



UNIVERSIDADE DE  
**vassouras**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
Mestrado Profissional em Ciências Ambientais

**RENATO FARNEZI DOS SANTOS**

**Mapeamento e Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia  
Hidrográfica do Rio Ubá**

**Vassouras, RJ**  
**2020**



**RENATO FARNEZI DOS SANTOS**

## **Mapeamento e Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ubá**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu - Mestrado Profissional em Ciências Ambientais - da Universidade de Vassouras, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irenilda Reinalda B.de R. M.Cavalcanti

**Vassouras, RJ**

**2020**

Santos, Renato Farnezi dos

Mapeamento e Avaliação da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ubá / Renato Farnezi dos Santos. - Vassouras: 2020.  
ix, 34 f. : il. ; 29,7 cm.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Irenilda Reinalda Barreto de Rangel Moreira Cavalcanti .

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Profissional em Ciências Ambientais - Universidade de Vassouras, 2020.

Inclui Ilustrações e Bibliografias.

1. Geoprocessamento. 2. Fragilidade Ambiental. 3. Análise Ambiental. I. , Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Irenilda Reinalda Barreto de Rangel Moreira Cavalcanti. II. Universidade de Vassouras. III. Título.



**Ata da Defesa de Dissertação  
(Mestrado Profissional em Ciências Ambientais)**

Aos trinta e um dias do mês de agosto de 2020, às dezesseis horas, via videoconferência, reuniu-se em sessão pública a Comissão Examinadora constituída pelos professores Dra. Irenilda Reinalda Barreto de Rangel Moreira Cavalcanti (Universidade de Vassouras), Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira (Universidade de Vassouras), Dr. Julio Henrichs de Azevedo (IBAMA) e Dra. Cristiane Borborema Chaché (Universidade de Vassouras), sob a presidência do primeiro, para a Defesa da Dissertação do Mestrando **RENATO FARNEZI DOS SANTOS**, intitulada: **“MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UBÁ”**.

A banca deliberou:

---

Pela aprovação. A Banca ofereceu sugestões para melhorias no texto.

---

Vassouras, 31 de agosto de 2020.

*Irenilda RBRM Cavalcanti*

Dra. Irenilda Reinalda Barreto de Rangel Moreira Cavalcanti  
Orientador

*Cristiane de Souza Siqueira Pereira*

Dra. Cristiane de Souza Siqueira Pereira  
Examinador Interno

*Julio Henrichs de Azevedo*

Dr. Julio Henrichs de Azevedo  
Examinador Externo

*Cristiane Borborema Chaché*

Dra. Cristiane Borborema Chaché  
Examinador Interno



UNIVERSIDADE DE  
**VASSOURAS**



Dedico este trabalho à minha família.

## AGRADECIMENTO

Agradeço ao Deus que sou capaz de conceber e Suas inúmeras manifestações através de familiares, professores, amigos e anônimos que contribuíram de diversas formas para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Irenilda Reinalda Barreto de Rangel Moreira Cavalcanti que com seu carinho e incentivo tornou possível alcançar este patamar.



## RESUMO

A bacia hidrográfica, também conhecida como bacia de drenagem, constitui o sistema de melhor recorte analítico do ambiente, pois relaciona os processos físico-naturais do relevo e os elementos da organização socioeconômica. Este sistema pode sofrer desequilíbrios de ordem natural ou social. A susceptibilidade da ocorrência destes desequilíbrios é dito a fragilidade ambiental. O presente trabalho hierarquizou e mapeou os diferentes graus de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ubá. Foram gerados mapas intermediários de declividade, pluviosidade, solos e cobertura vegetal. Esses mapas foram combinados utilizando a álgebra de mapas para a identificação e localização dos diferentes graus de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Ubá. Utilizando Modelos Digitais de Elevação do projeto RJ25 do IBGE a rede de drenagem foi mapeada e dimensionada. A partir deste foi possível calcular os índices morfométricos que fornecem parâmetros necessários ao conhecimento do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. No mapeamento realizado foi utilizada a hierarquização dentro das seguintes classes de fragilidade: muito baixa (1), baixa (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). O produto final deste trabalho é o Mapa de Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Ubá que constitui importante instrumento para o seu zoneamento ambiental. As classes de fragilidade predominantes na bacia hidrográficas são média e forte. Dos componentes ambientais analisados, a cobertura vegetal é o mais sensível e sua destruição pode aumentar o grau de fragilidade. Isso demonstra a necessidade de plano de manejo na bacia hidrográfica onde a cobertura vegetal seja avaliada com frequência.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Fragilidade Ambiental, Análise Ambiental



