidade da porção nordeste do estado de São Paulo. O modelo de cultivo do café utilizado no Brasil desde o século XIX caracteriza-se pelo monocultivo a pleno Sol de grandes lavouras, com a prática de derrubada das matas nativas. Por isso, essa cultura causou grandes impactos socioambientais onde foi aplicada, com destaque ao desmatamento da Mata Atlântica e Cerrado, a perda da biodiversidade, a perda dos recursos hídricos pela destruição das matas ciliares e assoreamento, empobrecimento e perda do solo, envenenamento do solo e da água por fertilizantes e agrotóxicos, entre outros (AB´SABER, 1964; LOPES et al, 2014).

Neste contexto de área transicional, e com grandes impactos humanos, várias dúvidas são levantadas: qual a diferença da intensidade dos processos morfodinâmicos de acordo com as diferentes formações geológicas? Como os processos morfodinâmicos atuam sobre o basalto que possui lentes de arenitos, geodos e diferentes níveis de quartzo em sua composição? Como a alteração da cobertura vegetal ao longo do tempo afetou a intensidade dos processos morfodinâmicos? Quais áreas sofreram ou sofrem erosão acelerada, e quais as áreas mais suscetíveis à ação desse processo no futuro?

A busca pelas respostas foi amparada pelas contribuições que a Geomorfologia traz enquanto conhecimento específico, sistematizado, e a partir do qual podemos chegar à compreensão de como os processos naturais e antrópicos, passados e presentes, atuantes nos elementos constituintes da paisagem que modelam (ROSS & MOROZ, 1996; TRICARD, 1977) podem sinalizar as fragilidades do ambiente. Entre eles está o modelo de Fragilidade Potencial dos Ambientes Naturais de Ross (1994), que foi selecionado como norteador teórico-metodológico desta pesquisa.

## **1.2. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é compreender o estado de fragilidade ambiental da microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus, em Pedregulho, SP, aplicando

modelos que permitem mensurar esses cenários a partir da inter-relação de componentes da paisagem, com destaque para elementos do relevo, e, conseqüentemente, dos processos morfodinâmicos. Nessa perspectiva, trata-se de realizar um diagnóstico ambiental da microbacia hidrográfica em questão que possa fornecer subsídios que auxiliem o planejamento territorial da área. Assim como um raio-x é um diagnóstico por imagem de um ser vivo, o mapa produzido será uma espécie de raio-x da área, exibindo o diagnóstico da situação ambiental da área.

Os objetivos específicos são:

- Produção dos produtos primários (mapas de declividade, solos e geologia).
- Produção dos produtos intermediários (mapa geomorfológico e de uso da terra).
- Relacionar os produtos primários e intermediários para a confecção do mapa de Fragilidade Potencial da microbacia hidrográfica do Bom Jesus em escala 1:10.000.

### **1.3. Justificativas**

Este trabalho justifica-se pela necessidade de uma relação harmoniosa entre as atividades humanas e o meio ambiente. Há a necessidade de se conhecer a paisagem e suas características para que esse conhecimento guie essa relação entre natureza externa e o ser humano. Por isso o interesse pela área de estudo, pois a população residente relaciona-se diretamente com o meio natural, dependendo do aproveitamento das águas e dos solos.

Esse ribeirão é um importante recurso da região. Ele serve de reservatório de água e fonte para a irrigação para várias fazendas que estão no seu curso. Também é um afluente que deságua na represa da usina hidrelétrica da Jaguará, no Rio Grande. No entanto, apesar de sua importância social e ambiental, a intensa ocupação da região provocou a remoção quase total da vegetação original impactando de forma grave o equilíbrio dinâmico que havia na área. O extrato original foi substituído por plantações de café, pastos e construções, o que modificou enormemente a dinâmica do sistema.

Os importantes recursos vitais da microbacia hidrográfica, como a água e o solo, podem sofrer um processo de degradação (erosão acelerada dos solos,

assoreamento dos canais fluviais, movimentos de massa, etc.) se os limites de suas características não forem respeitados. Portanto, os estudos geomorfológicos ajudam a entender e orientar intervenções no meio, ao analisar as características físicas do relevo, identificando as áreas mais ou menos estáveis do ponto de vista da morfodinâmica.

#### 1.4. Localização da área de estudo

A área de estudo é uma parte da bacia hidrográfica do Ribeirão Bom Jesus, localizado sob as coordenadas  $20^{\circ}15'59.00''\text{S}$  e  $47^{\circ}24'24.16''\text{W}$ , às margens da estrada vicinal do Taquari, município de Pedregulho-SP, sendo que o município é cortado pela Rodovia Cândido Portinari (SP-334) (**Figura 1**). É uma sub-bacia hidrográfica de quinta ordem e, a nível regional, o ribeirão Bom Jesus faz parte da bacia hidrográfica do Rio Grande, que marca a divisa dos estados de São Paulo e Minas Gerais.

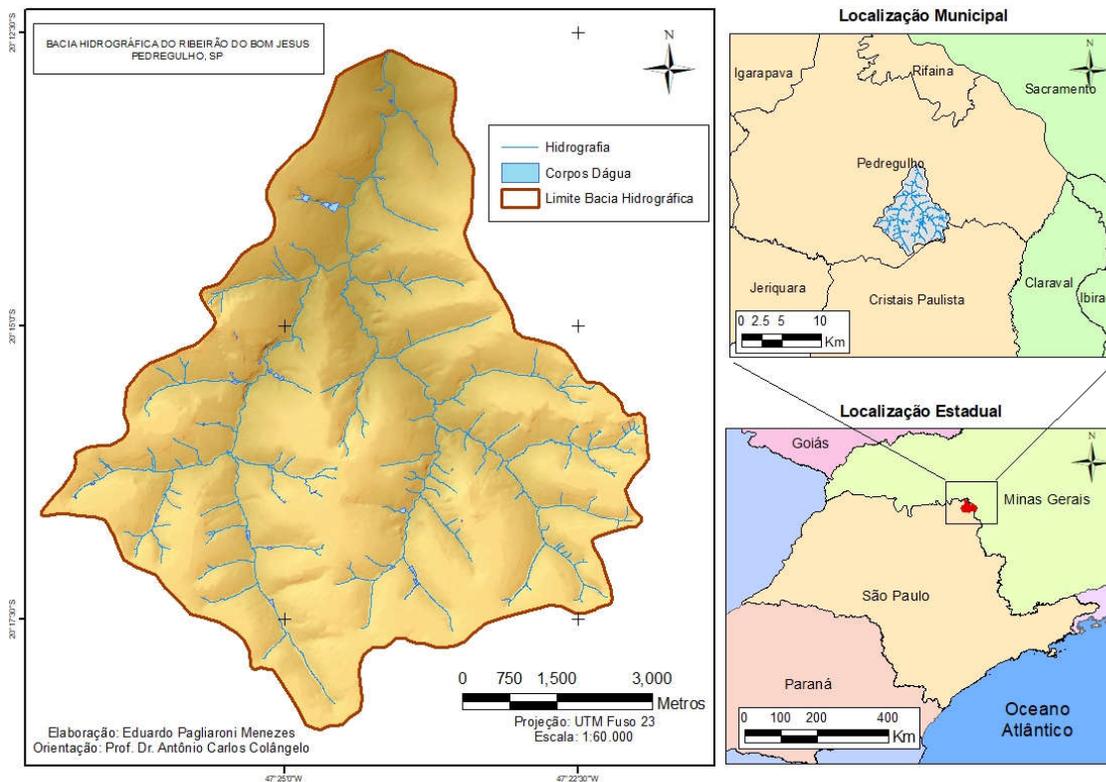


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Com área total aproximada de 48 Km<sup>2</sup>, calculada a partir de base cartográfica do Instituto de Geografia e Cartografia (IGC) de São Paulo (1992), a microbacia hidrográfica em estudo é delimitada ao norte e oeste por divisores topográficos das escarpas, enquanto que ao sul o limite são os interflúvios onde a rodovia Cândido Portinari (SP-334) traça suas linhas e a leste a estrada municipal do Estreito. A microbacia hidrográfica é constituída predominantemente por área rural, cuja utilização da terra varia desde cultivos de lavouras permanentes (principalmente café), anuais (cana), silvicultura (pinus e eucalipto), pomares, pastagens, cerrado degradado até matas galerias.

## 2. Fundamentação teórica

A preocupação central desta pesquisa é uma análise ambiental, um diagnóstico da área e para isso, utilizaremos o modelo de Fragilidade Potencial dos Ambientes de ROSS (1994), adaptado para a área, que visa orientar a ocupação humana da microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus. Assim, o alicerce teórico que sustenta este trabalho passa pela pesquisa geográfica, pesquisa geomorfológica, da Teoria dos Sistemas, dos Geossistemas, da Teoria Ecodinâmica, do modelo de Fragilidade dos Ambientes e da cartografia em ambiente GIS.

A análise da paisagem é um tema de pesquisa recorrente da ciência da Geografia. As paisagens são formadas pela relação entre seus elementos como o relevo, o clima, a geologia, os solos, a vegetação, a fauna e o ser humano. Ab´Saber (2012) destaca que a paisagem é uma herança de processos fisiográficos e biológicos que ali atuaram. Grosso modo, o processo de evolução da paisagem se dá com a base geológica sofrendo influência do clima e da gravidade ao longo do tempo, que erodem fisicamente e quimicamente as rochas, esculpindo as formas do relevo, ao mesmo tempo que os solos são produzidos, que dão suporte a flora e fauna.

Outro autor que destaca a característica de interação entre os elementos da paisagem é BERTRAND (1971). Para o autor a Paisagem é como resultado da combinação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, tendo sua análise dependência da escala têmporo-espacial. Esta noção concebe funcionalidade sistêmica e de interdependência entre os elementos que compõem a paisagem. TROPMAIR (2006) também destaca a dinâmica da paisagem, incluindo o potencial transformador do ser humano.

Além das formas, a *dinâmica do relevo*, em outras palavras, como ele se comporta ao longo do tempo, é um importante fator condicionante do uso das paisagens pelos seres humanos. Ou seja, é sobre o relevo que as sociedades se estabelecem e realizam suas atividades, como o cultivo, que dependem da sua estabilidade. Isso evidencia a importância das investigações sobre o tema geomorfológico para o planejamento da ocupação territorial.

Por consequência, para produzir uma boa representação da realidade é necessária uma análise integrada dos elementos que constituem a paisagem, realizando um

trabalho de investigação que destaque os processos que ocorrem entre os elementos constituintes da paisagem ao longo do tempo.

Um exemplo de abordagem integrada da paisagem é a teoria do estrato geográfico de (GRYGORIEV, 1969 apud ROSS, 1995). Para o autor, o estrato geográfico da Terra compreende: a crosta, a baixa atmosfera (troposfera e parte da estratosfera), a hidrosfera, o regolito (manto de intemperismo), a cobertura vegetal e o reino animal. Todos os processos que acontecem entre esses elementos são devido às fontes de energia cósmica e terrestre. Em relação a energia cósmica, ou externa, a maior fonte de energia é o Sol, emanada em forma de radiação térmica; já a energia interna é gerada pela emissão de radiação térmica produzida pelo decaimento de elementos no interior terrestre e o resto do calor originado nos impactos da formação do planeta. Por exemplo, o Sol aquece a atmosfera e a água do planeta, mantendo-a líquida; ao mesmo tempo que energias internas do planeta podem agir com movimentos tectônicos. Tudo isso influencia o clima, que, por sua vez, influencia todo o resto do estrato geográfico.

Os diferentes processos entre os elementos do estrato geográfico dão origem a ambientes dotados de uma dinâmica própria, ou sistemas ambientais. Assim, os sistemas ambientais são entendidos como espaços territoriais que guardam um certo grau de homogeneidade fisionômica e dinâmica (ROSS, 1994). Esses sistemas se evidenciam ao olhar humano principalmente pelas formas do relevo e vegetação, ou seja, a rugosidade do relevo e o tipo e densidade da cobertura vegetal da área.

O estudo comparativo dos sistemas ambientais nos leva à um melhor entendimento de como os diferentes sistemas, e suas diversas configurações, reagem à entrada ou à saída de energia. Assim, poderemos produzir conhecimentos que nos auxiliem nas tomadas de decisões em relação a ocupação e organização do espaço, baseadas, principalmente, no comportamento do relevo, concomitantemente com objetivo de sempre minimizar a degradação ambiental das áreas com ocupação humana.

Dentro dos estudos integrados da paisagem, temos como um dos principais elementos de estudo o modelado do relevo. O relevo é um fator essencial na ocupação humana, pois sua declividade influencia os fluxos superficiais e subsuperficiais da água, a estabilidade das encostas e, por consequência, importantes atividades, como

a mecanização da agricultura, construções, plantações, etc.

A ciência que trata da gênese e evolução das formas de relevo é a Geomorfologia, que Ross & Moroz (1996) definiram como um alicerce elementar da investigação Geográfica, pois tem suas bases conceituais nas ciências da terra, mas com forte relação com as ciências humanas, na medida em que serve como suporte para o entendimento dos ambientes naturais, que é o espaço onde as sociedades se estruturam, extraem recursos para a sobrevivência e organizam o território.

A evolução do relevo é um tema estudado há muito tempo e há várias teorias tentando explicar os processos atuantes em sua dinâmica. Questões de como são esculpidos os vales, como são formadas as colinas e escarpas ou de como as vertentes irão se comportar são dúvidas frequentes na mente dos pesquisadores.

Dentro da pesquisa geomorfológica, a escola anglo-americana pós-davisiana (da metade do Séc. XX) teve grande influência nos trabalhos de pesquisa realizados nos EUA, Europa e Brasil. Essa escola foi marcada por uma tendência teórica fundamentada na Teoria Geral de Sistemas e no processo de quantificação dos fenômenos naturais. Nas palavras de Tricart (1977), “O conceito de sistema é, atualmente, o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente”. Já que, uma vez conhecida a estrutura do sistema, a medição dos fluxos e os processos decorrentes pode trazer a luz o funcionamento dos fenômenos naturais.

A Teoria dos Sistemas ou Teoria Geral dos Sistemas (TGS) foi criada em 1968 pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy. Tornou-se um amplo campo teórico e conceitual utilizado em diversas ciências. É baseado na dinâmica dos sistemas que, colocado aqui de maneira muito resumida, é a ideia de uma entidade que seja originada das interações entre seus elementos (BERTALANFFY, 1968).

Por sua vez, Tricart (1977) define um sistema como um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Desses fluxos originam-se relações de interdependência entre os fenômenos, que afetam uns aos outros. Dessa forma, a modificação de algum elemento do meio ambiente desencadeia reações em outros elementos, no caso desta pesquisa - o relevo.

As ideias de Sotchava (1977) sobre os Geossistemas vão nessa mesma linha de raciocínio, ao propor que a investigação da natureza deveria se dar pela análise da relação entre os elementos naturais com a inclusão do ser humano. Já Monteiro (1996) destaca que os elementos socioeconômicos humanos - além dos físicos, químicos e biológicos - estão incluídos no funcionamento dos geossistemas e todos devem ser analisados em conjunto. Troppmair (2006) destaca que a visão holística é de importância fundamental para o planejamento correto da utilização e organização do espaço na ciência geográfica. Por sua vez, Vilella (2011) diz que o geossistema possibilita a generalização dos atributos da área e o estabelecimento de classes baseados em tipos fisionômicos. Portanto, o conceito de geossistema é perfeito para o estabelecimento de classes que indiquem a potencial fragilidade de uma área.

O relevo, visto como parte de um sistema, mantém constante troca de energia e matéria com os demais sistemas terrestres, em estado de equilíbrio dinâmico. O princípio básico da teoria do Equilíbrio Dinâmico (HACK, 1975) é o de que o relevo é um sistema aberto, mantendo constante troca de energia e matéria com os demais sistemas terrestres (atmosfera, hidrosfera e biosfera) estando condicionado à resistência litológica. Sendo assim, o modelado é o resultado de uma competição entre a resistência dos materiais da crosta terrestre e o potencial das forças de denudação<sup>1</sup> (CASSETI, 2005). Em outras palavras, a noção de equilíbrio é considerada numa perspectiva sistêmica como o resultado do comportamento balanceado entre os processos morfogenéticos e a resistência das rochas (CHRISTOFOLETTI, 1972).

Portanto, as formas não são estáticas pois sempre há energia entrando e agindo sobre os materiais (rochas e solos) que possuem resistências diferentes. Essa energia podem ser, por exemplo, em forma de calor, de movimento da água, do transporte de materiais, de intervenções humanas, etc. Toda alteração na entrada de energia promove uma resposta no restante do sistema. Assim, no caso da geomorfologia, os elementos morfológicos tendem a se ajustar em função das modificações impostas, seja pelas forças tectônicas, ou pelas alterações mudanças climáticas, ou mesmo por intervenções antrópicas (o que se tornou muito comum com o aumento da capacidade

---

<sup>1</sup> A denudação é considerada como todo o trabalho de erosão tanto química, quanto física. (CASSETI, 2005)

do ser humano de alterar o ambiente utilizando a tecnologia).

Assim, para a análise da área desta pesquisa, o relevo é levado em conta como parte de um sistema maior, que tem interação constante entre seus elementos no qual os processos de entalhamento e deposição acontecem concomitantemente. Por exemplo, a remoção de vegetação pode acelerar a erosão de certas áreas, ou excesso de chuvas podem causar movimentos de massa, etc. A mudança na quantidade de energia que entra, altera os outros elementos da paisagem, em um efeito dominó.

Por causa da capacidade do ser humano em alterar o ambiente, devemos orientar as investigações sobre a dinâmica ambiental incluindo a influência das atividades antrópicas na paisagem estudada, o que é chamado de Ecogeografia (TRICART & KILLIAN, 1982). Ao colocar o ser humano como parte integrante da paisagem, o estudo ecogeográfico capacita demandas de uso racional da terra começando pelo entendimento físico da intervenção humana sobre a sensibilidade do ambiente envolvido.

Essa preocupação nos leva a refletir sobre a ocupação humana da área, pois o planejamento da ocupação humana da paisagem deve ser baseado no reconhecimento das potencialidades e fragilidades dos fatores físicos, biológicos e antrópicos que compõem o meio ambiente. Assim, esta pesquisa envolve a análise das interações entre os componentes do estrato geográfico, em especial o relevo, o solo e o uso da terra.

A abordagem integrada dos elementos da paisagem pode ser utilizada para enfrentar os problemas ambientais, principalmente em uma microbacia hidrográfica, pois a bacia hidrográfica, ou de drenagem, são subsistemas hidrológicos onde é possível analisar de forma mais simples o balanço hídrico e os fenômenos decorrentes desses fluxos de energia (SPÖRL & ROSS, 2004). Por sua vez, Christofolletti (1999) considera a bacia hidrográfica uma unidade integrada que possibilita o estudo das variáveis que compõe o subsistema, através de análises do comportamento e alterações da dinâmica dentro dos limites da microbacia hidrográfica. Por utilizar a drenagem como delimitação a bacia tem vantagem sobre outros atributos que seriam imprecisos, como uma divisão por vegetação ou clima (GUERRA et al, 2009).

Para TRICART (1977) o componente mais importante da dinâmica da superfície terrestre é o morfogênico. A morfodinâmica depende do clima, da topografia e do material rochoso. A estabilidade da superfície é importante para os seres humanos pois ela é necessária para o desenvolvimento das atividades da sociedade. Sendo assim, é necessário estabelecer uma taxonomia dos tipos de estabilidade dos geossistemas fundada no seu grau de estabilidade morfodinâmica.

Para Tricart (Op. Cit.), o enfoque na dinâmica deve ser o ponto de partida da avaliação, devendo guiar a classificação no nível taxonômico mais elevado. Seguindo este pensamento, ele desenvolveu o conceito de Unidades Ecodinâmicas que são setores classificados segundo sua morfodinâmica. A morfodinâmica é a relação de intensidade entre os processos de morfogênese e pedogênese. Ele classificou os meios morfodinâmicos em três grandes tipos:

**Meios estáveis:** a pedogênese predomina sobre a morfogênese. Nesse meio o modelado evolui lentamente, pois os processos mecânicos são lentos. Os fluxos de matéria e energia tem sua relação em equilíbrio dinâmico, sem impactos acelerados no meio ambiente

**Meios *intergrade*:** o balanço da morfogênese e pedogênese é mais equilibrado. Estágio intermediário entre o Meio Estável e o Instável. Os meios *intergrade* são suscetíveis à instabilidade devido a modificações nos fluxos de energia e matéria.

**Meios instáveis:** a morfogênese é predominante. Fluxos acelerados de energia e matéria podem interromper a pedogênese, que necessita de relativa estabilidade para seus processos ocorrerem. Pode ser um poderoso indicador de presença da ação antrópica.

Seguindo nessa mesma linha de análise da estabilidade do relevo, ROSS (1992, 1994) define as unidades ambientais em relação à influência antrópica. A classificação da fragilidade do ambiente proposta pelo autor é obtida a partir da análise do relevo, solos e uso e cobertura da terra e sua sistematização. Avalia-se a morfologia do relevo através do mapa geomorfológico, a morfometria através das classes de declividade, a suscetibilidade de cada tipo de solo à erosão e, por último, o grau de proteção pelo uso e cobertura da terra. O modelo de Fragilidade Potencial dos Ambientes Naturais propõe que cada uma destas variáveis seja hierarquizada em cinco classes de acordo

com sua vulnerabilidade. Assim, as variáveis mais estáveis do ponto de vista morfodinâmico (predomínio da pedogênese) apresentam valores mais próximos de 1,0, as intermediárias ao redor de 3,0 (meios *intergrade*) e as mais vulneráveis estarão próximas de 5,0 (predomínio da morfogênese).