## ABSTRACT

The hydrographic basin, commonly referred to as a drainage basin, constitutes the system with the best ambient analytic section because it takes into account the physic-natural processes in the topography and its relation with the elements of socioeconomic organization. This system may suffer interference from natural or social sources. The susceptibility of these interferences is named environmental fragility. This work's objective is to rank and map different grades of environmental fragility of the Ubá River's hydrographic basin. Intermediate maps of height, pluviometry, soil, and vegetal cover were created. These maps are combined using map algebra to identify and localize the different grades of environmental fragility in the current hydrographic basin. Using Digital Elevation Models from the RJ125 project from IBGE, mapping and dimensionalizing the drainage basin. From these, morphometric indexes are calculated, providing necessary parameters to the hydrographic basin's hydrologic behavior knowledge. The mapping realized uses the hierarchy contained in the following fragility classes: very low (1), weak (2), medium (3), high(4). This work's product is the Ubá River's Hydrographic Basin Environmental Fragility Map which constitutes an important tool for its environmental zoning. The predominant grade in the hydrographic basin is medium to high. From the environmental parameters analyzed, the vegetal cover is the most sensitive, and its destruction affects the fragility grade. That shows the necessity of a hydrographic basin's management plan, where the vegetal cover is frequently reviewed.

**Keywords:** Geoprocessing, Environmental Fragility, Environmental Analysis



## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Área de drenagem da bacia do Rio Ubá distribuída pelos municípios
- Tabela 2 - Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade
- Tabela 3 - Graus de fragilidade associados à erodibilidade das classes de solos
- Tabela 4 - Graus de proteção ao solo fornecido pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais
- Tabela 5 - Classes de fragilidade da variável pluviosidade
- Tabela 6 - Classes de fragilidade
- Tabela 7 - Hierarquia de drenagem
- Tabela 8 – Distribuição dos graus de fragilidade em função da declividade
- Tabela 9 – Distribuição dos graus de fragilidade na bacia hidrográfica



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de localização e rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Ubá
- Figura 2 – Comitês de Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul
- Figura 3 – Mapa de declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá
- Figura 4 – Mapa de solos na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá
- Figura 5 – Mapa de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá
- Figura 6 – Mapa de fragilidade ambiental em função da declividade
- Figura 7 – Mapa de fragilidade ambiental em função do tipo de solo
- Figura 8 – Mapa de fragilidade ambiental em função da cobertura vegetal
- Figura 9 – Mapa de fragilidade ambiental em função da precipitação anual
- Figura 10 – Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ubá



## SUMÁRIO

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                 | 10 |
| 2. JUSTIFICATIVA.....               | 11 |
| 3. OBJETIVOS.....                   | 14 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS .....        | 15 |
| 5. RESULTADOS ALCANÇADOS .....      | 24 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....       | 30 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 31 |

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo inadequado dos recursos naturais tem como consequência a crescente degradação ambiental. Nas últimas décadas, o homem vem se conscientizando que a água é um bem finito e que sem este recurso ele não tem condições de sobrevivência.

A bacia hidrográfica, também conhecida como bacia de drenagem, constitui um sistema que é o melhor recorte analítico do ambiente, pois relaciona os processos físico-naturais do relevo e os elementos da organização socioeconômica (VILELA FILHO, 2005). Este sistema pode sofrer desequilíbrios de ordem natural (grau de declividade, grau de erodibilidade, variações climáticas) ou de ordem social como o uso indevido do solo, intervenções em regimes fluviais, técnicas impróprias de cultivo. A fragilidade ambiental é a suscetibilidade de ocorrência de desequilíbrios (ROSS, 1994).