Os fenômenos da morfogênese desencadeiam na área de estudos processos erosivos. A erosão em sentido amplo é a remoção da cobertura superficial e subsuperficial do solo e pode ser natural ou acelerada por intervenção antrópica. Na área foram encontradas as seguintes formas de erosão (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985; BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993; GUERRA et al, 2009; VILLELA, 2011; SANTOS et al, 2013):

- Coluvionamento: é o depósito de material das vertentes nas áreas mais rebaixadas da microbacia hidrográfica por causa da diminuição da capacidade do fluxo hídrico de carregar partículas de minerais desagregados.
- A erosão laminar: É causada pelo escoamento difuso da água da chuva, que remove os horizontes superficiais do solo. Mesmo que não seja visivelmente significativa, pode provocar a perda de nutrientes que posteriormente favorece o transporte de partículas por causa da diminuição dos coloides do solo. Os coloides são responsáveis pela coesão das partículas do solo, devido as suas propriedades físico-químicas.
- Erosão em sulcos: É causada pelo fluxo hídrico concentrado que remove material e cria incisões verticais no solo. Podem ser causadas pelo pisoteio de gado, que impermeabiliza o solo, concentrando seu fluxo em áreas convexas, iniciando o processo de erosão acelerado. Sulcos e ravinas são, em geral, diferenciados pela profundidade da erosão linear em forma de canal, originada pelo escoamento concentrado pelas águas superficiais; trata-se de ravinas quando o canal formado não pode ser obliterado por operações normais de preparo do solo (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1966 apud GUERRA, 2009)
- Movimentos de massa: são movimentos induzidos pela aceleração gravitacional, geralmente associados a setores de declividade acentuada. Além de movimentos recentes, podem, também, serem encontradas na paisagem como cicatrizes de eventos antigos.

Esses fenômenos de morfogênese devem estar em destaque nos estudos da fragilidade ambiental pois as formas da superfície com suas concavidades e convexidades concentram ou difundem os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, e revelam as tendências de direção e força dos fluxos hídricos. Por isso, a carta geomorfológica é um produto intermediário na análise da fragilidade dos ambientes, e para ser confeccionada deve apresentar quatro níveis de abordagem. Para isso, devem ser anotados a morfometria (altimetria, dimensões, desníveis, extensões); a morfologia (formas do perfil, concavidades, convexidades, retilineidades, rupturas, topos, fundos de vale, etc.); a gênese (degradação ou agradação); e a cronologia relativa (idade relativa das formas, datação absoluta) (ROSS, 1994).

De acordo com Santos & Vitte (1998) o termo fragilidade tem sido citado com frequência na geografia física, aliado normalmente como “fragilidade do meio físico”. A fragilidade está ligada a “susceptibilidade a algo”. No caso do meio físico, está ligada às causas dos desequilíbrios, que podem ter origens diversas, como forças tectônicas e variação climática, mas que em tempos recentes é frequentemente relacionada com intervenções humanas no meio. Podemos criticar o termo “fragilidade” que aparentemente coloca o meio ambiente como algo “fraco”, “débil”, no entanto o termo, ao nosso entendimento, quer dizer que o equilíbrio dinâmico dos meios naturais é delicado e complexo, podendo sofrer graves impactos se não forem levados em conta pela sociedade que os ocupa.

A perspectiva metodológica desenvolvida por Ross (1994) foi amplamente utilizada em bacia hidrográficas como instrumento de planejamento e gestão ambiental, como por exemplo nos estudos de Amaral, 2009; Kawakubo, 2005; Spörl, 2004 e 2011; Spörl e Ross, 2004 e Vilella, 2011; A grande contribuição dos modelos de fragilidade ambiental é proporcionar maior agilidade no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, tentando evitar problemas de ocupação desordenada, procurando agir com um viés conservacionista (SPORL, 2011).

Para a combinação de tantas informações georreferenciadas o geoprocessamento é uma ferramenta imprescindível. É um fato notório a evolução das tecnologias de

sensoriamento remoto e dos softwares de processamento de dados a partir da segunda metade do Séc. XX. O processamento de muitas camadas e a possibilidade de cálculos avançados com dados georreferenciados passou a permitir, com relativa facilidade, a combinação dos elementos das mais variadas formas com rapidez e precisão.

Em virtude dessa versatilidade, Santos (2006) destaca que os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), na análise integrada dos dados do meio físico e social, tem sido usado por vários setores que tratam da questão ambiental como importante ferramenta para o planejamento ambiental.

Por esse motivo a integração cartográfica espacial dos SIGs pode ser usada para a combinação dos elementos de forma a adicionar, subtrair, recombinar ou separar dados, sejam eles biológicos, físicos ou socioeconômicos (como as potencialidades para a ocupação de uma unidade mapeada) de forma a facilitar a análise integrada de uma área e sua evolução ao longo do tempo (MIRANDOLA, 2005).

### 3. Materiais, métodos e técnicas

#### 3.1. Materiais

Para realizar os levantamentos de dados e as interpretações dos resultados foram necessárias a utilização dos seguintes materiais:

##### I. Base cartográfica:

- Folhas topográficas do IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico em escala 1:10.000, com curvas de nível equidistantes de 5m de um levantamento realizado em 1992 (**Quadro 1**).

SF-23-V-A-II-3-NO-B	Córrego São João
SF-23-V-A-II-3-NE-A	Serra da Faquinha
SF-23-V-A-II-3-NO-D	Ribeirão da Água Limpa do Indaiá
SF-23-V-A-II-3-NO-A	Pedregulho II
SF-23-V-A-II-1-SO-F	Parque Ecológico do Bom Jesus
SF-23-V-A-II-1-SO-E	Ribeirão do Bom Jesus

Quadro 1: Cartas topográficas utilizadas

##### II. Imagens de satélite:

- Imagens do Satélite Geoeye II com data de 10/06/2015 com resolução espacial de 30cm por pixel.

##### III. Equipamentos:

- 1 computador;
- Softwares Windows 10, ArcGis 10.1 e Inkscape.

##### IV. Apoio bibliográfico

- Bibliografia utilizada para fundamentação teórico-metodológica: Ab´Saber (1956, 1975, 2012), Bertoni & Lombardi-Neto (1993), Casseti (2005), Christofolletti (1972, 1981, 1999), Queiroz Neto (2003), Ross (1991, 1992, 1994, 1995, 2006) Spörl (2001, 2004) Spörl et al (2011), Tricart (1977) e Tricart & Killian (1992), entre outros.

- Bibliografia sobre a área de estudo: Ab´Saber (1975), Canil (2000), Endres (2006), Menezes (2014), Hellmeister Jr. (1997), Viotto et al (2007) E Villela (2005), entre outros.

## V. Trabalhos de campo

Nos levantamentos de campo, foram utilizados aparelho de GPS modelo Garmin – GPSmap 60CSx para georreferenciamento das informações observadas, escavadeira manual, enxadão, canivete, martelo sedimentológico, máquina fotográfica, galões d'água e locomoção feita em automóvel.

### 3.2. Métodos

Os procedimentos operacionais dos estudos sobre a fragilidade ambiental dos ambientes passam obrigatoriamente pelos serviços de gabinete e levantamentos de campo, a partir dos quais foram gerados os produtos cartográficos primários, que são os mapas temáticos de declividade, geologia e pedologia. Em seguidas, foram confeccionados os produtos intermediários, como os mapas de geomorfologia e de cobertura vegetal e uso da terra. A análise combinada desses dados deu origem à um mapa de fragilidade ambiental potencial.

Para a realização de todas os procedimentos foram necessárias uma série de atividades. Essas atividades foram listadas, descritas e ordenadas de acordo com a metodologia da pesquisa de Libault (1971) (**Quadro 2**):

Procedimentos	Níveis Metodológicos
I - Escolha da área de estudos	Compilatório
II - Levantamento de dados	
III - levantamentos de campo	
IV - Produtos Básicos	Correlativo
V - Produtos intermediários	
VI - Produtos finais	Semântico/Normativo

Quadro 2: Procedimentos metodológicos adaptados a Libaut (1971) (adaptado)

#### I. Escolha da área de estudo

A escolha da área de estudos foi feita devido a motivações do pesquisador, pessoais

e acadêmicas, em compreender a dinâmica da área em planaltos areníticos-basálticos, e a acessibilidade do material bibliográfico e cartográfico disponível.

## **II. Levantamento de dados**

Levantamento de dados bibliográficos e cartográficos. Os dados bibliográficos incluem a literatura mais importante e atual sobre geomorfologia encontradas em livros, artigos, teses e dissertações. Os dados cartográficos incluem mapas digitais, impressos e imagens de satélite. Os dados foram processados para a confecção do mapa base e dos mapas temáticos.

## **III. Levantamentos de campo.**

Nesta etapa também foram feitos os procedimentos de campo com os objetivos de conferência dos dados cartográficos já obtidos, e sua correção caso necessário; também foram feitos os reconhecimentos das características geológicas, pedológicas, geomorfológicas, feições erosivas, depósitos de sedimentos e da cobertura vegetal da área.

## **IV. Produtos básicos**

Nesta fase da pesquisa as informações do meio físico foram usadas para a confecção dos produtos primários: os mapas temáticos de hipsometria, declividade, geologia e solos.

## **V. Produtos intermediários**

Produção do mapa geomorfológico e de uso da terra

## **VI. Combinação dos produtos básicos e intermediários**

Combinação das informações contidas nos mapas de declividade com o uso da terra, e depois a combinação desse mapa com o de solos.

## **VII. Produtos finais**

Confecção do mapa de fragilidade ambiental, redação da dissertação e de um artigo científico.

### 3.3. Procedimentos técnicos

Nesse item são apresentadas as técnicas utilizadas durante as etapas de gabinete e campo para a realização da pesquisa:

#### 3.3.1. Técnicas cartográficas

Para a confecção do mapa base foram utilizadas técnicas de geoprocessamento que envolvem a vetorização da informação conseguida nos mapas topográficos em pranchas (ou layers) diferentes para cada tipo de informação. Uma margem de segurança com um *buffer* de 500 m além da área de estudo foi vetorizada para que os cálculos realizados pelo software Arcmap 10.1 fossem feitos de forma correta, como indica Sobrinho et al (2010) e Oliveira et al (2010).

Primeiramente foi criado um layer (ou camada) com todas as curvas de nível que em seguida foi utilizada para gerar um TIN (*Triangular irregular network*), que é uma representação 3D da topografia criada em uma malha triangular de vértices.

Em seguida o TIN foi transformado em um raster (imagem baseada em pixels e não em vetores), onde cada pixel apresenta a resolução de 1 m e possui em suas propriedades a altimetria daquele pixel em relação ao nível do mar. Este raster foi processado por diversas ferramentas para a delimitação da área da microbacia hidrográfica seguindo os preceitos de Sobrinho et al (2010):

**Fill sink** (preenchimento de depressões): Esta ferramenta preenche pixels que se encontram em altimetria muito diferente dos pixels que o circundam, os chamados “sinks” (“pias” ou “cubas” em inglês) (**Figura 2**). A correção dessas anomalias é essencial, pois esses valores incorretos podem gerar erros nos cálculos durante a aplicação de modelos hidrológicos.

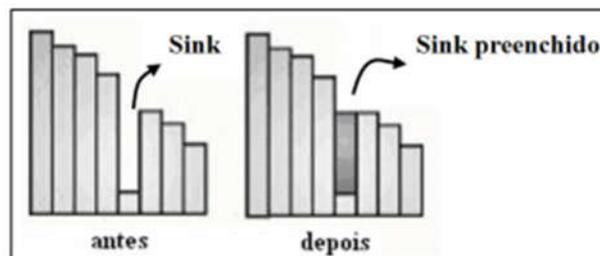


Figura 2: Procedimento de remoção dos "sinks" (SOBRINHO et al, 2010)

**Flow direction** (direção do fluxo): Essa ferramenta calcula a relação entre a altimetria de cada pixel e seus vizinhos, gerando uma nova grade que mostra a direção do fluxo superficial da água nas vertentes (**Figura 3**).

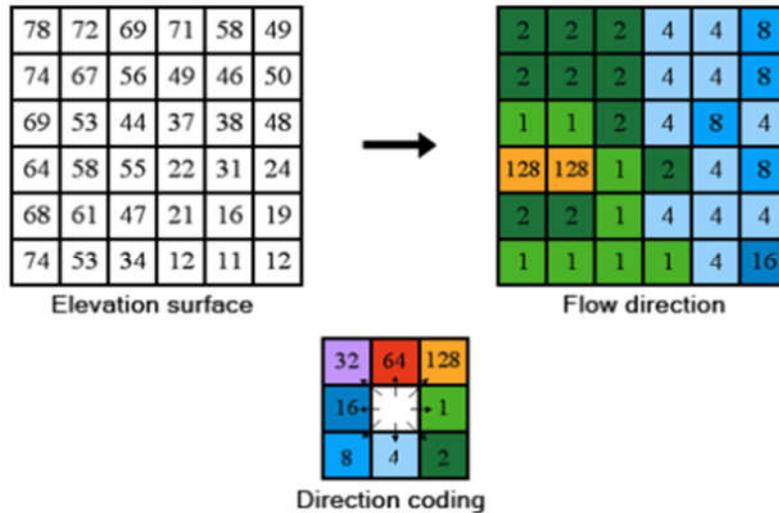


Figura 3: Procedimento de cálculo da direção de fluxo superficial (flow direction) utilizada pelo ArcGis 10.1 (ESRI, 2018)

**Flow accumulation** (acumulação do fluxo): O software calcula quanto cada pixel está recebendo de drenagem dos outros pixels que estão a montante. Por consequência, o raster gerado mostrará a rede hidrográfica, e esta nova grade contém o valor de acúmulo da água que cada pixel recebe (**Figura 4**).

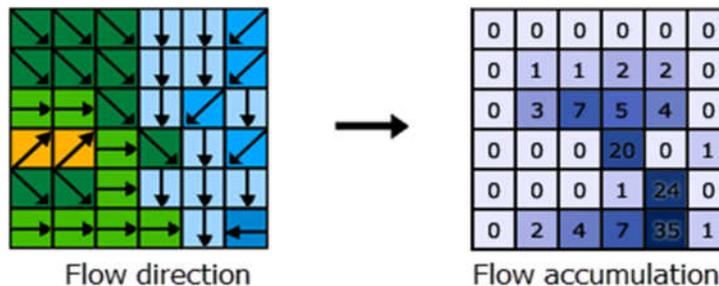


Figura 4: Procedimento para o cálculo da acumulação de fluxo (flow accumulation) do ArcGis 10.1 (ESRI, 2018)

**Watershed** (microbacia hidrográfica): essa ferramenta combina os rasters de *flow direction* e *flow accumulation* para delimitar microbacia hidrográficas de forma automática. A partir de um ponto escolhido como ponto de confluência da microbacia hidrográfica, o software calcula qual a área em que a drenagem direciona os fluxos para esse ponto escolhido. No caso desta pesquisa, o ponto escolhido foi a borda da escarpa, pois a microbacia hidrográfica utilizada para esse estudo se localiza inteiramente sobre o reverso da cuesta.

A partir da delimitação da microbacia hidrográfica de drenagem, o raster foi cortado com a ferramenta “clip” e as áreas além da microbacia hidrográfica foram removidas. Esse novo raster, recortado e com os valores de altitude, deu origem ao mapa base e ao mapa hipsométrico.

**Slope:** o raster com o atributo hipsométrico foi utilizado para gerar o mapa de declividade através da ferramenta *slope* que calcula o ângulo entre os pixels de diferentes altitudes mostrando a inclinação da vertente.

Após gerado o mapa de declividade, as classes de declividade foram reclassificadas em apenas um dígito (**Quadro 3**).

<b>Classes de declividade</b>	<b>Dígito</b>	<b>Declividade</b>
Muito Fraca	1	até 6%
Fraca	2	6% a 12%
Média	3	12% a 20%
Forte	4	20% a 30%
Muito Forte	5	acima de 30%

Quadro 3: Classificação da declividade em cinco dígitos proposta por Ross (1994)

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi feito através da vetorização dos polígonos com os tipos de plantações, pastos ou de matas na área. Esses polígonos depois foram convertidos em *raster* e reclassificados de 1 a 5, conforme será apresentado posteriormente.

Os dados do mapa de declividade e uso da terra foram combinados através da ferramenta *combine* que combinou as informações dos dois mapas, criando um terceiro raster que possui um valor de dois dígitos, onde o primeiro corresponde ao valor da declividade e o segundo ao valor de uso da terra.

Mais uma vez foi utilizada a ferramenta combine, dessa vez combinando as informações do mapa de fragilidade de declividade e uso da terra com o mapa pedológico, gerando um novo raster em que cada pixel possui, agora, um valor de 3 dígitos, o primeiro correspondendo a declividade, o segundo ao uso da terra e o terceiro a classe de fragilidade do solo. Por fim, a definição de cada pixel terá um conjunto de três dígitos, como por exemplo 343.

### **3.3.2. Técnicas de campo**

Em campo foram feitos os seguintes procedimentos:

- Conferência com GPS de dados cartográficos adquiridos no material cartográfico pesquisado.
- Identificação do tipo de solo de acordo com os procedimentos sugeridos por Santos et al. (2005) que envolvem a obtenção de coordenadas por GPS, a verificação da altitude, do declive e da cobertura vegetal. Também foram verificados a cor, a textura por sensações táteis, a estrutura, consistência seca e molhada, a plasticidade, a pedregosidade, a rochosidade, o relevo local, se existe erosão aparente e sua situação e uso atual da cobertura. Essas propriedades foram aferidas em cortes de estradas, taludes e áreas escavadas (covas de café) nas plantações (**Figura 5**).
- Verificação da existência de afloramentos de rochas, veios de quartzo e outras feições geológicas para a confecção do mapa geológico de exploração.
- Levantamento de dados geomorfológicos: verificação de áreas de erosão e deposição, localização de feições morfodinâmicas, forma das vertentes e de detalhes da hidrologia.
- Atualização das informações de uso da terra e cobertura vegetal.
- Obtenção de qualquer outra informação que fosse útil a pesquisa como a história do lugar, acontecimentos naturais, “causos” contados pelos moradores e dados técnicos dos produtores.



Figura 5: Exemplo de um corte de estrada com a exposição de Latossolo Vermelho, utilizados para a identificação dos solos na conferência de campo.

No campo foram visitados 18 pontos (**Figura 6, Quadro 4**) escolhidos por critérios de representatividade das características físicas da área. Foram selecionados pontos que melhores representassem a homogeneidade daquele recorte da área, como por exemplo, uma área que representasse uma vertente usada para pasto, com Latossolos e média declividade.

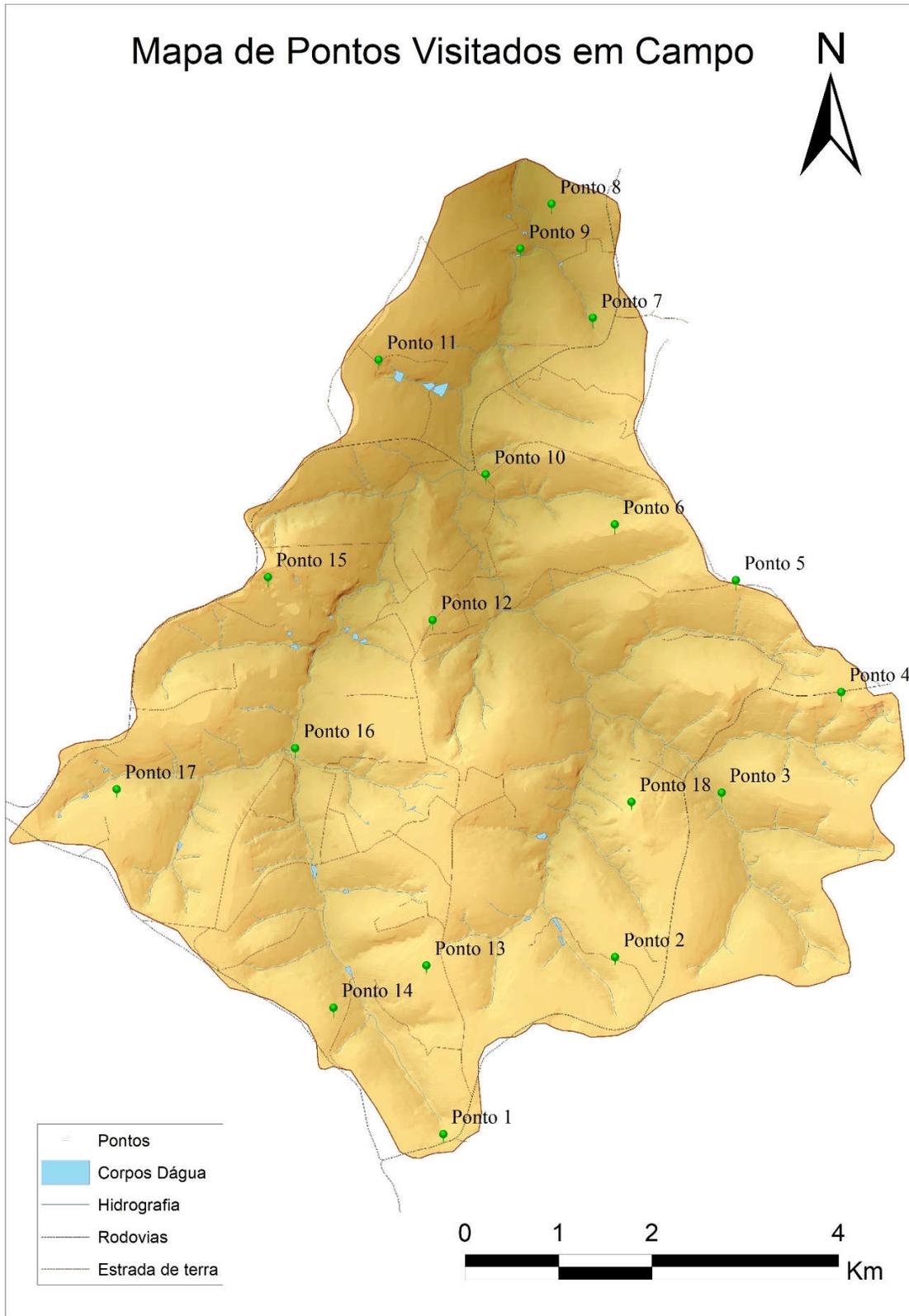


Figura 6: Localização dos pontos de investigação em campo.