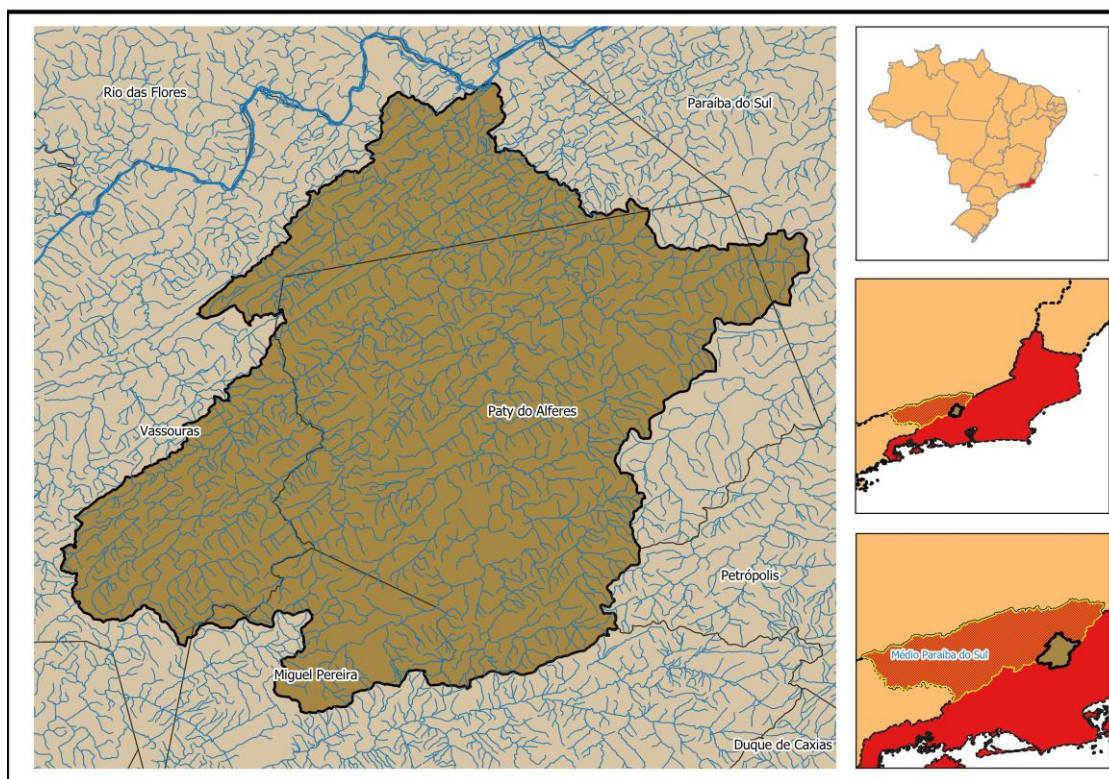
Para a identificação dos diferentes graus de fragilidade dentro da bacia hidrográfica, importante subsídio ao planejamento ambiental, é necessário conhecer seu comportamento hidrológico por meio da análise de parâmetros morfométricos.

A bacia hidrográfica estudada neste trabalho é a do Rio Ubá. Sua área de drenagem inicia no município de Miguel Pereira, distrito de Governador Portela. As águas correm em direção a Paty do Alferes e alcançam o Rio Paraíba do Sul no distrito de Andrade Pinto, em Vassouras, no estado do Rio de Janeiro. Essa bacia faz parte da região hidrográfica chamada Médio Paraíba do Sul.

## 2. JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa se justifica por buscar elementos para a identificação de fatores que diagnosticam problemas em bacias fluviais. Para tanto, este estudo enfoca a bacia hidrográfica do Rio Ubá.

Figura 1 – Mapa de localização e rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Ubá.



Fonte: IBGE (2018), SIGA-WEB (2020).