Ponto 1	Latitude/Longitude	20°18'18.87"S/ 47°24'33.83"W
	Local	Nascente do Ribeirão
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Fm Franca /Sedimentos
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Café / Cana
	Altitude	1044
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Moderada / Forte
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	Ligeiramente dura/ dura; Ligeiramente plástica
	Rochosidade	não aparente
	Erosão acelerada	Ligeira Laminar e sulcos
Pedregosidade	não aparente	
Ponto 2	Latitude/Longitude	20°17'17.57"S/ 47°23'34.22"W
	Local	Vertente próxima a nascente
	Relevo / Declividade	Colinas 12 a 20%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Fm. Franca / Sedimentos
	Situação na vertente	Média
	Uso Atual	Cana / Pasto
	Altitude	1050
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada
	Textura	arenosa
	Consistência	Ligeiramente dura / friável; ligeiramente plástica
	Erosão acelerada	Ligeira Laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
Pedregosidade	não aparente	
Ponto 3	Latitude/Longitude	20°16'20.23"S/ 47°22'57.34"W
	Local	Vertente próxima ao fundo do vale
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas

	Litologia	Fm Franca
	Situação na vertente	Baixa
	Uso Atual	Cana
	Altitude	991
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura / friável; Ligeiramente plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	não aparente
Ponto 4	Latitude/Longitude	20° 15'45.29"S/ 47°22'15.87"W
	Local	Topo da vertente próximo a pista
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Sedimentos Conglomeráticos
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Cana/ pasto
	Altitude	1064
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Forte
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
Pedregosidade	não aparente	
Ponto 5	Latitude/Longitude	20° 15'6.54"S/ 47°22'52.35"W
	Local	Interflúvio ao norte da cabeceira
	Relevo / Declividade	6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Franca/Sedimentos
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Matas e pastos
	Altitude	1040
	Cor	Amarelo avermelhado

	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	não aparente
Ponto 6	Latitude/Longitude	20°14'47.17"S/ 47°23'34.37"W
	Local	Próximo a APP
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Franca
	Situação na vertente	Média alta
	Uso Atual	Mata/Cana
	Altitude	1012
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
Pedregosidade	Ligeiramente pedregosa	
Ponto 7	Latitude/Longitude	20°13'35.23"S/ 47°23'41.96"W
	Local	Nascente em uma APP em meio ao café
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Café
	Altitude	946
	Cor	Vermelho amarelado
	Estrutura	Forte
	Textura	argilosa
	Consistência	Dura/ Firme; Plástica
Erosão acelerada	não aparente	

	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	não aparente
Ponto 8	Latitude/Longitude	20° 12'55.73"S/ 47° 23'56.28"W
	Local	Plantação de café próximo ao ponto mais jusante da microbacia hidrográfica
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral
	Situação na vertente	Média
	Uso Atual	Café
	Altitude	916
	Cor	Vermelho amarelado
	Estrutura	Forte
	Textura	argilosa
	Consistência	Dura/ Firme; Plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	Afloramento de Basaltos
Pedregosidade	Ligeiramente pedregosa	
Ponto 9	Latitude/Longitude	20° 13'11.23"S/ 47° 24'7.09"W
	Local	Próximo a ponte do ribeirão na Faz. Boa Vista
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral
	Situação na vertente	Baixa
	Uso Atual	Café
	Altitude	902
	Cor	Vermelho amarelado
	Estrutura	Forte
	Textura	Argilosa
	Consistência	Dura/Firme; Plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	Afloramento de Basaltos
Pedregosidade	moderadamente pedregosa	
Pont	Latitude/Longitude	20° 14'29.79"S / 47° 24'19.08"W
	Local	Próximo a ponte do ribeirão na estrada vicinal

	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral
	Situação na vertente	Baixa
	Uso Atual	Pastos
	Altitude	939
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Ligeiramente forte
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	Afloramento de Basaltos
	Pedregosidade	Ligeiramente pedregosa
Ponto 11	Latitude/Longitude	20°13'49.77"S/ 47°24'56.30"W
	Local	Plantação de café fazenda Santana
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral / Fm Franca
	Situação na vertente	Média Alta
	Uso Atual	Café
	Altitude	994
	Cor	Vermelho amarelado
	Estrutura	Forte
	Textura	argilosa
	Consistência	Dura/friável; ligeiramente plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
Pedregosidade	não aparente	
Ponto 12	Latitude/Longitude	20°15'20.38"S / 47°24'37.55"W
	Local	Estrada Fazenda Mimoso
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Serra Geral / Fm Franca
	Situação na vertente	Média
	Uso Atual	Café/pasto

	Altitude	991
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Forte
	Textura	Argilosa
	Consistência	Dura/friável; ligeiramente plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	não aparente
Ponto 13	Latitude/Longitude	20°17'20.46"S/ 47°24'39.71"W
	Local	Estrada Fazenda Redentor
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Sedimentos / Fm Franca
	Situação na vertente	Média Alta
	Uso Atual	Café/APP
	Altitude	1062
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	Dura/friável; não plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
Pedregosidade	não aparente	
Ponto 14	Latitude/Longitude	20°17'35.09"S/ 47°25'11.88"W
	Local	Área muito degradada próxima a rodovia
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Fm Franca / Sedimentos
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Cana
	Altitude	1035
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada / Fraca
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	Ligeiramente dura

	Erosão acelerada	Ligeira laminar e ocasionais em sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	não aparente
Ponto 15	Latitude/Longitude	20°15'5.47"S / 47°25'34.68"W
	Local	Próximo ao contato entre arenitos e basalto
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Fm Franca
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Café recém plantado
	Altitude	1024
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	Ocasional laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	Afloramento de arenitos com estratificação cruzada
Ponto 16	Latitude/Longitude	20°16'4.80"S / 47°25'25.20"W
	Local	Faz. Cafelândia
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Matas
	Litologia	Fm Franca
	Situação na vertente	Baixa
	Uso Atual	Café/Pastos/Cana/APP
	Altitude	974
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Moderada
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	ligeiramente dura/ friável; não plástica
	Erosão acelerada	Ligeira laminar e sulcos
Rochosidade	não aparente	
Pedregosidade	não aparente	
Pont	Latitude/Longitude	20°16'19.04"S/ 47°26'27.13"W
	Local	Pastos Faz São Jorge

	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Sedimentos / Fm Franca
	Situação na vertente	Média
	Uso Atual	Pastos
	Altitude	1023
	Cor	Amarelo avermelhado
	Estrutura	Forte
	Textura	argiloarenosa
	Consistência	Dura/friável; não plástica
	Erosão acelerada	ligeira laminar e sulcos
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	ligeiramente pedregosa
Ponto 18	Latitude/Longitude	20°16'23.42"S/ 47°23'28.57"W
	Local	Morro degradado
	Relevo / Declividade	Colinas 6 a 12%
	Cobertura Original	Cerradão / Matas
	Litologia	Sedimentos Conglomeráticos
	Situação na vertente	Topo
	Uso Atual	Pastos
	Altitude	1025
	Cor	Amarelo claro
	Estrutura	Forte
	Textura	Argiloarenosa
	Consistência	Dura/friável; não plástica
	Erosão acelerada	Frequentes laminar e Sulco
	Rochosidade	não aparente
	Pedregosidade	ligeiramente pedregosa

Quadro 4: Descrição de alguns aspectos aferidos nos pontos em campo

### 3.4. Produtos gerados e suas orientações metodológicas

Os produtos gráficos e cartográficos gerados englobam os mapas de base, hipsométrico, declividade, geológico, pedológico, geomorfológico, mapa de uso e

cobertura da terra e mapas de fragilidade do ambiente. As descrições dos produtos gerados são apresentadas a seguir.

#### **3.4.1. Mapa base**

Para a base cartográfica, as seis cartas topográficas em escala 1:10.000 do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC) foram digitalizadas e vetorizadas no software Arcmap 10.1.

Para a confecção do Mapa Base foram vetorizadas as curvas de nível, as cotas altimétricas, a hidrografia e as vias de circulação. A partir desse mapa foi possível fazer uma análise das formas de relevo e características da drenagem. Além disso, serviu como base para a elaboração dos mapas hipsométrico, de declividade e morfológico.

#### **3.4.2. Mapa hipsométrico**

A carta hipsométrica mostra a topografia da área exibida em um gradiente de cores que indiquem a variação da altitude. Entretanto, não há uma convenção internacional, ou método para o estabelecimento das curvas a serem agrupadas nos intervalos determinados (SPÖRL, 2001). O mapa hipsométrico foi confeccionado no software Arcmap 10.1, através da rasterização do mapa base em escala 1:10.000. Porém, nesta dissertação, será exibida em escala 1:50.000, em razão de economia. O mapa de fragilidade potencial do ribeirão Bom Jesus encontra-se no **Anexo I**.

Para a classificação das informações foram escolhidos intervalos iguais de 25 metros, pois a declividade é constante, sem grandes rupturas. Dessa forma, os intervalos iguais demonstram o gradiente da topografia e eventuais pequenas rupturas presentes nas encostas. Esta escolha teve a intenção de distinguir da melhor forma possível as formas da topografia para a visualização das áreas de topo, as vertentes, as cabeceiras de drenagem e os vales fluviais. As cores frias são as altitudes mais rebaixadas (intervalo de 867 até 925 m) e as quentes as de média altitude (intervalo de 925 a 1000 m). As cores marrons e cinza claro representam os topos (acima de 1000 m).

### 3.4.3. Mapa de declividade

O mapa de declividade é um produto gráfico em que são representadas espacialmente o grau de declividades da superfície. A classificação e o mapeamento da declividade são essenciais, pois é uma variável reveladora de aptidões e limitações de uso da terra pelos seres humanos. A declividade do terreno é medida pela inclinação do relevo em relação a uma linha paralela ao horizonte.

A porcentagem de declividade é a relação entre o comprimento das encostas e profundidade dos vales. Ela tem influência na velocidade de escoamento subsuperficial e superficial da água, além de condicionar o grau de estabilidade das vertentes. Os fluxos hídricos superficiais correspondem ao escoamento superficial pluvial e ocorrem a nível das vertentes, na forma de lençol ou laminar, anastomosado (canais difusos e coalescentes) e concentrado (canais profundos e incisos). Os fluxos subsuperficiais ocorrem nas formações superficiais (solo, colúvio e elúvio), nas mais diversas profundidades, acompanhando as discontinuidades pedológicas e/ou litológicas. (GUERRA et al, 2009). Por exemplo, as vertentes muito íngremes tendem a ser mais instáveis por causa da energia da gravidade que influencia os fluxos hídricos e os movimentos de massa.

A carta de declividades foi elaborada no ArcMap 10.1 através das curvas de nível do mapa base. Após a vetorização das curvas de nível, foi criado um modelo digital de elevação, depois um raster com a informação da elevação. Por fim, aplicando a ferramenta “slope”, um raster com as informações da declividade foi criado e classificado. As classes de declividade foram definidas e o grau de fragilidade atribuído a elas de acordo com a metodologia de Ross (1994) (**Quadro 5**).

<b>Classes de Declividade</b>	<b>Legenda (Cor)</b>	<b>Nível de Fragilidade</b>
0 a 6%	Verde	1- Muito Baixo
6 a 12%	Verde Claro	2 - Baixo
12 a 20%	Amarelo	3 -Médio
20 a 30%	Laranja	4 - Alto
Acima de 30%	Vermelho	5 - Muito Alto

Quadro 5: Classes de declividade de acordo com o nível de fragilidade e a legenda do mapa de declividade

#### **3.4.4. Mapa das unidades geológicas**

A proposta de fragilidade ambiental de Ross (1994) não coloca a litologia como variável a ser incluída no cálculo, mas o mapa geológico foi produzido visando auxiliar a delimitação dos tipos de solos e a topografia associada. A elaboração do Mapa Litológico apresentado aqui foi baseada no mapa realizado por HELLMEISTER JR. (1997) na escala 1:100.000, combinado com observações em campo de afloramentos, recortes de estradas e tipo de solos.

O mapa 1:100.000 foi digitalizado e importado para o software Arcgis 10.1 onde foi possível relacioná-lo com o mapa base, procurando definir, pelo menos, o limite das principais Formações (Serra Geral e Franca) através da altimetria do contato entre as formações exibido no perfil geológico de HELLMEISTER JR. (Op. Cit.).

#### **3.4.5. Mapa de solos**

A Pedologia é muito importante para a caracterização morfodinâmica da área, pois a maturidade do solo pode ser um indicador da relação morfogênese/pedogênese. Os processos morfogênicos criam solos jovens e pouco desenvolvidos devido a movimentação da superfície, e a pedogênese pode criar solos maduros, lixiviados e profundos, em locais de estabilidade morfodinâmica.

O mapa de solos foi produzido pela informação em pequena escala (reconhecimento), a partir de dados obtidos na literatura, da litologia associada e pela classificação em campo de alguns tipos de solos. Essa classificação (EMBRAPA, 2018) foi realizada em campo a partir da descrição de perfis e de alguns atributos principais, como identificação dos horizontes, sua espessura, cores (MUNSELL, 1994), textura inferida por tato, estrutura e consistência. Tais características estão diretamente relacionadas com litologia, clima, cobertura vegetal e modelado do relevo, que são os elementos motores da pedogênese, de forma que diferentes tipos de solos têm características diferentes em relação a resistência à erosão. Os tipos de solos, relacionados com as classes de fragilidade foram agrupados por Ross (1994) conforme apresentado no **Quadro 6**.

<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Tipos de Solo</b>
1 - Muito Baixa	Latossolo Vermelho Distroférico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo com textura argilosa
2 - Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo com textura média/argilosa
3 - Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho Distroférico, Argissolo com textura média/argilosa.
4 - Forte	Argissolo com textura média/arenosa, Cambissolos
5 - Muito Forte	Luvissolos lítólicos e areias quartzosas.

Quadro 6: Classes de fragilidade dos solos de Ross (1994) (Adaptado)

### 3.4.6. Mapa de uso e cobertura da terra

O mapa de cobertura vegetal e uso da terra foi confeccionado utilizando as imagens orbitais do satélite Geoeye 2 de resolução espacial de 30 cm por pixel, datados de 10/06/2015 conseguidas através do banco de dados “World Imagery” do próprio software ArcMap 10.1. A delimitação dos polígonos dos tipos de uso também foi feita no software Arcmap 10.1 e depois atualizadas pelas observações em campo.

Foram definidas as seguintes categorias de uso e cobertura da terra:

- Pomar: são pequenos proporcionalmente ao tamanho das propriedades rurais, correspondendo a pequenos polígonos próximos às construções em que se observavam arranjos geométricos ou algumas árvores frutíferas plantadas juntas aleatoriamente;
- Construções: edificações com limites geométricos bem definidos nas imagens de satélite, com localização geralmente coincidente com o caminho das estradas de terra do mapa base;
- Eucalipto: tonalidades escuras de vegetação onde se nota altura nivelada das copas, com limites geométricos mais ou menos definidos nas imagens de satélite e textura uniforme;
- Cana: limites geométricos com tonalidades claras e textura uniforme, com arranjo que segue as curvas de nível da topografia;

- Café: tonalidade escura acompanhando as curvas de nível e de textura bem definida com as chamadas “ruas de café” evidente nas imagens de satélite e em campo;
- Mata: tonalidade escura geralmente nos setores de maior declividade, como as cabeceiras em anfiteatro; apresentam-se como polígonos com copas fechadas que impedem a visão da superfície;
- Cerrado: Exibe arranjo mais esparsa de árvores baixas e tonalidades mais desgastadas, com áreas de arbustos ou vegetação pouco proeminente, é observável nas imagens de satélite pela falta de arranjo geométrico ou mesmo de limites;
- Pasto: tonalidades verdes claro de capim, com textura mais rala e com alcance maior que as outras glebas, sem limites geométricos, apresentando, algumas vezes, linhas de pisoteio visíveis.

Em termos da fragilidade, as áreas de florestas naturais fornecem um grau de proteção muito alto, pois a densidade da cobertura reduz a energia cinética das gotas de chuva e do escoamento superficial, facilitando a infiltração; também ajuda a reter matéria orgânica no solo, aumentando a agregação do solo; já nas áreas de solo exposto e de culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas a proteção é baixa ou nula, pois o solo exposto está vulnerável a remoção e transporte das partículas e nutrientes pelas águas e ventos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1993; LEPSCH, 2002, 2011; TRICART, 1977). Tal como para as demais variáveis, a proposta de Ross para a fragilidade por tipo de cobertura é apresentada no **Quadro 7**.

Grau de Fragilidade	Tipos de cobertura vegetal
1 - Muito Baixa	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2 - Baixa	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa); mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo
3 - Média	Cultura de ciclo longo em curva de nível/terraceamento como o café, pastagem com baixo pisoteio

4 - Alta	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café), culturas de ciclo curto (cana)
5 - Muito alta	Áreas desmatadas, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas

Quadro 7: Grau de fragilidade da cobertura vegetal de Ross (1994) (Adaptado)

### 3.4.7. Mapa do relevo

O mapa do relevo é um dos produtos intermediários para a construção da carta de fragilidade. Este mapa é uma síntese da análise das pranchas da rede de drenagem, direção das vertentes, de declividade, geologia, pedologia, dos resultados das interpretações das imagens de satélite e, ainda, das informações obtidas em campo. Ele oferece as informações relativas a morfometria da paisagem que influenciam os processos ecodinâmicos, como a forma das encostas, por exemplo, que direcionam os fluxos hídricos de superfície e subsuperfície. Este mapa foi produzido seguindo as proposições de Ross (1991; 1992), com o contexto geomorfológico da área com representação do macro para a microescala utilizando a taxonomia proposta (**Quadro 8**):

**1º táxon:** Unidade morfoestrutural da Microbacia hidrográfica Sedimentar do Paraná;

**2º táxon:** Unidade morfoescultural do Planalto Ocidental Paulista - subunidade dos Planaltos Residuais de Franca/Batatais;

**3º táxon:** Unidade morfológica do Reverso da cuesta basáltica;

**4º táxon:** São as unidades de formas semelhantes. Estas formas são de agradação (acumulação), como os terraços; e de degradação como colinas, morros e cristas. Na área de estudos foram encontrados colinas e terraços.

Unidade Morfoestrutural (1º Táxon)	Unidade Morfoescultural (2º Táxon)		Unidade Morfológica (3º Táxon)	Tipos de Formas de Relevo (4º táxon)
Microbacia hidrográfica Sedimentar do Paraná	Planalto Ocidental Paulista	Planaltos Residuais Franca/Batatais	Reverso de cuesta	Formas denudacionais: Colinas

Quadro 8: Contexto geomorfológico regional (até o 4º táxon) da Microbacia hidrográfica do Ribeirão do Bom Jesus; adaptado de Ross (1991;1992)

**5º táxon:** Corresponde aos tipos de vertentes das formas do relevo. Dentre as principais características geométricas das formas das vertentes na área destacam-se: topos planos, topos convexos, cabeceiras em anfiteatro, setores de vertentes convexas e côncavas

Foram cartografados a distribuição e arranjo dos elementos e atributos visíveis e mensuráveis, o que permitiu separar feições com significado diferente ou associar feições com o mesmo significado.

Foram individualizadas cinco unidades morfológicas na área de estudos (**Quadro 9**): topos planos, topos convexos, cabeceiras em anfiteatro, setores de vertente convexas e setores côncavos. A legenda foi confeccionada conforme o trabalho de (VILLELA, 2005).

Morfologia (5º Táxon)	Legenda (Cor)
Topos planos (Dtp)	Hachuras Azuis
Topos convexos (Dtc)	Hachuras Vermelhas
Cabeceiras em anfiteatro (Da)	Verde mais escuro
Setores de vertente côncavos (Dcc)	Roxo claro
Setores de vertente convexas (Dc)	Laranja claro

Quadro 9: Legenda do mapa morfológico (VILLELA, 2005) (adaptado)

A morfologia foi associada com os mapas de fragilidade de declividade e solos, gerando a combinação do tipo de relevo e sua classe de fragilidade. Por exemplo, uma unidade Da33 significa uma cabeceira em anfiteatro com declividade média e

proteção do solo média. Já uma unidade Dcc42 significa um setor côncavo com declividade alta e solos de fragilidade média.

**6º táxon:** São as formas pontuais, resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou da sedimentação atual. São exemplos de formas morfodinâmicas as formas associadas a erosão acelerada como, por exemplo, sulcos.

### 3.4.8. Mapa da fragilidade ambiental potencial

Após terem sido concluídos todos os levantamentos básicos de geomorfologia, geologia, pedologia, uso da terra/cobertura vegetal foram atribuídos dígitos de 1 a 5 para cada variável. A correlação desses 3 dígitos representa as características de cada variável presente numa determinada área. O primeiro, relacionado a dissecação do relevo, é o que vai definir a classe de fragilidade da área, em segundo o solo e em terceiro o uso da terra. Em seguida as pranchas foram sobrepostas combinando as informações através de rasters e polígonos georreferenciados dentro de ambiente SIG.

A preparação de pranchas para cada um dos temas e a hierarquização do grau de fragilidade de cada classe temática, seguida pelo cruzamento destas informações, permite a obtenção de um produto cartográfico síntese, representando as unidades consideradas de alta ou de baixa fragilidade potencial. O **Quadro 10** faz uma síntese dos parâmetros utilizados para a análise e confecção do mapa de fragilidade potencial.

Grau de Fragilidade	Declividade	Tipo de Solo	Tipo de uso/cobertura
Muito Fraca 1	< 6%	Latossolos: Vermelho amarelo de textura argilosa	Florestas, Matas naturais, Florestas, cultivadas com biodiversidade.
Fraca 2	6 a 12%	Latossolos: Amarelo e Vermelho amarelo de textura média/argilosa	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas, matas homogêneas de Pinus densas, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado.

Média 3	12 a 20%	Latossolo Vermelho amarelo	Cultivos de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como: café, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub bosques de nativas.
Forte 4	20 a 30%	Argissolos Vermelho Amarelo textura média/arenosa, Cambissolo	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto: cana em curvas de nível/terraceamento.
Muito Forte 5	> 30%	Luvissolo com cascalho, Neossolos	Áreas desmatadas recentemente, solo exposto por arado/grade, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, Terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Quadro 10: Quadro sintético de descrição dos parâmetros para análise da Fragilidade dos Ambientes.

## 4. Resultados

### 4.1. Os componentes da paisagem e a caracterização da microbacia hidrográfica do Córrego Bom Jesus

#### 4.1.1. Unidades geológicas e litologias

A geologia da área estudada está no contexto da borda da bacia sedimentar do Paraná, descrito como Planalto de Franca-Batatais. O mapa geomorfológico do Estado de São Paulo aponta que a área é constituída por:

... derrames de rocha eruptivas, superpostos, extensos de várias dezenas até mais de uma centena de quilômetros, e espessos de várias dezenas de metros. Os derrames recobriram depósitos das formações Piramboia e Botucatu, basicamente formados por arenitos de origem fluvial ou eólica, respectivamente. (SÃO PAULO, 1981, p. 63).

Os mapas geológicos e geomorfológicos do Estado de São Paulo (IPT, 1981, SÃO PAULO, 1981), descrevem colinas areníticas nas porções a montante, e rupturas em seu curso médio em decorrência das escarpas festonadas, resultantes de processos tectônicos que resultaram com os derramamentos basálticos da Formação Serra Geral.

Esses mapeamentos, feitos em escala ao milionésimo, trazem identificações muito generalizadas quando transportados para a escala de detalhe utilizada nesta pesquisa. Assim, a caracterização da geologia da área de estudos utiliza os trabalhos em escala 1:100.000 de HELLMEISTER JR (1997), que mapeou a geologia e ocorrências minerais da região de Franca-Pedregulho.

Na parte estudada da microbacia hidrográfica do Bom Jesus ocorrem as Formações Serra Geral e Franca (**Figura 7**), pertencentes ao Grupo Bauru (HELLMEISTER, Op. Cit.). Da mais antiga para a mais recente temos:

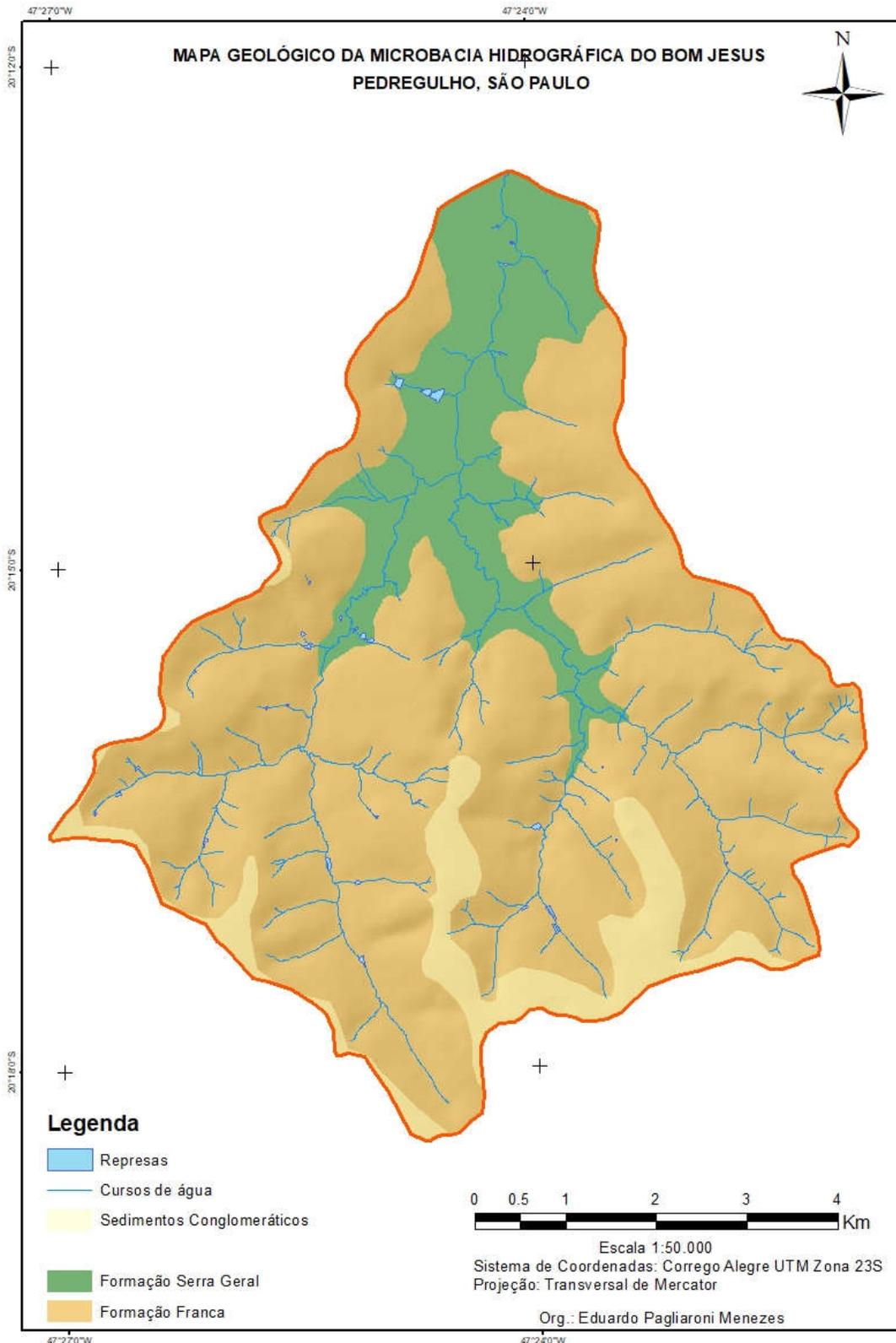


Figura 7: Mapa geológico da microbacia do Bom Jesus

A Formação Serra Geral (Cretáceo Inferior) corresponde a um derramamento fissural de basalto cobrindo uma extensa área, de Minas Gerais até o Rio Grande de Sul em direção ao sul e até o Mato Grosso do Sul para oeste. É formada por basalto e basalto-andesito de filiação tholeítica; riolito, riodacito e diabásio. Intercala camadas de arenito, litoarenito e arenito vulcânico. Datações efetuadas em rochas basálticas da região de Franca revelaram idades de 132 Ma (HELLMEISTER JR, 1997). Os derrames basálticos com intercalações de arenitos eólicos formam morros testemunhos isolados e superfícies aplainadas elevadas, com bordas escarpadas. Na área os limites são bem claros, com muitos afloramentos (**Figura 8 e 9**) o que torna relativamente fácil a identificação do substrato rochoso dos pontos no campo.



Figura 8: Afloramento de arenitos estratificados da Fm. Franca próximos ao topo da área, a sudoeste.



Figura 9: Afloramento de basalto, em altitude de 850m, da Fm. Serra Geral no ribeirão do Bom Jesus

As partes mais a montante são compostas por arenitos e arenitos-conglomeráticos da Formação Franca (Cretáceo superior) ou Itaqueri. Na literatura há uma diferenciação das classificações dos sedimentos localizados nas áreas de cabeceira da microbacia hidrográfica. Esses sedimentos podem ser identificados como sedimentos correlatos à Formação Itaqueri (CPRM, 2016), ou individualizados na Formação Franca (HELLMEISTER JR, 1997). Neste trabalho usaremos a classificação feita por HELLMEISTER (Op. Cit.)

As partes mais altas, junto à rodovia SP-334, são compostas de depósitos de sedimentos continentais indiferenciados do Cenozoico, que preenchem a crista do espigão que liga as cidades de Franca, Cristais Paulista e Pedregulho. Os sedimentos são essencialmente conglomeráticos (limonitizados) e correspondem a depósitos residuais associados à Superfície Sul-Americana (HELLMEISTER JR, 1997). Os sedimentos aluvionares incluem areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais, em depósitos de calha ou terraços.

Relacionando a litologia com o perfil longitudinal do ribeirão Bom Jesus sua nascente está sobre a Fm. Franca. Aproximadamente 5 km a jusante o canal passa a correr sobre a Fm. Serra Geral, onde é comum o afloramento de basaltos.

Em relação a tectônica, a área situa-se na borda nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, unidade geotectônica estabelecida por subsidência sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do Siluriano/Devoniano Inferior e atingiu sua máxima expansão entre o Carbonífero Superior e o final do Permiano (IPT, 2000). Este pode ser individualizado em dois ciclos com significados geológicos diferentes (CANIL, 2000):

- Ciclo intermediário magmático (Jurássico Superior - Cretáceo Inferior): Formação Serra Geral episódio magmático de preenchimento desta entidade geológica, correspondendo a um dos maiores eventos vulcânicos do planeta, o qual se encerra com a abertura do Atlântico Sul e ruptura do Gondwana

- Ciclo superior tectono-sedimentar (Cretáceo Inferior): caracterizado pela progradação dos sistemas periféricos alúvio-desérticos da Formação Franca.

#### 4.1.2. Relevo

A área de estudo está inserida na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná. A bacia do Paraná é uma bacia intracratônica, estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana (ALMEIDA et al., 1977). De forma geral a bacia do Paraná possui uma inclinação homoclinal com deflexão na direção aproximada E-W, com mergulho suave em direção à calha do rio Paraná. Em alguns locais os valores de mergulho são relativamente altos, decorrentes de tectonismo associado a derrames basálticos e intrusões de sills de diabásio (IPT, 1981).

Segundo IPT (1981) e SÃO PAULO (1981) a região está inserida no domínio geomorfológico de cuevas basálticas, que são caracterizadas pela estrutura dividida entre escarpas e reverso. Na porção das escarpas há a exposição de numerosos relevos testemunhos isolados como baús, peões e pequenas chapadas. Enquanto que na porção do reverso a ação da drenagem consequente foi intensa formando cânions e relevos residuais.

A área está sobre a unidade morfoescultural intitulada Planalto Residual de Batatais/Franca (ROSS, 1997). Nessa paisagem há o contraste entre as escarpas íngremes e colinas suaves, com longas vertentes. Para Ab'Saber (1975) o planalto de Franca “comporta-se como margem de bacia sedimentar, margem dos altiplanos norte-orientais do estado de São Paulo e zona de fronteira com Minas Gerais, sendo um setor marcadamente transicional”.

Essa transição exhibe o contraste entre as macroestruturas geológicas e geomorfológicas. São elas: os basaltos e arenitos que constituem o Planalto Ocidental Paulista; e a bacia hidrográfica do Paraná, predominantemente sedimentar, onde se localiza a Depressão Periférica Paulista (ROSS, 1997). Ainda de acordo com Ab'Saber (1975):

“Terminado a Leste por altas e irregulares escarpas estruturais - mantidas por arenitos e basaltos e filiadas ao sistema das cuevas desdobradas do NE de São Paulo e Oeste de Minas - O Planalto de Franca participa do sistema de cuevas concêntricas de frente externa da bacia hidrográfica do Alto Paraná. Nesses termos, comporta-se como um setor integrado do relevo de cuevas de uma área muito mais

ampla, ainda que em função das condições estruturais, subestruturais, apresenta uma originalidade paisagística marcante. ” (AB´SABER, 1975. p. 5)

Os relevos aos quais pertencem a microbacia hidrográfica do ribeirão do Bom Jesus são formas onde predominam processos denudacionais cujo modelado constitui-se por colinas de topos aplainados ou tabulares (AB´SABER, Op. Cit.). Já IPT (1981b) classifica a área como Morros Arredondados. As colinas são às áreas de cabeceira de drenagem onde predominam processos de denudação que conferem às formas modelado côncavo e convexo, além do aparecimento de cabeceiras em rebordos de anfiteatro devido à capacidade de infiltração das coberturas superficiais e declividades mais acentuadas. Há ainda alguns poucos patamares planos de cimeiras argilosas e topos convexos individualizados, correspondendo a relevos residuais de litologia mais resistente. Ainda existem vales em U, mais abertos e de declividade gradativa, e vales em V pouco extensos e estreitos;

#### **4.1.2.1. Morfometria**

A microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus ocupa uma área de 48,03 km<sup>2</sup>, com 33,20 km de perímetro. Hierarquicamente a microbacia hidrográfica do Bom Jesus é de 5ª ordem, de acordo com a classificação de Strahler (1952). A altitude varia entre 857-1075 metros. A amplitude altimétrica está relacionada com o aprofundamento da dissecação, pois quanto maior a amplitude altimétrica, mas energia potencial estará influenciando as águas no seu fluxo. Por conseguinte, precipitação que cai nas áreas mais altas terá mais energia no seu percurso até as partes mais baixas, o que aumenta sua capacidade de erosão.

Geometricamente esta microbacia hidrográfica apresenta padrão dendrítico (**Figura 10**), associada litologicamente ao substrato geológico basáltico e arenítico.

O comprimento médio dos canais varia de acordo com a classificação de ordem dos rios pertencentes à microbacia hidrográfica do Bom Jesus (**Quadro 11**).

Comprimento dos canais (metros)	
1ª Ordem	43.851,87
2ª Ordem	23.741,97
3ª Ordem	11.063,84
4ª Ordem	10.840,43
5ª Ordem	4.066,93
Total	93.565,04

Quadro 11: comprimento dos canais fluviais da microbacia do ribeirão Bom Jesus

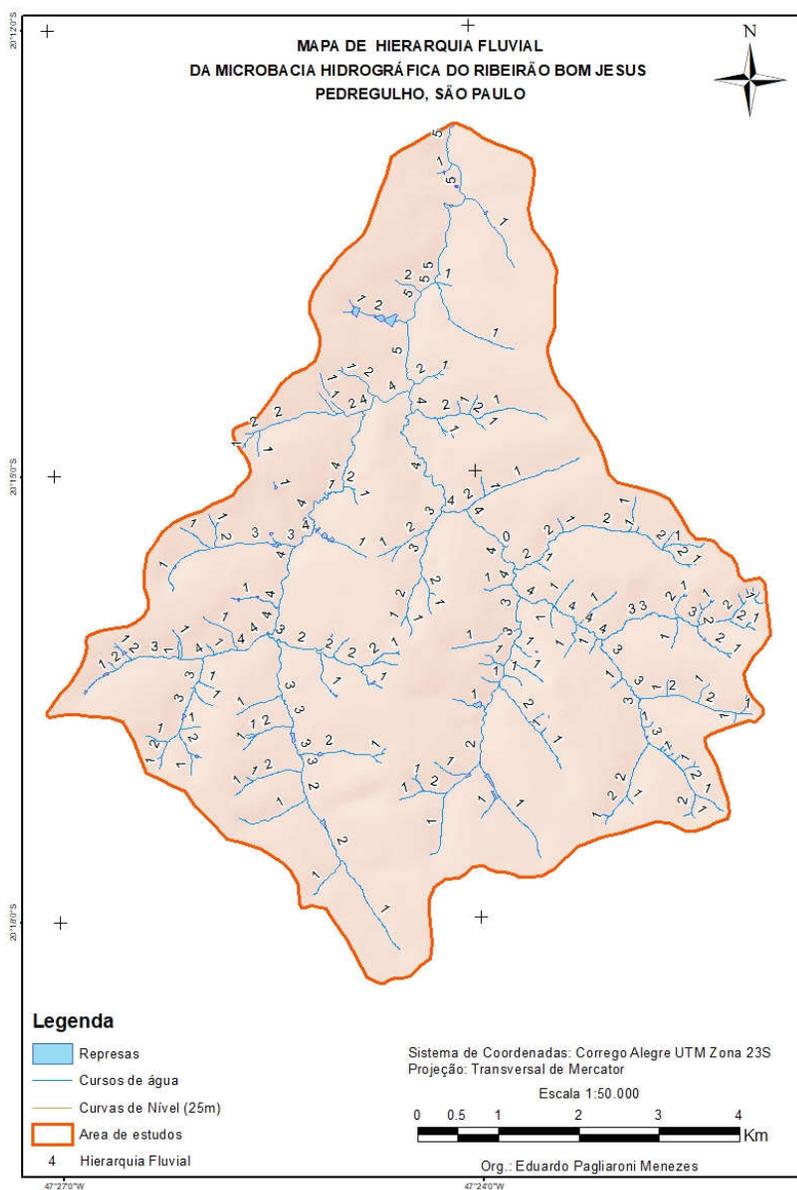


Figura 10: Mapa de hierarquia fluvial do ribeirão do Bom Jesus

#### 4.1.2.2. Morfogênese e morfochronologia

ROSS & MOROZ (1997) atribuem à morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná três fases que culminaram na formação do Planalto Ocidental:

1ª - Paleozóico ao Mesozóico – período que teve diversas fases com diferentes ambientes de sedimentação. No período Jurássico/Cretáceo houveram intensos derreamentos vulcânicos básicos e intrusões básicas, condicionadas pelo movimento distensivo durante a reativação Wealdeniana;

2ª - Cretáceo ao Cenozoico – período sob a alternância entre climas secos (áridos e semiáridos) e úmidos; este período está relacionado ao soerguimento da Plataforma Sul-Americana, acontecendo junto com processos erosivos nas bordas e interiores da bacia do Paraná, esculpando o Planalto Ocidental Paulista e os Planaltos Residuais como o de Franca / Batatais; e, por fim:

3ª – Quaternário – período em ambiente de alternância entre climas secos e úmidos que resultou no aprofundamento dos vales, ocorrido em processos de dissecação generalizada pela ação química e mecânica das águas. As características físico-químicas dos solos mostram que a área teve origem em ambiente de savanas com duas estações climáticas alternadas, uma seca e uma úmida.

#### 4.1.2.3. Feições nas vertentes

Considerando as feições associadas as vertentes, o mapa morfológico da área (**Figura 11**) exhibe a distribuição das formas pela microbacia. O modelado com mais unidades são as cabeceiras em anfiteatro (Da) nas colinas, com 83 unidades. Sua concentração ocorre nas partes mais altas da microbacia hidrográfica, justamente onde existem áreas maior inclinação do relevo, indicando o recuo a montante das cabeceiras de drenagem.

Os setores convexos (Dc) vêm em seguida, com 64 unidades. Essas geometrias convexas são encontradas em toda a microbacia hidrográfica, e são caracterizados como áreas de interflúvio, dispersoras do fluxo hídrico superficial.

Os setores côncavos (Dcc) possuem 40 unidades e estão espalhados por toda a microbacia hidrográfica, mas estão preferencialmente na parte central. São

caracterizadas como áreas que tem a tendência de concentrar o fluxo hídrico, sendo áreas de alerta em relação a suscetibilidade à erosão.