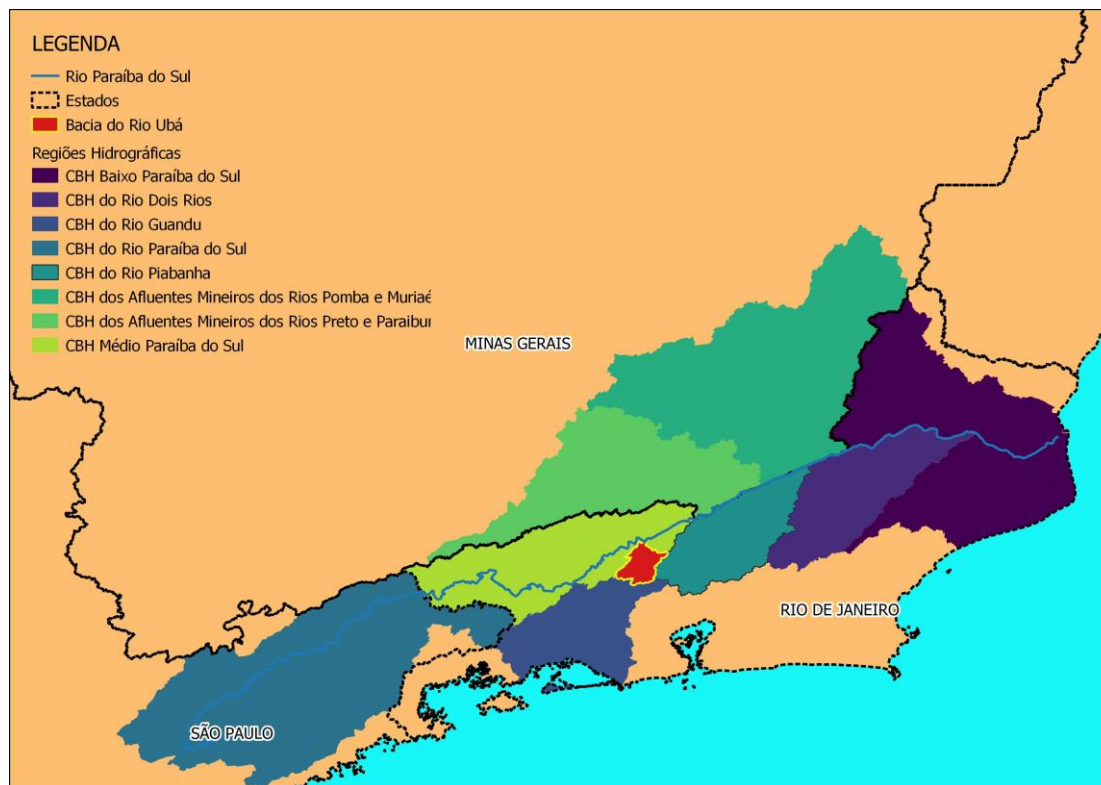
Organização do autor.

Segundo a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, publicada pelo IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018), o Rio Ubá nasce no município de Paty do Alferes, no Estado do Rio de Janeiro, onde recebe as águas do Rio do Saco cuja nascente situa-se no município de Miguel Pereira, distrito de Governador Portela. Após passar pelo município de Paty do Alferes, o Rio Ubá alcança o Rio Paraíba do Sul no distrito de Andrade Pinto, município de Vassouras. Esse rio faz parte

da região de abrangência do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul (Figura 1).

A CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul reconhece a bacia do Rio Ubá como uma das ottobacias do Rio Paraíba do Sul, ligada ao Comitê de Bacia do Médio Paraíba (Figura 2). Essas ottobacias são identificadas pela metodologia de identificação de bacias hidrográficas proposta pelo engenheiro Otto Pfafstatter. O objetivo é aperfeiçoar o gerenciamento das bacias hidrográficas e maior controle das ações antrópicas. Trata-se de um método hierárquico que tem como base a topografia do terreno (GOMES, 2011).

Figura 2 – Comitês de Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: SIGA-WEB (2020).

Organização do autor.

A bacia hidrográfica constituída pelo Rio Ubá e seus afluentes formam uma rede de drenagem com área de 440,05 km<sup>2</sup> (SIGA-WEB, 2014). Esta bacia alcança os municípios de Miguel Pereira, Paty do Alferes, Vassouras e Paraíba do Sul (Tabela 1).