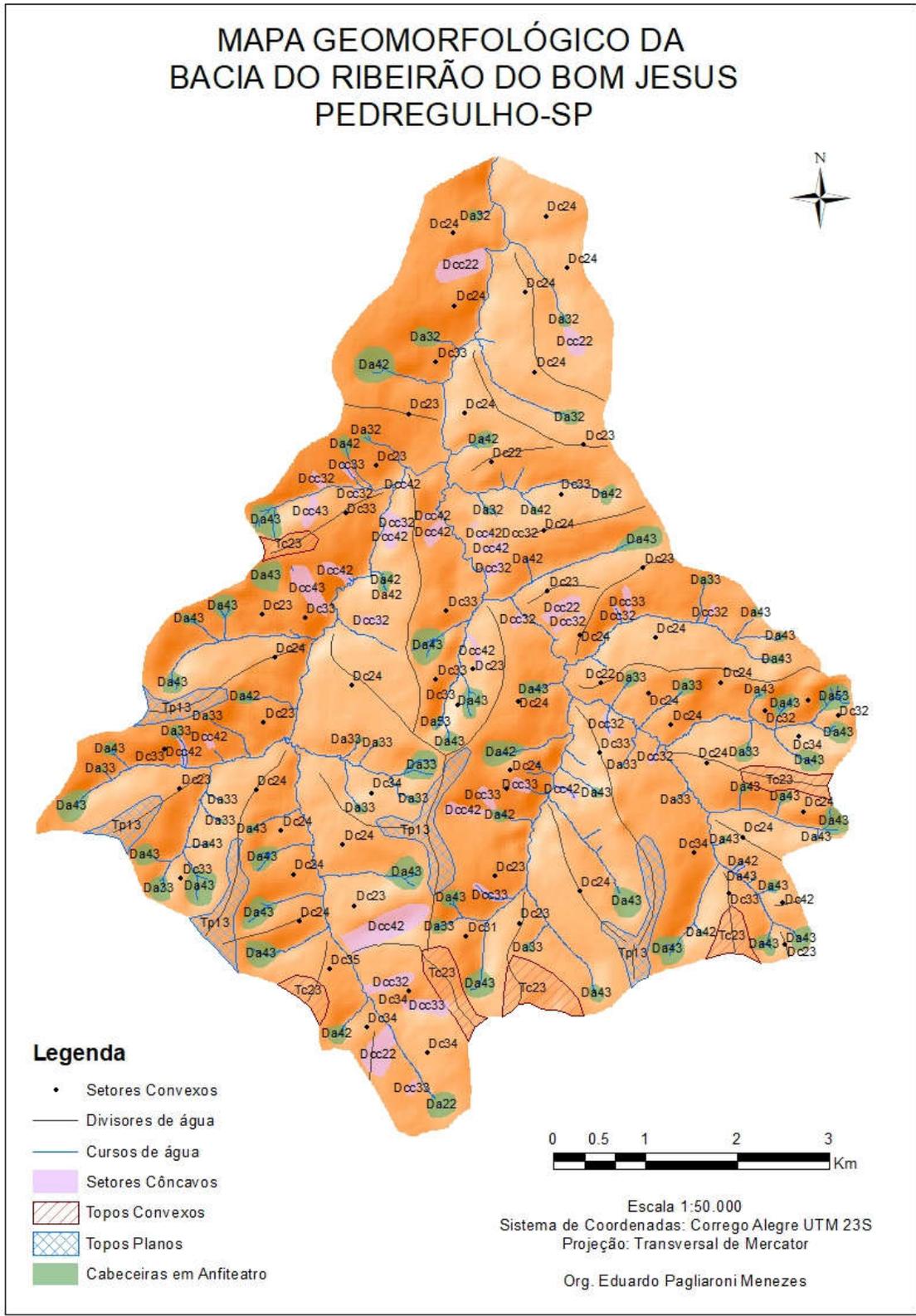
Os Topos Convexos (Dtc) têm 5 unidades, localizadas na parte sul, sendo os divisores de água entre a microbacia hidrográfica estudada e as outras em contato. Estão em ambiente arenítico e sua geometria levemente abaulada faz com que sejam dispersores de fluxo.

Por fim, os Topos Planos (Dtp) têm 4 unidades, e estão localizadas na parte sul da microbacia hidrográfica. Estão em ambiente sedimentar arenítico, o que faz com que sua geometria tenha muito pouca inclinação, caracterizando como plana. O **Quadro 12** exibe um resumo da característica e quantidade das formas encontradas:

<b>Tipos de Feições Geomorfológicas</b>	<b>Quantidade</b>
Topos planos (Dtp)	4
Topos convexos (Dtc)	5
Cabeceiras em anfiteatro (Da)	83
Setores de vertente côncavos (Dcc)	40
Setores de vertente convexos (Dc)	64

Quadro 12: Feições geomorfológicas e sua quantidade encontradas na microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus

# MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIBEIRÃO DO BOM JESUS PEDREGULHO-SP



## Legenda

- Setores Convexos
- Divisores de água
- Cursos de água
- Setores Côncavos
- Topos Convexos
- Topos Planos
- Cabeceiras em Anfiteatro



Escala 1:50.000  
 Sistema de Coordenadas: Corrego Alegre UTM 23S  
 Projeção: Transversal de Mercator

Org. Eduardo Pagliaroni Menezes

Figura 11: Mapa geomorfológico da microbacia do Bom Jesus

### 4.1.3. Solos

Em relação aos solos, o contexto físico da área, com o embasamento arenítico-basáltico, a condição de drenagem livre dos planaltos, dentro de um contexto climático tropical com estações alternadamente seco e úmido, confere aos solos da área de estudo desenvolvimento pedológico predominantemente latossólico (**Figura 12**). Considerando os resultados apresentados, foi revelado um sistema pedológico em equilíbrio, a partir do qual predomina a transformação da rocha em solo desde o topo até a base (RUELLAN & DOSSO, 1993 apud MENEZES, 2014).

De forma geral, tem-se associações de latossolos de textura médio-arenosa a argilosa, de horizonte A moderado, distróficos e/ou eutróficos nas áreas que predominam no basalto com menos associações de quartzo; dependendo da declividade ou da litologia, surgem solos rasos do tipo cambissolos ou litólicos, apresentando pedregosidade constituída principalmente de geodos, metarenitos ou veios de quartzo, como exibido no estudo de uma vertente sobre o estrato basáltico por Menezes (2014).

As classificações existentes na literatura, em razão da escala que representam, tem a informação muito generalizada para que esta possa ser usada na área de estudo. Por exemplo, o Mapa de Solos do IBGE, (2011) caracteriza o Planalto de Franca, em escala regional, uma associação entre o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico. Enquanto os primeiros se associam com as rochas basálticas, os segundos ocorrem, majoritariamente, nos arenitos.

EMBRAPA/IAC (1999) também descreve dois tipos de Latossolos na parte escolhida para a pesquisa da microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus: são eles os Latossolos Vermelho-Amarelos: são solos distróficos de horizonte A moderado e proeminente, textura média, com intercalações de Latossolos Vermelhos distróficos de horizonte A moderado, textura média e argilosa, ambos de relevo suave ondulado (colinas); e os Latossolos Vermelhos : que são solos distróficos de horizonte A moderado e textura argilosa, presentes em superfícies pouco movimentadas a movimentadas.

As características morfológicas dos solos encontrados na área de estudo são citadas na literatura como solos de horizonte B latossólico. Morfologicamente esses perfis são

profundos, homogêneos, com o mesmo matiz de cor (2,5YR) e textura argilosa ou muito argilosa, por vezes com mais de 60% de argila. Tais perfis de solo possuem estrutura grumosa nos horizontes A em função das raízes e do efeito agregador da matéria orgânica e estruturas pequena a média blocos sub-arredondados nos horizontes Bw. Além disso, são ligeiramente duros a duros quando secos nos horizontes superiores e macios nos horizontes inferiores, bem como friáveis quando úmidos em praticamente todos os horizontes (MENEZES, 2014; EMBRAPA/IAC, 1999).

Este tipo de solo possui predominância no Estado de São Paulo (EMBRAPA/IAC, 1999), e são ótimos para a agricultura, por conta dos solos profundos e bem desenvolvidos em relevos mais suaves. São geralmente distróficos e ácidos, o que pode ser corrigido com a fertilização e a calagem. As diferenças texturais ao longo do perfil são pequenas, e, apesar da textura argilosa a muito argilosa, são normalmente porosos, o que permite boa infiltração de água ao longo de seu perfil. Estas características físicas proporcionam a estes solos alta resistência aos processos erosivos, porém, quando vegetados (LEPSCH, 2002, 2011; GUERRA et al, 2009).



#### 4.1.4. Clima

O clima da região, segundo (NIMER, 1989), é do tipo Tropical Subquente Semiúmido, com período seco de 4 a 5 meses. Com base na classificação climática de KÖEPPEN, o tipo climático atuante na área é: Cwb, descrito como: temperado úmido com estação seca. Os totais de chuva no mês mais seco são menores que 30 mm; a temperatura média no mês mais quente é inferior a 22°C, e no mês mais frio é menor que 18°C.

Atuam na região do Planalto Residual de Franca/Batatais as principais correntes de circulação atmosférica da América do Sul, que são as massas tropicais Atlântica e Continental e a Polar Atlântica. Existe ainda a atuação da massa Equatorial Continental, proveniente da Amazônia Ocidental (MONTEIRO, 1973).

O período mais seco é de junho a agosto, e a temperatura média anual é de 22°C, já o período chuvoso é de outubro a março (MONTEIRO, 1973). Os dados do DAEE, da estação B4-063 (Fazenda Cafelândia, localizada na cabeceira da microbacia hidrográfica do Bom Jesus) também evidenciam essa tendência entre as estações secas e chuvosas, vide o **Gráfico 1**:

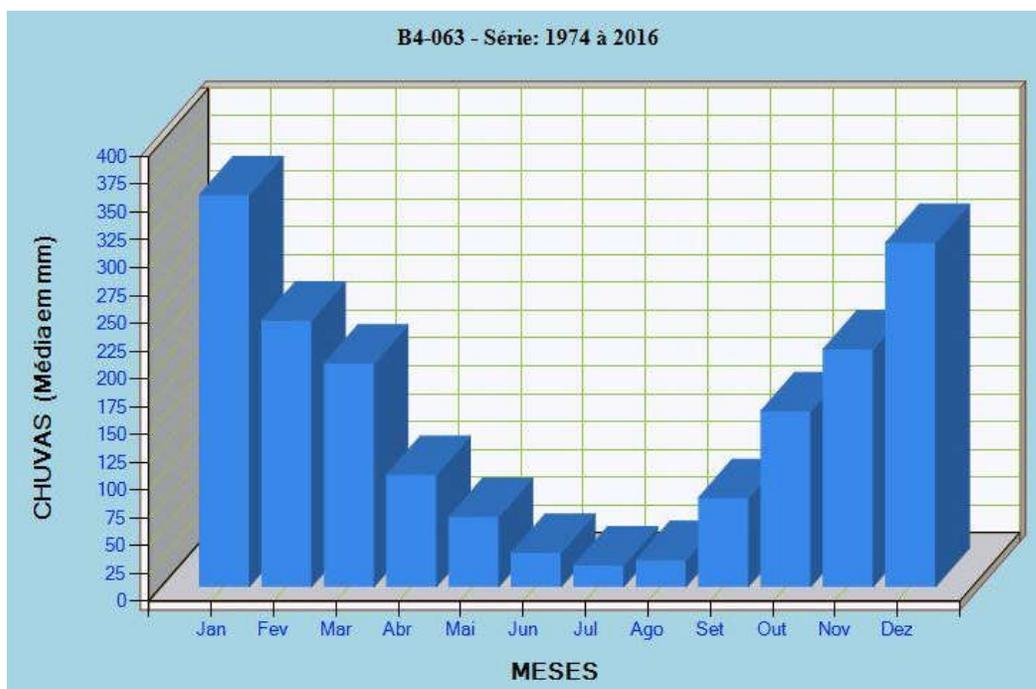


Gráfico 1: Variação da precipitação média mensal histórica de 1974 a 2016 (DAEE, 2016).

A série histórica de 1905 a 2002 (**Gráfico 2**) obtida pelo pluviômetro da Estação Ferroviária do Chapadão (a 6km da área de estudos), mostra uma precipitação média anual de 1753,6 mm. Essa média pode ser considerada elevada se comparada com a média do Estado de São Paulo que é de 1360 mm. As precipitações anuais são bastante variáveis ao longo do tempo. As menores foram em 1966 com 1024 mm, e as maiores em 1992 com 2557 mm. A variação da precipitação mostra que o verão contribui com 51% da precipitação total anual, o outono com 20%, o inverno com 4% e a primavera com 25% (**Gráfico 3**) (VIOTTO, 2007). Essa característica de estações bem definidas, com épocas de seca e chuva, são um alerta em relação a erosão, já que após os períodos de seca, o solo torna-se mais suscetível à ser carregado em suspensão pelos fluxos hídricos (GUERRA et al, 2009).

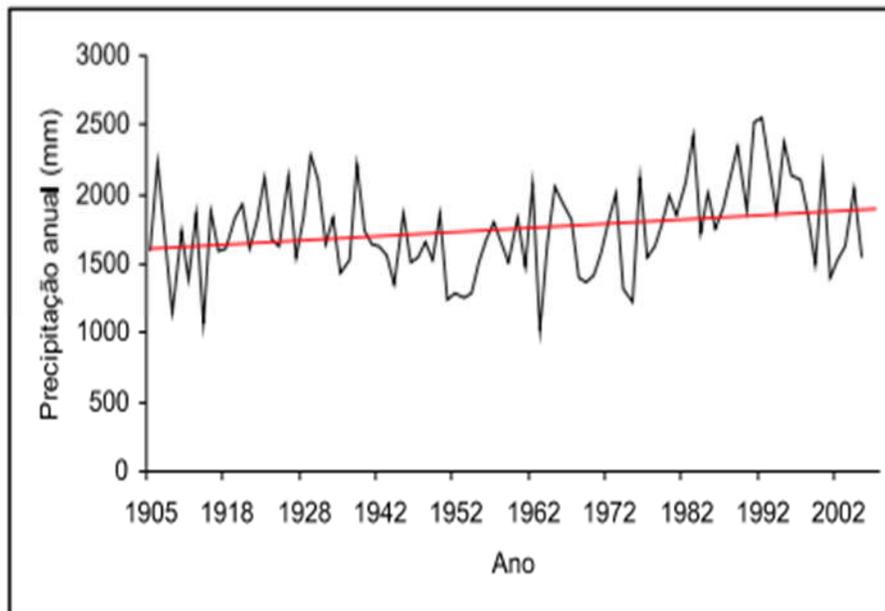


Gráfico 2: Variação da precipitação anual e linha de tendência ao longo da série histórica de 1905 a 2002 (VIOTTO, 2007)

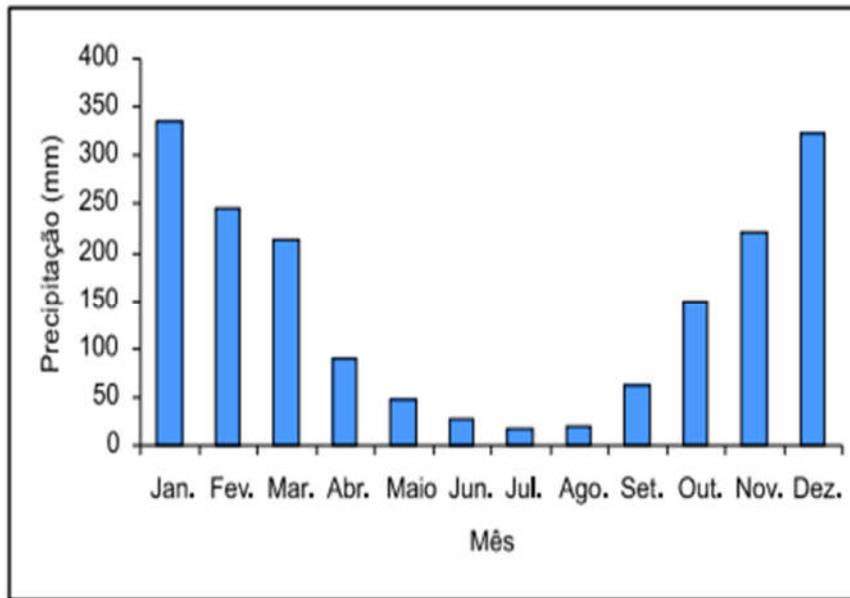


Gráfico 3: Distribuição da precipitação média mensal ao longo da série histórica de 1905 a 2002 (VIOTTO, 2007)

#### 4.1.5. Uso e cobertura da terra

A microbacia hidrográfica do ribeirão do Bom Jesus possui predominantemente uso da terra rural. A cobertura vegetal da microbacia hidrográfica foi extremamente alterada no decorrer da ocupação humana na região durante os últimos três séculos. Segundo Ab'Saber (1975) “a vegetação possuía a característica de área de fronteira fisiográfica entre os chapadões florestados do nordeste de SP e os chapadões cobertos de cerrado do Triângulo Mineiro”. No entanto, houve um desflorestamento quase total devido ao intenso plantio de café desde o século XIX. As fazendas localizadas na microbacia hidrográfica em análise são exemplos deste cenário. A maior parte de sua área está com plantações, predominantemente de café e cana, com pastos e algumas matas ciliares secundárias, porém, sem muitos remanescentes das extensas matas que ocuparam a área um dia, como mostra o mapa da **Figura 13**.

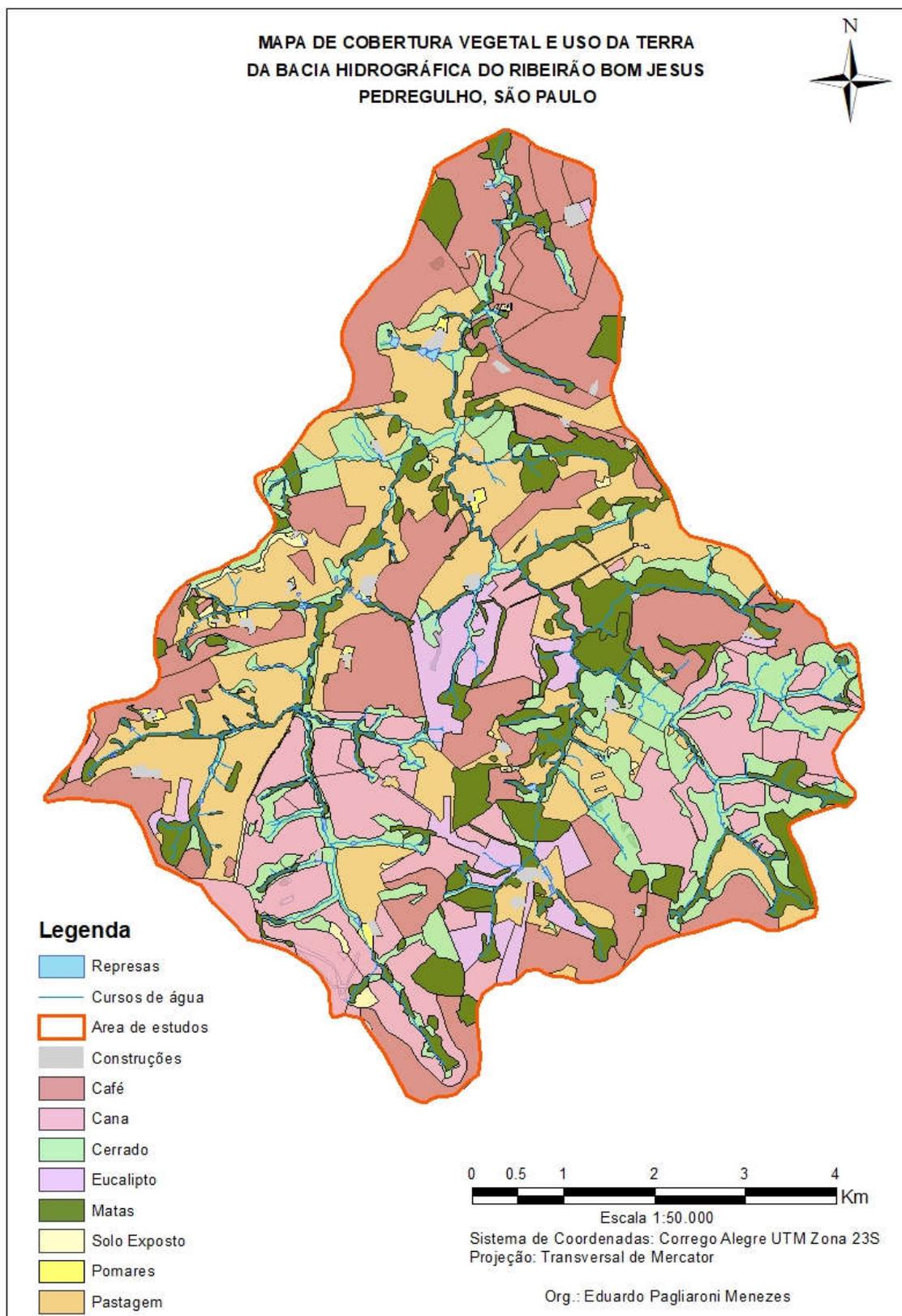


Figura 13: Mapa de cobertura vegetal e uso da terra

O cultivo de café é dominante (30.59%), mas existem também uma extensão considerável com cana de açúcar (17%). Há ainda o cultivo de pinus e eucalipto, em menor extensão, mas ainda assim significativa (5,02%).

Os pastos ocupam 12.33% da área e apresentam, em sua maioria, sinais de degradação, com pisoteio de gado, erosão laminar e em sulcos. Além do pisoteio do gado ao longo das vertentes, vários lugares próximos aos corpos d'água não possuem cercas que separam o gado dessas áreas, promovendo a degradação desses através do pisoteio do gado em áreas próximas a nascentes, erosão de barrancos das margens dos ribeirões e poluição da água por matéria fecal do gado.

As atividades hortifrutigranjeiras ocorrem em pequenos pomares e hortas (0.23%), geralmente ligadas ao consumo dentro das próprias fazendas, sem nenhuma lavoura extensa nessa categoria. Tradicionalmente região está condicionada a monoculturas e a produção de alimentos não é representativa a ponto de ser uma atividade econômica relevante na área (IBGE, 2016).

A vegetação natural, de estrato arbóreo mais denso, é composta de capoeiras baixas e florestas estacionais semidecíduas, estas últimas ocupando as encostas mais íngremes (poupadas do desmatamento pela dificuldade de mecanização da lavoura nessa declividade), e os fundos de vale (17.09%) geralmente em Áreas de Preservação Permanente (APP). Nas regiões mais elevadas, nos topos areníticos e sedimentares, existem áreas de cerrado com diferentes fisionomias: campo sujo, campo cerrado e cerrado (16.32%), no entanto estão amplamente degradadas, com apenas alguns remanescentes do que já foi a cobertura vegetal de outrora (BARBOSA & NUNES, 2001).

O **Quadro 13** sintetiza a divisão do uso atual da terra da área:

<b>Tipo</b>	<b>Área</b>	<b>%</b>
Café	14.69	30.59
Cana	8.63	17.97
Matas	8.21	17.09
Cerrado	7.84	16.32

Pastos	5.92	12.33
Eucaliptos	2.41	5.02
Solos Expostos	0.22	0.46
Pomares	0.11	0.23
<b>Total</b>	<b>48.03</b>	<b>100.00</b>

Quadro 13: Tipos de uso da terra, a área e sua porcentagem em relação ao total

## 4.2. A fragilidade ambiental potencial na Microbacia hidrográfica do ribeirão Bom Jesus

A análise da fragilidade ambiental prescinde de uma avaliação integrada dos componentes caracterizado individualmente. Segundo a metodologia de ROSS (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos de geomorfologia, declividade, solos e vegetação e uso da terra. Antes deste procedimento, porém, é apresentado um conjunto de análises experimentais da relação entre fragilidade ambiental e fatores isolados (declividade, uso da terra e solos), ou da combinação entre apenas alguns deles (declividade combinada com solos – declividade combinada com solos e uso da terra). Esses procedimentos visam avaliar como tais componentes influenciam na fragilidade ambiental da área, individualmente, e como é seu comportamento quando se relacionam com outros componentes. Após isso, os resultados da análise global da fragilidade, considerando a associação entre todas os componentes, será apresentada e discutida.

### 4.2.1. Fragilidade utilizando apenas a variável da declividade

Em relação à declividade, a área mostra todas as classes, de muito baixa até muito alta, espalhadas por toda microbacia como mostra o mapa da **Figura 14**. A quantidade relativa de cada classe é resumida pelo **Quadro 14**:

<b>Declividade</b>	<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Área (Km²)</b>	<b>%</b>
0-6%	1 - Muito Baixo	8.11	16.9
6-12%	2 - Baixo	22.98	47.9
12-20%	3 - Médio	12.83	26.7
20-30%	4 - Alto	3.52	7.3
> 30%	5 -Muito Alto	0.59	1.2
Total		48.03	100.0

Quadro 14: Fragilidade segundo o critério da declividade

A classe Muito Baixa (16.9%) está presente principalmente próximo aos topos planos das colinas ao sul e nos fundos de vale, em especial no centro da área. A declividade muito baixa tem pouca influência gravitacional nos fluxos hídricos de superfície, pois não fornece muita energia para o fluxo superficial das águas. Porém, nos fundos de vale, essa baixa declividade pode indicar áreas propensas a alagamentos.

A classe baixa (47.9%) é a mais predominante, preenche principalmente os trechos de média vertente da microbacia hidrográfica. A declividade entre 6 e 12% corresponde à metade da microbacia hidrográfica e indica o tipo de relevo dos reversos da cuesta: são colinas amplas, com baixa declividade, indicando que a ação da pedogênese/morfogênese ao longo do tempo suavizou o relevo (TRICART, 1977).

A classe média (26.7%) se localiza em alturas diferentes da vertente. Na área Sul, ela está localizada preferencialmente próxima aos topos, coincidindo com o contato entre os sedimentos e o basalto. Enquanto que na área Norte, elas estão próximas aos vales, indicando um maior entalhamento dos talvegues sobre o basalto.

A classe Alta (7.3%) e Muito Alta (1.2%) seguem essa tendência demonstrada pela classe média, no Sul coincidindo com o contato entre os sedimentos e os basaltos e no Norte próxima aos talvegues, indicando um entalhamento mais severo dos canais fluviais, que seguem por zonas de fratura do basalto.

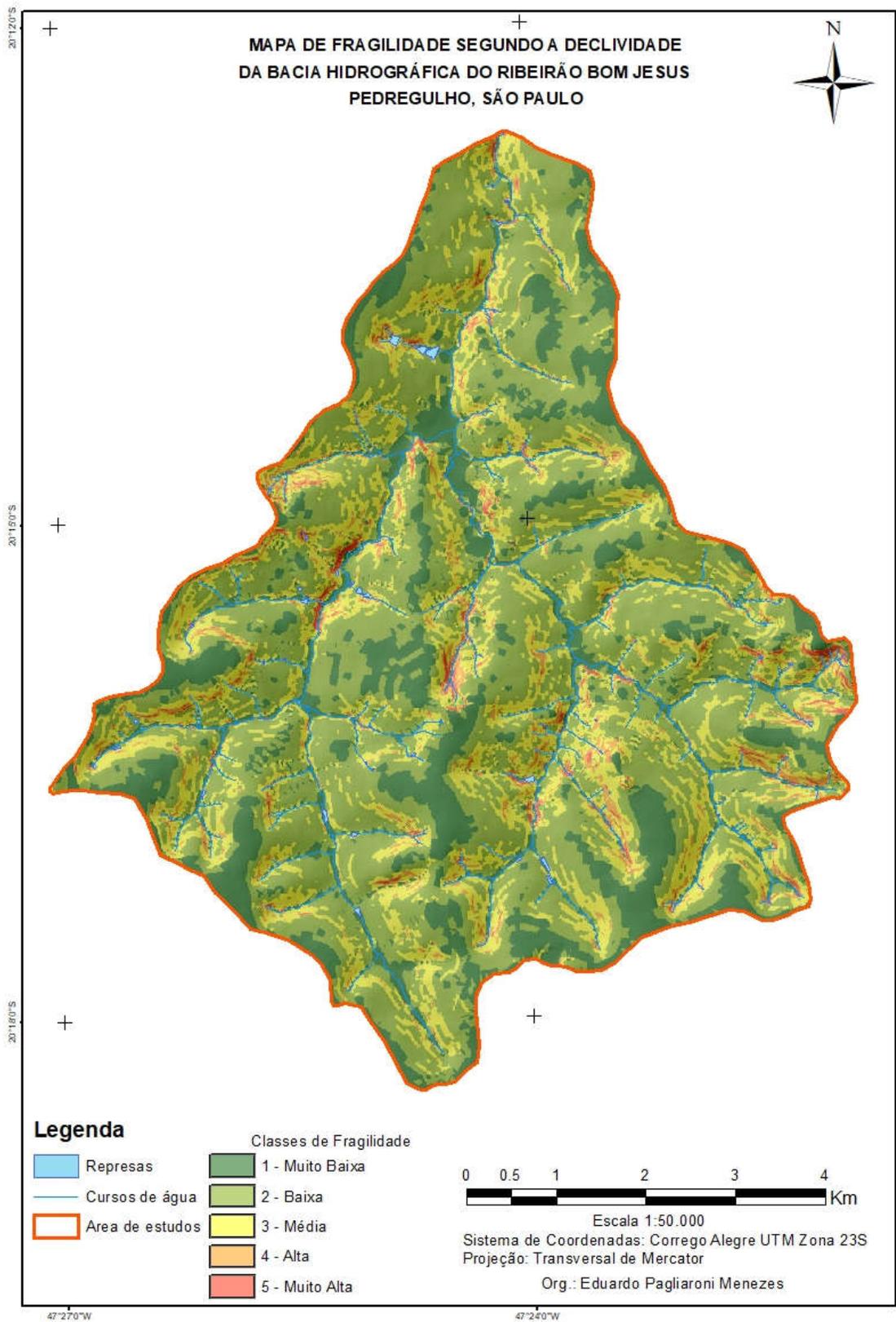


Figura 14: mapa de fragilidade segundo o critério da declividade

#### 4.2.2. Fragilidade utilizando apenas a variável uso da terra

Em relação a variável de uso e cobertura vegetal da terra o predomínio da cobertura é de plantações de café e cana. Há também uma extensa área de pastos. Já a cobertura vegetal por matas arbustivas, predominante do cerrado, corresponde a pequenas áreas, evidenciando a degradação. Em relação a matas mais densas, há matas cultivadas de eucalipto e pinus, e alguns remanescentes das matas naturais que um dia cobriram a área. O **quadro 15** evidencia essa divisão:

<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Tipos de cobertura vegetal</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
1 - Muito Baixa	Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.	7.15	14.88
2 - Baixa	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa); mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo.	6.95	14.46
3 - Média	Cultura de ciclo longo em curva de nível/terraceamento como o café, pastagem com baixo pisoteio.	12.93	26.91
4 - Alta	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café), culturas de ciclo curto (cana).	20.78	43.27
5 - Muito alta	Áreas desmatadas, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	0.23	0.48
Total		48.03	100

Quadro 15: Grau de fragilidade por tipo de cobertura vegetal, a área e a porcentagem em relação ao total.

O grau de fragilidade “1 - Muito baixa” (14.88%) corresponde às matas naturais densas que ocupam os anfiteatros e áreas mais declivosas e, também, às matas cultivadas com espécies nativas e exóticas que estão espalhadas por toda a microbacia hidrográfica.

A categoria “2 - Baixa” (14.46%) corresponde às matas arbustivas, capoeiras e cerrados que ocupam as áreas próximas aos cursos d’água, ou floresta plantadas de

pinus ou eucalipto que ocupam as áreas mais planas na parte central da microbacia, em grandes polígonos bem definidos.

A categoria “3 - Média” (26.91%) corresponde aos pastos com baixo pisoteio de gado e estão espalhadas por toda a área em polígonos grandes que se encontram entre uma lavoura de cultivo e outra.

A categoria “4 - Alta” (43.27%) corresponde às plantações de café de baixa densidade (com “ruas” largas entre as carreiras de plantas para a utilização de maquinário) e de cana, e são a maior parte da área, espalhadas igualmente por toda a microbacia hidrográfica.

A categoria “5 - Muito alta” (0,48%) corresponde ao solo exposto e está presente principalmente nas estradas de terra e no Sudoeste da área, nos topos arenosos próximos a rodovia SP-334.

Podemos ver que a predominância de lavouras de café e de cana coloca a classe 4 de fragilidade em grande parte da área (43,27%) (**Figura 15**). Isso ocorre porque o café, cultivado da forma que é, ou seja, à pleno Sol, toda a cobertura vegetal é removida para o seu plantio, e expõe a superfície às intemperes do clima e ação das águas pluviais. Isso ocorre principalmente nos seus primeiros anos de vida (quando o solo fica completamente exposto, como podemos ver na **Figura 25**), fazendo com que a área passe a ser muito suscetível à ação da erosão.

A cana não é diferente. Durante seu plantio, o solo é arado e fica completamente exposto, e como o sistema de plantio segue um esquema de lavouras extensivas, grandes áreas ficam desprotegidas de cobertura vegetal. No entanto, quando a cana cresce, ela cobre toda a terra, não deixando muito espaço em ruas ou entre os pés de cana (espaço que geralmente é coberto por capim que nasce junto com a cana), o que é positivo do ponto de vista da proteção oferecida ao solo.

Além disso, a compactação do solo causada pelo intenso fluxo de maquinário agrícola, em especial durante a colheita, mas não só durante esse evento, como também durante o ano inteiro quando se faz adubagem, calagem ou o uso de agrotóxicos, compacta o solo, destruindo sua estrutura diminuindo a capacidade de infiltração da

água. A água que não infiltra pode, então, gerar fluxos concentrados que são fortes agentes de erosão (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985).

Em relação ao uso de agrotóxicos, a cana é a 4ª e o café é a 5ª lavoura que mais usam agrotóxicos no Brasil (ficando atrás apenas da soja, milho e citros) (CAMPANHOLA & BETTIOL, 2003) o que traz grandes impactos à fauna da microbacia, inclusive a microfauna do solo e a fauna aquática do ribeirão. Esses compostos químicos podem atingir os corpos d'água diretamente, através da água da chuva e da irrigação, ou indiretamente através da percolação no solo, chegando aos lençóis freáticos, ou até mesmo por dispersão aérea no caso de pesticidas aplicados por pulverização (ARIAS et al, 2007).

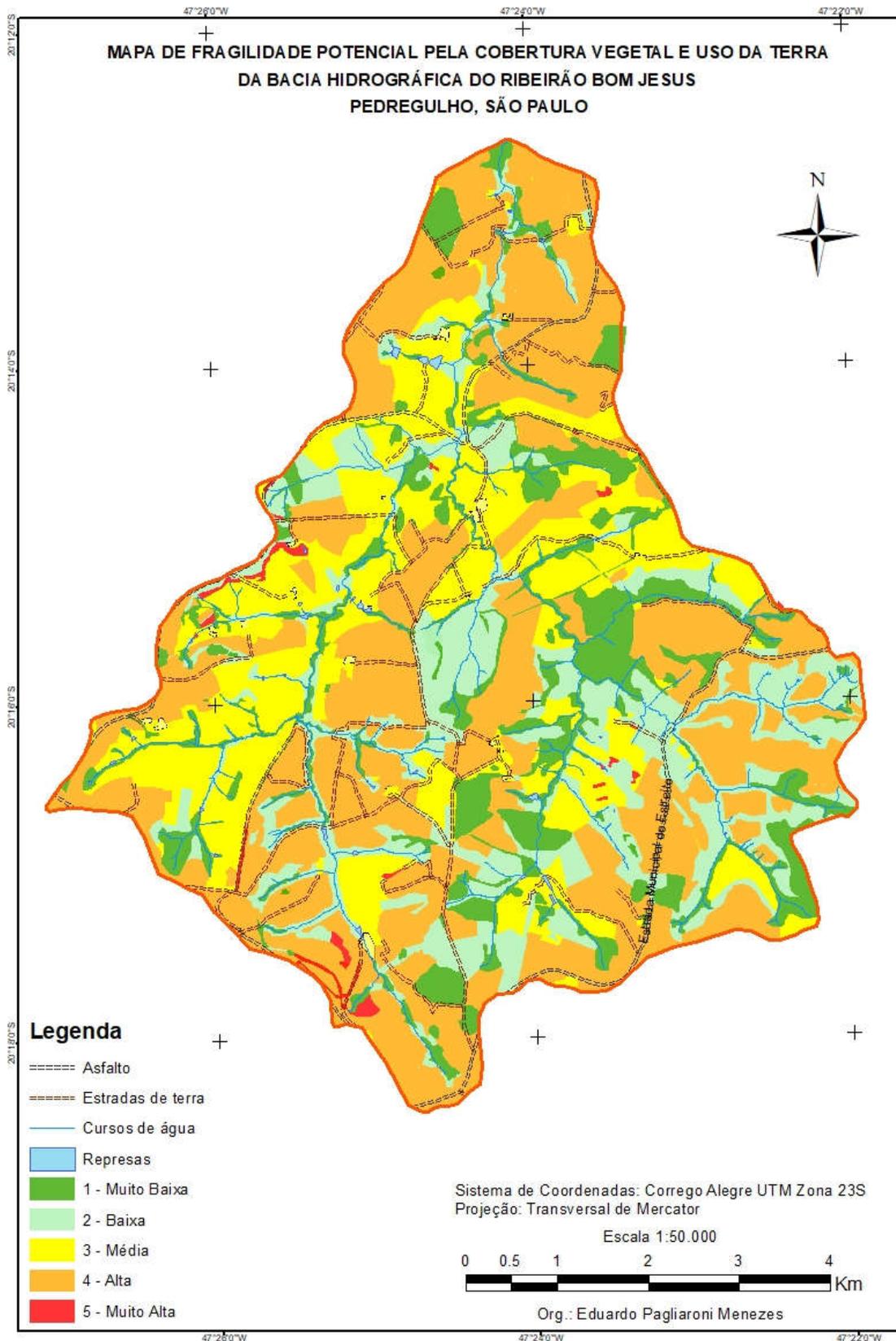


Figura 15: Mapa de fragilidade pelo critério da cobertura vegetal e uso da terra

#### 4.2.3. Fragilidade utilizando apenas a variável solo

Para o critério de hierarquização da variável solo, foram considerados os tipos de solos encontrados na área de estudo, classificando-os de acordo com a proposta de ROSS (1994) e SPORL (2001)

Essa classificação leva em consideração as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessura dos horizontes superficiais e subsuperficiais. Assim os solos são classificados de acordo com a sua fragilidade em cinco níveis, indo de fragilidade “Muito baixa” até “Muito alta”. Na área foram encontrados dois tipos de solos de forma predominante, conforme mostra o **Quadro 16**:

Grau de Fragilidade	Tipos de Solos	Área (Km <sup>2</sup> )	%
1 - Muito Baixa	Latossolos Vermelhos distróficos	21.53	44.83
2 - Baixa	Latossolos Vermelho-Amarelos	26.5	55.17
Total		48.03	100.00

Quadro 16: Grau de fragilidade dos tipos de solo, sua área e a porcentagem em relação ao total

Os Latossolo Vermelho distrófico (41.64%) que estão na parte central da microbacia hidrográfica. E os Latossolos Vermelho-Amarelos (54.13%) nas bordas da microbacia hidrográfica na parte Sul (**Figura 16**). Apesar de haverem outros tipos de solos em manchas menores por toda a microbacia hidrográfica, não foi possível mapeá-los para a utilização neste trabalho, pois exigiria um grande projeto de pesquisa apenas para isso.

O fator solo exibe uma propriedade física muito boa para a utilização humana, o que é uma das características dos Latossolos. Os Latossolos, devido ao intenso processo de intemperismo e lixiviação, possuem poucos ou quase nenhum mineral facilmente intemperizáveis e/ou argilas 2:1, por outro lado os óxidos de alumínio e ferro ocorrem em maior quantidade devido a concentração residual, além das argilas 1:1, tornando-os excelentes para o plantio se tiverem seu pH corrigido e forem fertilizados (LEPSCH, 2002, 2011). São bem desenvolvidos, profundos, porosos e com agregados coesos, o que os torna resistentes à erosão. Por isso, exibem poucas feições de erosão em sulcos (geralmente impulsionadas pelo pisoteio do gado) e não foram encontradas voçorocas, apesar da completa degradação da vegetação da área.

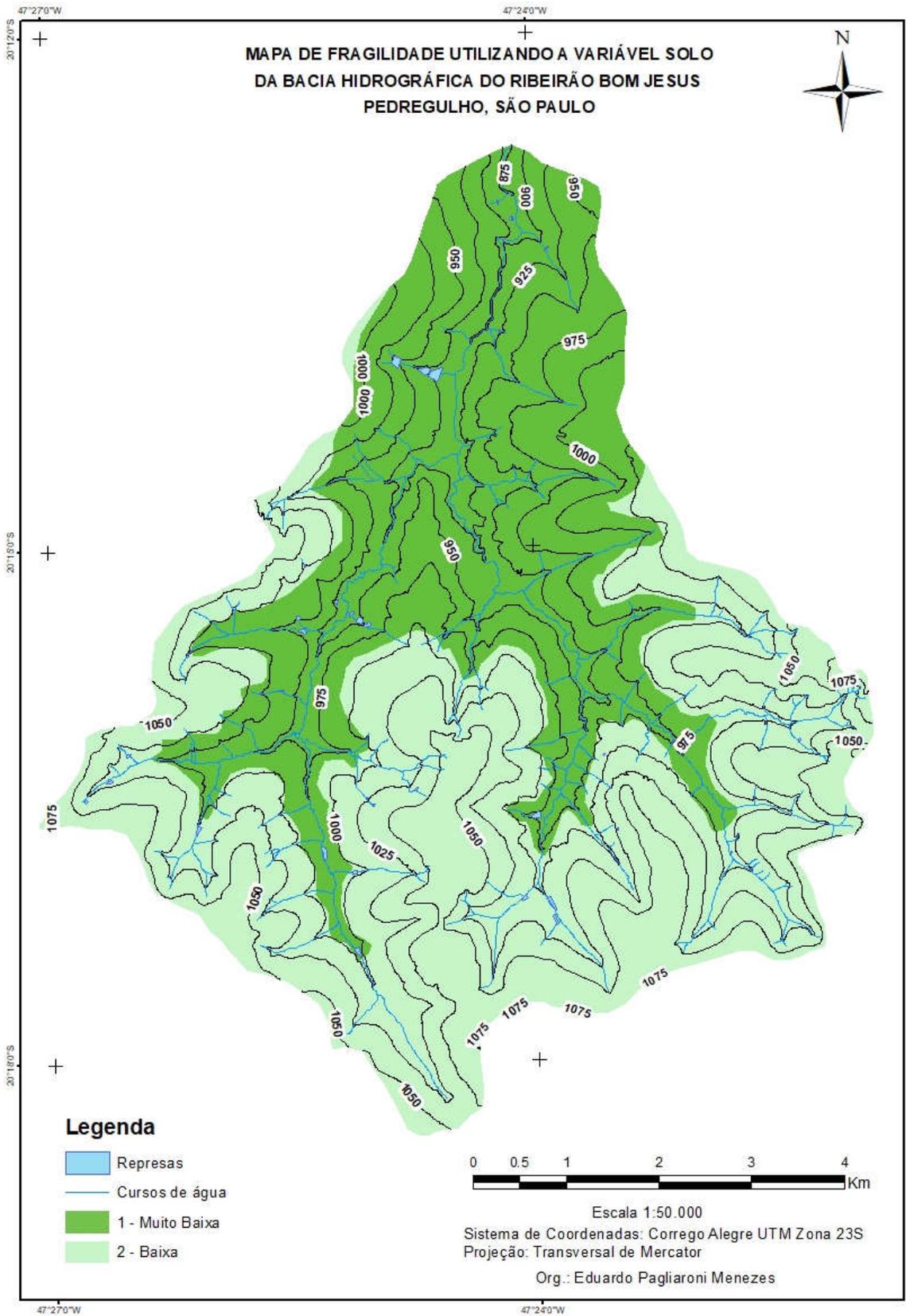


Figura 16: mapa de fragilidade ambiental utilizando a variável solos

#### 4.2.4. Fragilidade combinada das variáveis declividade e uso da terra

Para a fragilidade baseada na combinação entre a declividade e o uso da terra foi criada uma matriz (**Quadro 17**) que agrupa os dígitos em categorias que representam seu grau de fragilidade. O primeiro número é relacionado a declividade e o segundo a cobertura vegetal. Por exemplo, uma área com os dígitos 24 representa um grau de fragilidade relacionado a declividade baixa (2) e ao da cobertura vegetal de alta (4). Apesar da declividade ser nível 2, a fragilidade desta área é classificada como 4 (alta), pois apesar da declividade ser considerada um fator de baixo risco, a configuração da cobertura vegetal, por outro lado, exibe um grau de fragilidade alto.