Aproximadamente 60% da bacia está atualmente no território de Paty do Alferes que, somada a área ocupada em Vassouras, alcança cerca de 90% da área drenada. Por esta razão, eventos históricos ocorridos nestes municípios influenciaram o ambiente na área de drenagem em questão e devem ser considerados para o entendimento da situação atual de degradação.

Tabela 1 - Área de drenagem da bacia do Rio Ubá distribuída pelos municípios.

| <b>MUNICÍPIO</b> | <b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b> | <b>PORCENTAGEM</b> |
|------------------|------------------------------|--------------------|
| Miguel Pereira   | <b>36,02</b>                 | <b>8,2%</b>        |
| Paraíba do Sul   | <b>4,88</b>                  | <b>1,1%</b>        |
| Paty do Alferes  | <b>262,95</b>                | <b>59,75%</b>      |
| Vassouras        | <b>136,2</b>                 | <b>30,95%</b>      |
| <b>TOTAL</b>     | <b>440,05</b>                | <b>100,0%</b>      |

Fonte: SIGA-WEB (2014), IBGE (2014).

O arranjo do território que hoje compreende total ou parcialmente os municípios de Vassouras, Miguel Pereira, Paty do Alferes, Mendes, Paulo de Frontin e Paracambi, nasceu de um plano regional e urbano para o “sertão do oeste”. Até o século XVIII, em função do relevo e do temor aos ataques indígenas, apenas a Baixada, completamente separada da Serra, havia sido dominada. A Serra, antes ocupada pelos índios “coroados” e “puri” que, a partir do século XVIII, foram aldeados (recolhidos em territórios delimitados) e exterminados. Quando a ameaça de ataques indígenas foi amenizada, iniciou-se a ocupação “serra acima” através da abertura de caminhos, seguida da doação de sesmarias, instalação de postos de fiscalização e estabelecimento de freguesias e vilas. Nestes terrenos, além das roças de gêneros para subsistência e da criação de bois, cavalos e porcos, foram erguidos engenhos de açúcar e engenhocas de aguardente e, ao longo das veredas, assentaram-se ranchos com estalagens para os tropeiros e postos de fiscalização do ouro (FRIDMAN, 2008).

O trabalho proposto constitui uma avaliação ambiental que é a base principal para elaboração de um modelo de ordenamento físico-territorial cuja finalidade é auxiliar a formulação de políticas e estratégias de desenvolvimento sustentável a serem implementadas na bacia hidrográfica.

### 3. OBJETIVOS

#### Objetivo Geral

Hierarquizar e mapear as classes de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ubá.

#### Objetivos Específicos

- Mapear a bacia hidrográfica do Rio Ubá.
- Determinar os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica.
- Analisar e mapear os condicionantes socioambientais que determinam a fragilidade ambiental: tipo de solo, índice pluviométrico, graus de declividade e proteção vegetal do solo.



#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a definição da área de estudo, inicialmente foi empregado o Sistema de Informações Geográficas - SIG para o mapeamento da rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica do Rio Ubá. Utilizou-se também o mosaico de imagens do Modelo Digital de Elevação - MDE, proveniente do projeto RJ25 do IBGE, que representa as características altimétricas da superfície, articuladas por folhas segundo o recorte do mapeamento sistemático brasileiro. Após o mapeamento da rede de drenagem, foi feita a delimitação automática da bacia hidrográfica com o aplicativo TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models), tendo como exutório o ponto de coordenadas 22°14'15.78"S, 43°25'30.84"O (SANTOS, 2011; SILVA, 2003). Este é o ponto do rio principal (Rio Ubá) onde se dá todo o escoamento superficial gerando no interior uma bacia hidrográfica banhada por ele.

Utilizando a metodologia de delimitação automática, foi encontrada grande divergência com o Atlas das Microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul (CBHMPS, 2019). De acordo com o atlas publicado, a área de drenagem da bacia hidrográfica é de 335,61km<sup>2</sup>, enquanto que a área delimitada automaticamente com o TauDEM mede 438,96km<sup>2</sup>. Uma diferença de 103,35km<sup>2</sup>.