Grau de Fragilidade					
1 - Muito Baixa	11	12	13	14	15
2 - Baixa	21	22	23	24	25
3 - Média	31	32	33	34	35
4 - Alta	41	42	43	44	45
5 - Muito alta	51	52	53	54	55

Quadro 17: matriz da combinação da fragilidade ambiental das variáveis declividade (primeiro dígito) e uso da terra (segundo dígito)

Assim, essa matriz foi agrupada em 5 graus de fragilidade (**Quadro 18**). Sob essa combinação o mapa da área exibe principalmente as classes alta, com praticamente metade da área (49.97%), e média (34.87%) (**Figura 17**).

Grau de Fragilidade	Área (km <sup>2</sup> )	%
1 - Muito Baixa	1.11	2.31
2 - Baixa	5.35	11.14
3 - Média	16.75	34.87
4 - Alta	24.00	49.97
5 - Muito Alta	0.82	1.71
<b>Total</b>	<b>48.03</b>	<b>100</b>

Quadro 18: A área e a porcentagem do grau de fragilidade segundo critérios da declividade

A categoria “1 - Muito Baixa” aparece em pequenas manchas, geralmente nos fundos de vale, onde a declividade é baixa e a vegetação é mais densa devido as matas galeria e APPs, que são protegidas por Lei.

A categoria “2 - Baixa” aparece em todo o mapa principalmente nos setores de baixa vertente e vegetação arbustiva densa ou mata secundária, além de florestas de pinus e eucalipto sem sub-bosques.

A categoria “3 - Média” aparece em todo o mapa principalmente nas áreas de média vertente, com declividade média. É formada principalmente de pastos com baixo pisoteio.

A categoria “4 - Alta” é a classe mais abundante e representa as áreas de média a alta vertente, com declividade indo de baixa até média, com cobertura vegetal de plantações de café e cana.

A categoria “5 - Muito Alta” aparece em todo o mapa em pequenas áreas geralmente em setores côncavos de vertente que apresentam o entalhamento mais severo que reflete na declividade mais alta ou em partes onde o solo está exposto, principalmente na área oeste da microbacia hidrográfica, onde há grandes manchas de solo exposto com feições morfológicas ativas, como marcas de erosão em sulco e laminar.



#### **4.2.5. Análise integrada e a fragilidade potencial do ambiente**

De forma geral, após a aplicação do modelo de Fragilidade Potencial dos Ambientes Naturais a área foi classificada predominante com o grau “4 - Alto” com 49% da área, principalmente na área Centro-Sudoeste e nos topos das colinas, onde há áreas mais íngremes e ao mesmo tempo com a cobertura vegetal removida e substituída por pastos ou plantações de café.

Apesar da classificação de potencial de fragilidade alto, não se pode falar que o meio seja instável segundo o conceito ecodinâmico de Tricart (1977). A ação da morfogênese pluvial é determinante para algumas geometrias encontradas na área de estudo, porém, é importante observar que nas áreas de colinas não há feições morfodinâmicas significativas, como ravinas ou voçorocas, o que foi comprovado pela observação das imagens de satélite e da conferência em campo. Assim, pode-se assumir, apesar do potencial de fragilidade alto, que a área tem mais influência da pedogênese do que da morfogênese.

Ainda podemos notar que nas bordas mais altas, onde os topos planos circulam os limites da microbacia hidrográfica, apesar da classificação de baixa vulnerabilidade de acordo com a declividade, essas áreas possuem solos latossólicos com maior percentual de areia, ou até mesmo pedregosos e pouco desenvolvidos. Essas rochas de origem arenosa, aliadas à remoção da cobertura vegetal, utilização de culturas que expõe o solo provocaram (e provocam) o aparecimento de uma série de marcas de erosão laminar e em sulcos, visíveis principalmente próximas às estradas e construções, além de serem constantes nas lavouras de café e nos pastos.

Além dessas condições pedológicas desfavoráveis dos topos de base sedimentar, também houve, no passado, a remoção da vegetação original que era cerrado (AB´SABER, 1964), para a utilização da lenha como combustível e das terras como pastagem e, principalmente, para o cultivo de café, e, em seguida, por cana. Isso fez com que grandes áreas de solo ficassem expostas, desprotegidas da ação da erosão laminar e em sulcos produzida pela ação dos fluxos hídricos.

Para a confecção do mapa de fragilidade os três mapas de fragilidade anteriores foram combinados e conjuntos de 3 dígitos foram designados para cada pixel do mapa.

Nessa fase do processamento dos dados, a resolução do mapa teve que mudar de 1 m por pixel para 15 m por pixel, pois o computador não conseguiu lidar com todos os cálculos necessários para a produção do raster de resolução mais detalhada.

Nesta confecção do mapa os três dígitos apresentam as 3 variáveis. Por exemplo, uma área com dígitos 342 apresenta a variável declividade como média entre 12 e 20% (3), a variável cobertura vegetal como alta por ser café (4) e a variável solo como baixa Latossolo Vermelho-amarelo (2). Todas as combinações encontradas na microbacia hidrográfica, com o cálculo de sua área e da porcentagem que ela representa, estão no **quadro 19** a seguir (o mapa por sua vez, está em anexo):

Digito	Classe	Área (Km <sup>2</sup> )	%
111	1 – Muito Baixa	0.62	1.30
112	2 - Baixa	0.57	1.18
121	2 - Baixa	0.57	1.20
122	2 - Baixa	0.61	1.27
131	3 - Média	0.55	1.14
132	3 - Média	0.92	1.91
141	4 - Alta	0.91	1.90
142	4 - Alta	3.29	6.84
151	5 – Muito Alta	0.00	0.01
152	5 – Muito Alta	0.03	0.06
211	2 - Baixa	1.29	2.69
212	2 - Baixa	1.04	2.16
221	2 - Baixa	1.01	2.11
222	2 - Baixa	1.06	2.21
231	3 - Média	3.39	7.05
232	3 - Média	2.89	6.02
241	4 - Alta	4.82	10.03
242	4 - Alta	7.38	15.37
251	5 – Muito Alta	0.02	0.03
252	5 – Muito Alta	0.04	0.07
311	3 - Média	1.10	2.29
312	3 - Média	1.26	2.62
321	3 - Média	0.81	1.68
322	3 - Média	1.63	3.39

331	3 - Média	2.08	4.33
332	3 - Média	1.96	4.08
341	4 - Alta	1.48	3.08
342	4 - Alta	2.49	5.19
351	5 – Muito Alta	0.00	0.01
352	5 – Muito Alta	0.08	0.16
411	4 - Alta	0.49	1.02
412	4 - Alta	0.53	1.10
421	4 - Alta	0.32	0.66
422	4 - Alta	0.83	1.74
431	4 - Alta	0.46	0.96
432	4 - Alta	0.40	0.84
441	4 - Alta	0.16	0.34
442	4 - Alta	0.28	0.59
451	5 – Muito Alta	0.00	0.01
452	5 – Muito Alta	0.05	0.11
511	5 – Muito Alta	0.13	0.27
512	5 – Muito Alta	0.11	0.24
521	5 – Muito Alta	0.08	0.17
522	5 – Muito Alta	0.14	0.29
531	5 – Muito Alta	0.07	0.15
532	5 – Muito Alta	0.04	0.08
541	5 – Muito Alta	0.01	0.02
542	5 – Muito Alta	0.02	0.03
551	5 – Muito Alta	0.00	0.00
552	5 – Muito Alta	0.01	0.02
Total		48.03	100

Quadro 19: matriz de fragilidade ambiental combinando as três variáveis

Na área, os conjuntos 242, 241, 231, 142, 232 e 342 corresponderam a 50% da área. O dígito do meio, que representa a cobertura vegetal, foi o principal influenciador no mapa. Isso nos indica que o predomínio do café, cana e pastos condiciona a fragilidade da área entre Média e Alta.

Para a confecção final da legenda, as classes de fragilidade foram agrupadas em 5 grupos, de Muito Baixa até Muito Alta exibidas no **Quadro 20**.

<b>Grupo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
1 – Muito Baixa	0.62	1.30
2 – Baixa	6.15	12.80
3 – Média	16.58	34.51
4 – Alta	23.85	49.66
5 – Muito Alta	0.82	1.71
<b>Total</b>	<b>48.03</b>	<b>100</b>

Quadro 20: Classes de fragilidade, área e porcentagem do total

Esses índices demonstrados no **Quadro 20** identificam o grau de fragilidade ambiental da área. Evidenciam as áreas que foram preservadas e estão em equilíbrio dinâmico, e aquelas que sofreram alteração desse equilíbrio e são áreas de instabilidade morfodinâmica. A representação cartográfica desses dados deu origem ao mapa de fragilidade ambiental potencial da microbacia do ribeirão Bom Jesus (**Figura 18**) o mapa em escala 1:10.000 está no **Anexo I**.

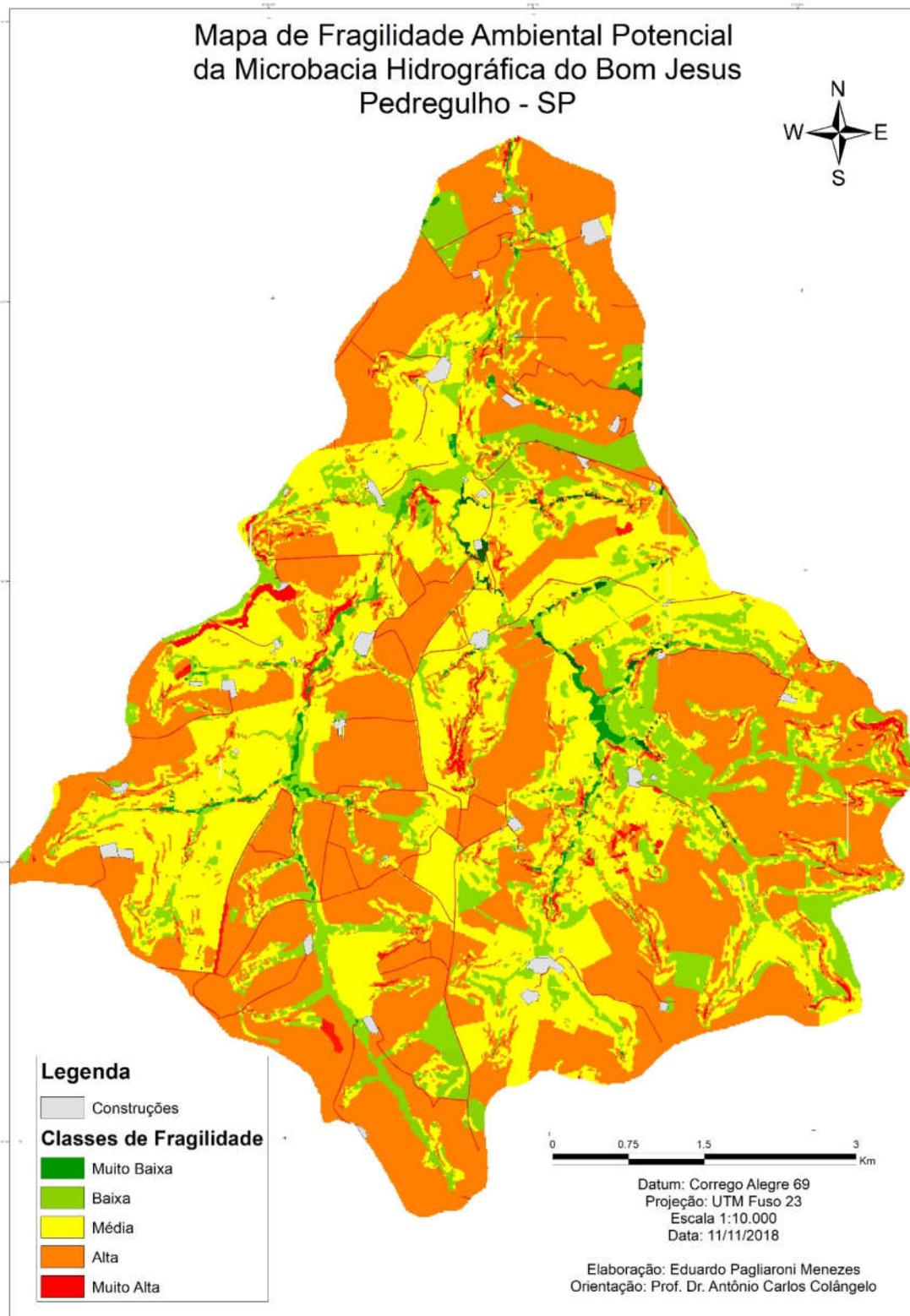


Figura 18: Mapa de fragilidade potencial da microbacia do ribeirão Bom Jesus

Finalmente, a distribuição da fragilidade ambiental da microbacia hidrográfica condicionada pela combinação dos fatores analisados se dá da seguinte maneira:

A classe “1 – Muito Baixa” (1,38%) (**Figura 19**) é a com menor percentual na área e aparece principalmente nos fundos de vale da área central da microbacia hidrográfica, onde a declividade é a mais baixa, a vegetação ainda é arbórea e relativamente densa e o solo é Latossolo Vermelho bem desenvolvido formado nos basaltos (**Figura 20**). São áreas planas, com solo profundo, formado por colúvios das colinas adjacentes e com manchas de matas ciliares. Apesar da classificação “1 – Muito baixa” isso não quer dizer um sinal verde para a degradação, muito pelo contrário. Essas áreas possuem características que permitem uma certa estabilidade morfodinâmica, e, para continuarem assim, devem ser protegidas.



Figura 19: Foto de área com classe “1 - Muito Baixa” localizada em fundo de vale



Figura 20: Basalto aflorando na parte central da microbacia hidrográfica.

A classe “2 – Baixa” (12,80%) também segue os fundos de vale, mas é mais extensa. Ela segue os canais fluviais, onde a declividade é mais baixa, a vegetação é composta por mata arbustiva e matas galeria e o solo é Latossolo Vermelho bem desenvolvido (**Figura 21**). São áreas que se tornaram Áreas de Preservação Permanentes (APP), geralmente próximas aos canais fluviais e nascentes. Possuem vegetação mais densa, composta por matas relativamente densas, ou em estado de recuperação. A declividade é baixa e são áreas que não possuem muita enxurrada dos fluxos hídricos. As vezes os solos são rasos por causa dos afloramentos de basalto ou veios de quartzo que mudam a estrutura do solo, tornando-o mais friável e, conseqüentemente, mais fácil de ser levado pelos fluxos hídricos.



Figura 21: Transição entre uma plantação de café e uma mata galeria e arbustiva.

A classe “3 – Média” (34,51%) aparece em toda a microbacia hidrográfica. Geralmente ela segue as partes de média vertente da microbacia hidrográfica, com a declividade sendo média, com pastos de baixo pisoteio e Latossolos (**Figura 22**). São áreas com vegetação arbustiva naturais ou plantadas. A cobertura arbustiva garante certa proteção aos solos e a declividade média também não é um fator que impulse em demasiado a força das águas superficiais. Entretanto, os caminhos usados pelo gado condicionam os fluxos hídricos e pontos de erosão em sulcos aparecem por toda a área classificada como essa categoria.



Figura 22: Pasto com algum pisoteio em média vertente

A classe “4 – Alta” (49,66%) aparece em toda a microbacia hidrográfica. Ela se torna mais fragmentada em certas áreas, quando é definida pela declividade, por isso podemos ver manchas laranjas dentro de áreas amarelas, pois isso indica uma acentuação da declividade, o que aumenta a energia potencial dos fluxos hídricos podendo aumentar a capacidade erosiva das águas. Outras partes de Alta fragilidade são os grandes polígonos que representam as plantações de café e cana, que são classificadas como alta fragilidade, pois expõe o solo em demasiado aos efeitos da erosão (**Figuras 23 e 24**). Logo, mesmo os solos sendo Latossolos, não garantem proteção contra a erosão por falta de proteção de uma cobertura vegetal mais densa.



Figura 23: Plantação de café em média vertente.



Figura 24: Plantação jovem de café, com o solo muito exposto

A classe “5 – Muito Alta” (1,71%) aparece em pequenas manchas, em especial no centro e oeste da microbacia hidrográfica, causadas por alta declividade das encostas em certas áreas de nascentes, ou por solos expostos. Os solos se tornaram expostos por vários motivos, desde a remoção para o cultivo, até por pisoteio de gado. Podemos ver que a erosão em sulcos causada por pisoteio de gado existe em ocorrências pontuais por toda a área de pasto e sua gravidade é aumentada quando se localizam em alta declividade (**Figura 25**). Também há o solo que fica expostos por vários meses esperando o plantio, o que o torna muito suscetível a ação da erosão laminar e em sulcos (**Figura 26**). Além desses impactos, ainda há os problemas causados pelas estradas de terra, que devido a vários fatores, exibem problema de erosão laminar e em sulcos por toda a extensão (**Figura 27**).



Figura 25: Morro de declividade muito alta com solo exposto por erosão em sulcos.



Figura 26: Plantação de café com o solo completamente exposto



Figura 27: Exemplo de erosão em sulcos presente em toda as estradas de terra

#### 4.2.6. Discussão dos Resultados

É necessário o bom senso para perceber que a proteção do meio ambiente não deve ser tratada apenas como uma obrigação imposta por lei, mas sim que deveria se tornar um hábito para todos, principalmente para aqueles que ocupam e usam diretamente a terra para sobreviver. Por isso, a proteção do meio ambiente tem que ser vista como uma necessidade básica para garantir a sobrevivência sustentável tanto as gerações atuais, quanto as futuras (GUERRA et al, 2009). Se a paisagem é uma herança (AB´SABER, 2012) é necessário consciência e sabedoria para que não se deixe uma herança maldita para as próximas gerações que vierem a ocupar a área.

A fragilidade dos ambientes no contexto dessa bacia está ligada a forma inadequada do uso e manejo do solo, desconsiderando-se os limites naturais das características da área. As maiores degradações da área vêm através da erosão laminar das lavouras, erosão em sulcos próximo as estradas, compactação do solo por gado e maquinário agrícola, da eliminação da vegetação em áreas de cabeceira prejudicando os mananciais e envenenamento dos corpos d'água e solo por fertilizantes e agrotóxicos.

O café, em diversos estudos, é evidenciado que é uma das culturas que mais expõe o solo e favorece a perda de solo, sendo justa a sua classificação de fragilidade como "4 – Alta". Marques et al (1961, apud ROSS, 1994) calculou uma média de 0,9 ton/he/ano no Estado de São Paulo. Já Franco et al. (2002) quantificando a perda de solos e nutrientes na zona da mata de Minas Gerais, observaram que sistemas de café a pleno sol, apresentaram perda média de 2.6 ton/he/ano. Domingos (2006) chegou a resultados de 2.94 ton/he/ano de perda de solos.

Os números variam, mas mesmo assim são muito mais elevados se comparados a outras diversas lavouras e coberturas vegetais, como, por exemplo, 0,04 ton/he/ano nas matas naturais e 0,4 ton/he/ano nas pastagens (Marques et al, op cit). A título de curiosidade, um fazendeiro, com uma propriedade próxima a escarpa, disse que é necessária fazer a dragagem de uma represa no ribeirão Bom Jesus de 1 a 2 vezes ao ano para que o reservatório seja de fato eficiente, pois quando ele assoreia, a capacidade do reservatório se torna muito baixa. Por esse exemplo podemos refletir sobre a quantidade de solo que é perdida ano a ano.

Não foram encontradas ravinas ou voçorocas na área, porém, o café e a cana são lavouras que trazem os impactos bem menos visíveis, mas ainda sim muito graves, da erosão laminar e do envenenamento dos recursos hídricos. A fraca proteção das áreas deixa os solos quase que totalmente expostos e no período de chuva (outubro a março), imediatamente após o período de seca (que vai de maio a setembro), que ficam à mercê dos impactos erosivos pluviais, representado pelo splash, escoamento difuso e concentrado, evidenciando o poder da água no carregamento do solo, mesmo em áreas mais planas (ENDES, 2006; GUERRA et al, 2009).

Na questão do uso de químicos tóxicos na lavoura, uma das alternativas ao uso de agrotóxicos seria o café orgânico. Segundo a Organização Internacional do Café (2002 apud LOPES et al, 2014), como ocorre com outros produtos postos à venda como orgânicos, o café classificado como orgânico é vendido aos consumidores com a garantia de que provém de fonte segura, confiável e direta, sem passar pela mão de múltiplos comerciantes e distribuidores. Trata-se um café sadio, sem o uso de produtos químicos, como fertilizantes e pesticidas, tóxicos à saúde humana e animal e sem poluir ou contaminar os recursos naturais. (LOPES et al, 2014)

Já vimos que a fragilidade do ambiente da bacia se dá principalmente pela exposição do solo as intemperes causada pelas lavouras de café e cana, entretanto, os processos erosivos em áreas de cultivo podem ser minimizados ou controlados com a aplicação de práticas de conservação, que têm como concepção fundamental a máxima infiltração e menor escoamento superficial das águas pluviais.

As técnicas são listadas em Guerra et al (2009) e Lepsch (2002) como vegetativas, edáficas e mecânicas. As técnicas vegetativas e edáficas são as mais apropriadas, pois além de deixarem as áreas em condições mais próximas ao seu estado natural, também são as de mais fácil aplicação. Já as mecânicas devem ser adotadas em terrenos muito suscetíveis à erosão, ou em caráter mais urgente, de contenção de perda de solo em áreas de solo exposto.

As práticas de caráter vegetativo são, entre outras:

- Plantas de cobertura: trata-se do cultivo de plantas (preferencialmente nativas) em espaços dos terrenos, entre as culturas, essa prática mantém o solo coberto e protegido durante o período chuvoso.

- Cultura em faixas: plantio de outras culturas em faixas intercaladas com as lavouras anuais. Franco et al. (2002) quantificando a perda de solos e nutrientes na zona da mata de Minas Gerais, observaram que sistemas agroflorestais com café apresentaram perda média de solo de 217,3 kg/ha/ano, bem inferior às 2.6 ton/he/ano dos sistemas a pleno Sol.
- Cordões de vegetação permanente: fileiras de plantas perenes e de crescimento denso dispostas em determinados espaçamentos, sempre em contorno, seguindo as curvas de nível da topografia.
- Alternância de capinas: intercalação nas capinas de maneira que a manter parcelas da área em cultivo com mato, imediatamente abaixo de outra recém-capinada.
- Quebra ventos: barreiras densas de árvores protegendo da erosão eólica.

Já as práticas de caráter edáfico são práticas conservacionistas que mantêm ou melhoram as condições de fertilidade do solo e, indiretamente, controlam a erosão devido ao crescimento de plantas que protegem o solo com suas raízes e aumentam a coesão dos agregados do solo devido a matéria orgânica. Destacam-se entre as técnicas:

- Adubação verde e plantio direto: consiste no enterro de restos vegetais para incorporar matéria orgânica no solo e de plantio direto, deixando os restos vegetais de outras culturas que são mantidos na superfície do solo, garantindo cobertura e proteção do mesmo.
- Adubação orgânica: uso de esterco animal e compostos orgânicos ao invés de fertilizantes químicos.
- Rotação de cultura: plantio de diferentes tipos de lavoura numa mesma gleba, visando o controle de doenças e pragas, além da melhoria das características físicas e biológicas do solo.

As práticas de caráter mecânico são estruturas de canais e aterros com a finalidade de controlar o escoamento superficial das águas e facilitar a sua infiltração. Algumas técnicas são:

- Plantio em curvas de nível: consiste na plantação seguindo as curvas de nível, perpendiculares ao ângulo da vertente, com o objetivo de impedir o fluxo livre da água pluvial, controlando a erosão.
- Terraceamento: tipo especial de sulco, valeta ou camalhão, que além de ter o objetivo de bloquear o fluxo hídrico, ainda procura conduzir o excesso de água para pontos de captação.
- Canais escoadouros vegetados: são canais de dimensão apropriada para a quantidade de fluxo hídrico, e são capazes de transportar, com segurança, a água do escoamento superficial vinda das curvas de nível e terraceamento.

Já a erosão causada próxima as estradas derivam de muitos fatores: imprecisão nos projetos de drenagem, não observação da natureza dos terrenos quanto a suscetibilidade a erosão, desinteresse em obras complementares ao projeto da estrada propriamente dita, falta de manutenção, etc. (GUERRA et al, 2009). Entre as medidas recomendadas para o controle de erosão nas estradas (BIGARELLA & MAZUCHOWSKI, 1985; SANTOS et al, 1985) estão:

- Proteção vegetal: vegetação das áreas adjacentes as estradas, como taludes, aterros, valetas, sangras, etc., utilizando plantas adaptadas a região, de forma a trazerem a máxima proteção possível ao solo.
- Valetas/canaletas vegetadas: canais construídos em locais de concentração de água, direcionando o fluxo para represas e caixas de infiltração, principalmente nas bordas das estradas.
- Sangras laterais: são saídas para a água, devem ser construídas acompanhando as curvas de nível, com espaçamento compatível com a quantidade de água transportada pelas canaletas
- Dissipadores de energia: devem ser construídos em lugares sujeitos a fluxo excessivo de água, por exemplo, ao longo das canaletas nas laterais das pistas de rodagem. Podem ser barragens, escadas, caixas de infiltração, etc.

## 5. Considerações Finais

A aplicação de modelos não corresponde totalmente à realidade, mas fornece um resultado aproximado que pode nos auxiliar no planejamento da ocupação humana dos ambientes naturais. Os modelos computacionais são abstrações da realidade, construídas a partir referências à conceitos e cálculos matemáticos. Já a natureza é caótica, onde é difícil traçar limites quantitativos e qualitativos dos fatores que influenciam o meio, portanto, a natureza pode não responder de forma que o modelo previa. Gouveia e Ross (2019) exploram o tema da aplicação de modelos de fragilidade até hoje, testando novos modelos e comparando-os, em busca de um modelo que se adeque cada vez mais à realidade.

Mas, apesar de suas limitações, os modelos servem para fornecer um nível básico de aproximação, ao exibir de forma compreensível a diferenciação de uma área para outra, categorizando a paisagem em compartimentos com características físicas e comportamentos semelhantes. Dessa forma, um modelo pode servir como primeira aproximação à realidade de uma determinada área, mas a aplicação de um modelo não deve substituir, em completo, o estudo caso a caso.

Uma das principais vantagens desse tipo de análise baseada em modelos, como o de fragilidade ambiental, é a criação de uma ferramenta útil para o planejamento e gerenciamento da ocupação humana de ambientes. A visualização das características de uma área em categorias, com cores, faz com que, em uma primeira vista, uma visão geral da área e sua situação seja proporcionada ao apreciar o mapa temático baseado na fragilidade potencial do ambiente.

Há o perigo de condicionar a visão das pessoas em direção a uma interpretação simplista da realidade, mas devemos tentar impedir isso, ao bater na tecla de que um mapa nunca representa a realidade de forma completa. E precisamos sempre analisar a área e não confiar totalmente em mapas. Pois o mapa pode ser enviesado de muitas maneiras, tendendo mostrar a informação de acordo com os interesses de quem o produz.

No caso específico fragilidade ambiental, espero que este trabalho tenha trazido alguma luz para o entendimento da dinâmica da área baseado nas suas características de relevo, cobertura vegetal e solos. Partindo-se desse conhecimento,

o controle dos processos degradantes torna-se possível, ao se aplicar uma postura conservacionista para a área. Por fim, a preocupação com as características naturais dos ambientes deve ser introduzida no planejamento da ocupação e na legislação ambiental.

## 6. Bibliografia

AB´SÁBER, A. N.. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. São Paulo, Ateliê Editorial. 2012.

AB´SÁBER, A. N. O Planalto de Franca: Estudos Básicos Para Planejamento Regional. São Paulo, Geografia e Planejamento, nº 15, p. 1-16, 1975.

AB´SABER, A. N. A terra paulista. Boletim Paulista de Geografia, (nº 23), 1956.

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, n.8, 1977, Campina Grande. Atas... São Paulo: SBG, 1977.

AMARAL, R. do; ROSS, J. L. S. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. GEOUSP: Espaço e Tempo (Online), n. 26, p. 59-78, 2009.

ARIAS, A. R. L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. Ciência & Saúde Coletiva, v. 12, p. 61-72, 2007.

BARBOSA, L.M. & NUNES, J.A. (coords.). Atlas das unidades de conservação do Estado de São Paulo, parte II: interior. São Paulo, Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Metalivros. 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI-NETO, F. Fatores que influem na erosão. BERTONI, J. & LOMBARDI-NETO, F. Conservação do solo, v. 3, p. 45-67, 1993.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, São Paulo, n. 13, p.1-27, 1971. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo. Tradução de Olga Cruz de trabalho publicado em 1968 na Revue Geographique de Pyrinées et du Sud-Ouest, Toulouse, 39 (3): 249 – 272.

BIGARELLA, J. J; MAZUCHOWSKI, J. Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: Simposio de controle de erosao, 3. ABGE, 1985.

CANIL, K. Processos erosivos e planejamento urbano: carta de risco de erosão das áreas urbana e periurbana do município de Franca, SP. São Paulo. São Paulo, DG-FFLCH-USP, Dissertação de Mestrado, 2000

CAMPANHOLA, C.; BETTIOL, W. Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil. Embrapa Meio Ambiente - Capítulo em livro científico (ALICE), 2003.

CASSETI, V. Geomorfologia. 2005. Disponível em <http://www.funape.org.br/geomorfologia/> acessado em 20/02/2017

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Ed. Edgard Blücher. 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. Vol I - O canal fluvial. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda., 1981, 313p.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1972.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br> Acesso em: 10 outubro 2016.

DOMINGOS, J. L. Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA / IAC – INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. Mapa pedológico do Estado de São Paulo – legenda expandida. Campinas: IAC/Embrapa, 1999. Escala 1:500.000.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2018.

ENDRES, P. F. et al. Quantificação das classes de erosão por tipo de uso do solo no município de Franca-SP. Engenharia Agrícola, p. 200-207, 2006.

ESRI, in <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/how-fill-works.htm> acessado em 20/10/2018

FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na Zona da Mata de Minas Gerais. Revista Árvore, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002.

GUERRA, A. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Bertrand Brasil, 2009.

HACK, J. T. Dynamic equilibrium and landscape evolution. Theories of landform development, v. 1, p. 87-102, 1975.

HELLMEISTER JR., Z. Aspectos geológicos e principais recursos minerais da região de Franca-Pedregulho, nordeste do Estado de São Paulo. SÃO PAULO, IGC, Dissertação de Mestrado, 1997

HOLZER, W. "Paisagem Imaginário e Identidade: alternativas para o estudo geográfico." Eduerj n.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/interativos/arquivos/downloads> Acesso em: 10 outubro 2016

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Solos do Brasil 1:5.000.000 – 2011

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (1992). Folha Córrego São João SF-23-V-A-II-3-NO-B, 013/093. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Folha Serra da Faquinha SF-23-V-A-II-3-NE-A, 014/093. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Folha Ribeirão da Água Limpa do Indaiá SF- SF-23-V-A-II-3-NO-D, 013/094. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Folha Pedregulho II SF-23-V-A-II-3-NO-A, 013/092. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Folha Parque Ecológico do Bom Jesus SF-23-V-A-II-1-SO-F, 012/093. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

IGC – INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. Folha Ribeirão do Bom Jesus SF-23-V-A-II-1-SO-E, 011/093. São Paulo, 1992. Escala 1:10.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes para a elaboração do Plano da Microbacia hidrográfica do Sapucaí-Mirim/Grande São Paulo: IPT/CBHSMG, 2000, minuta relatório 40672, 138p.

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500 000. Vol II. 1981

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, p. 16-21, 2005.

LEMOS, R.C. de; SANTOS, R.D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 178 p. 2002.

LEPSCH, I. F. 19 Lições de Pedologia - 1. ed. - São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIBAULT, A. Os Quatro níveis da pesquisa geográfica, folheto, USP – Instituto de Geografia, 1971

LOPES, P. R. et al. Uma análise as consequências da cafeicultura convencional e as opções de modelos sustentáveis de produção–agricultura orgânica e agroflorestal. REDD–Revista Espaço de Diálogo e Desconexão, v. 8, n. 2, 2014.

MEDEIROS, J. S. de; CÂMARA, G. Geoprocessamento para projetos ambientais. 2001.

MIRANDOLA, P. H. A trajetória da tecnologia de sistemas de informação geográfica (SIG) na pesquisa geográfica. Revista Eletrônica AGB-TL, v. 1, n. 1, p. 21-37, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F. A dinâmica climática e as chuvas no Estado de São Paulo: estudo geográfico sob a forma de Atlas. São Paulo: IG/USP, 1973

MONTEIRO, C. A. de F. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. Revista de Ciências Humanas, v. 14, n. 19, p. 67-100, 1996.

NIMER, E. 1989. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M. & CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas, Instituto Agrônomo/EMBRAPA Solos. Campinas. 1999. 64p.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Caracterização morfométrica de microbacia hidrográficas através de dados SRTM. 2010.

ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica para o planejamento ambiental, rev. Do departamento de geografia, nº 9, FFLCH-USP - São Paulo, 1991.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. Rev. Departamento de geografia, nº 6, FFLCH – USP, São Paulo, 1992.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, rev. Departamento de geografia, nº 8, FFLCH – USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. Revista do Departamento de Geografia, v. 9, p. 65-75, 1995.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Rev. Do Departamento de Geografia, nº 10, FFLCH – USP, São Paulo, 1996.

ROSS, J. L. S. Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental. 2006.

SANTOS, A. R.; PASTORE, E. L.; AUGUSTO, F. Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação. In: Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação. IPT, 1985.

SANTOS C., et al. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. Revista Brasileira de Cartografia, v. 2, n. 58, 2006.

SANTOS, M. (2002). A natureza do espaço: técnica e tempo - razão e emoção. São Paulo, Edusp.

SANTOS, R. D. DOS.; LEMOS, R. C. DE.; SANTOS, H. G. DOS.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. DOS.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6ª ed. Rev. Amplia. – Viçosa, MG. SBCS, 2013.

SANTOS, I.; VITTE, A.C. Proposta de Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Microbacia hidrográfica do Rio Palmital, Região Metropolitana de Curitiba. Congresso de Geobiohidrologia, 1998.

SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1977.

SÃO PAULO (Estado) – Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. v. 1. 94pg. 1981.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 16, n.32, p. 71-104, 1976.

SOBRINHO, T. A. Delimitação automática de bacia hidrográficas utilizando dados SRTM. 2010.

SPÖRL, C.; CASTRO, E.; LUCHIARI, A. Aplicação de redes neurais artificiais na construção de modelos de fragilidade ambiental. Revista do Departamento de Geografia, v. 21, p. 113-135, 2011.

SPÖRL, C; ROSS, J. L. S. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. Geosp – Espaço e Tempo. São Paulo: Edusp, n. 15, p. 39-49. 2004.

SPÖRL, C. Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Microbacia hidrográficas do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001

VILLELA, F. N. J. Fragilidade Potencial do Relevo: Estudo Geomorfológico da Microbacia hidrográfica Hidrográfica do Ribeirão da Mococa - Cristais Paulista/SP. São Paulo, DG-FFLCH, Dissertação, 2005

VIOTTO, A.; CICCIO, V.; ARCOVA, F. C. S.; RANZINI, M.; SANTOS, J. B. A.; Estudos Pluviométricos na região do parque Estadual das Furnas do Bom Jesus, SP – Instituto Florestal, Série Registros, nº 31, p. 269-273, jul. 2007.

VITTE, A. C., GUERRA, A. J. T; Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil In BOTELHO, R. G., SILVA, A. S. (Org.) Microbacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

VON BERTALANFFY, L. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1975.

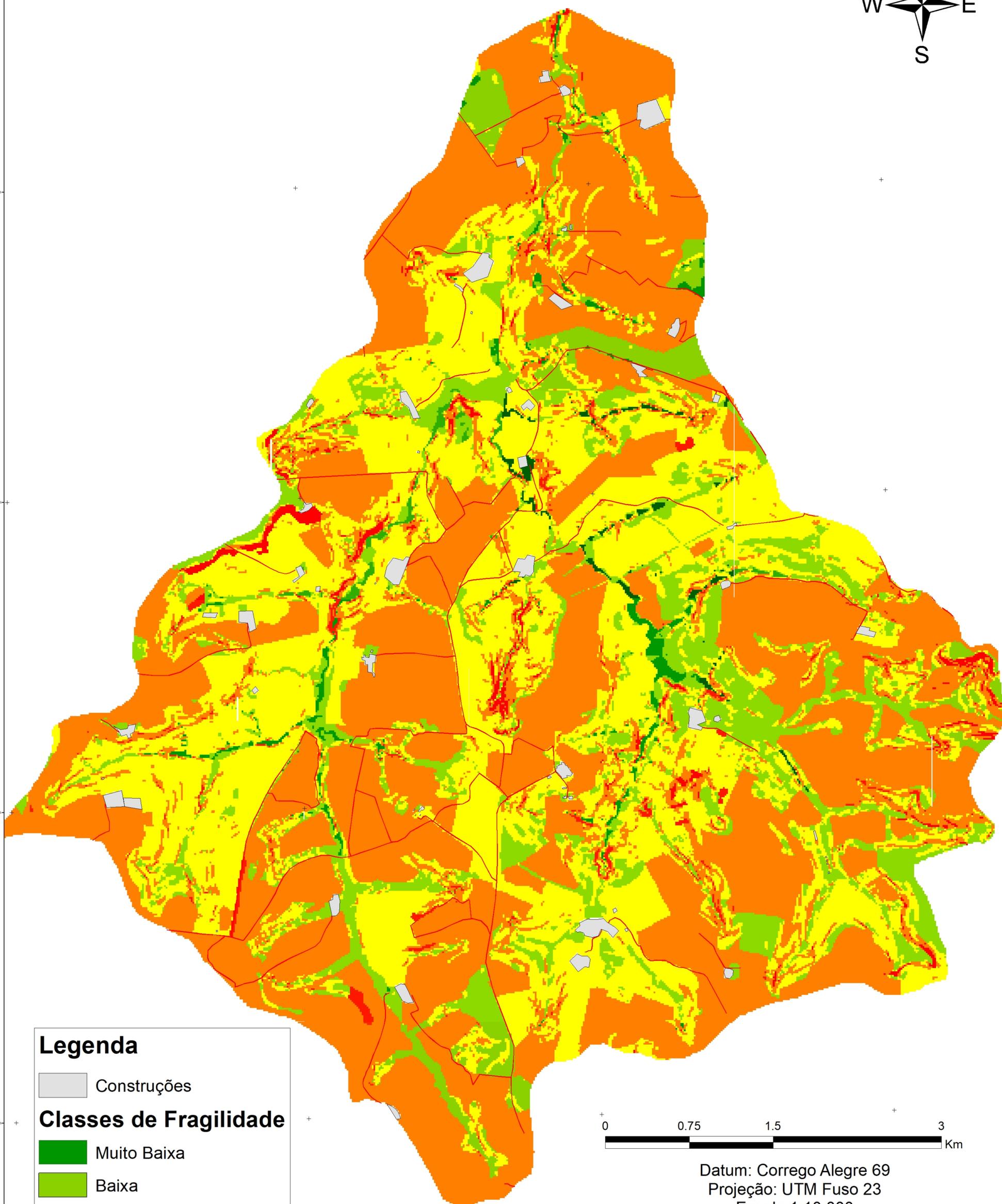
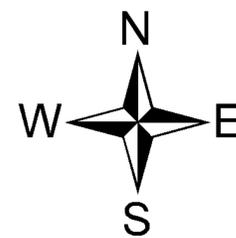
TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.

TRICART, J.; KILLIAN, J. La Eco-Geografía y La Ordenación del Medio natural. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982, 288 p.

TROPMAIR, H; GALINA, M.H. Geossistemas. Mercator, ano 05, número 10, 2006

## Anexo I

# Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial da Microbacia Hidrográfica do Bom Jesus Pedregulho - SP



## Legenda

 Construções

## Classes de Fragilidade

 Muito Baixa

 Baixa

 Média

 Alta

 Muito Alta



Datum: Corrego Alegre 69

Projeção: UTM Fuso 23

Escala 1:10.000

Data: 11/11/2018

Elaboração: Eduardo Pagliaroni Menezes  
Orientação: Prof. Dr. Antônio Carlos Colângelo