Atualmente o CEIVAP disponibiliza um banco de dados geoambientais onde é possível obter informações sobre condicionantes ambientais da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Por meio deste banco de dados foi possível ter acesso a informações primárias em arquivos vetoriais, onde a área de drenagem foi retificada. Segundo SIGA-WEB (2020), a área de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Ubá abrange uma área de 440,05 km<sup>2</sup>, valores bem próximo ao obtido anteriormente como TauDEM. A área de drenagem definida pelo SIGA-WEB (2020) foi utilizada para todas as análises que se seguiram.

Os métodos de avaliação das fragilidades ambientais baseiam-se na adoção, adaptação e/ou modificações das propostas metodológicas de Ross (1994) e Crepani et al. (1996), ambas fundamentadas no conceito de ecodinâmica de Tricart (1977). Em

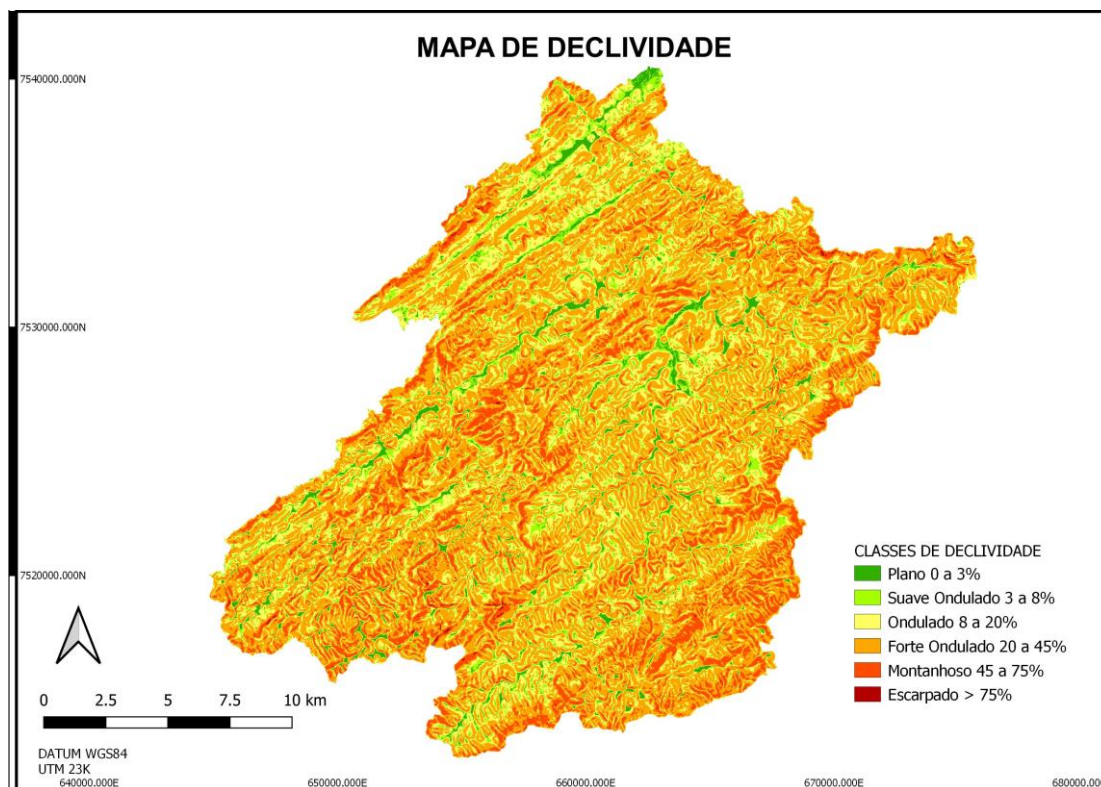
função dos dados disponíveis sobre a bacia estudada, neste trabalho foi aplicada a metodologia proposta por Ross (1994).

Após a definição da área de contribuição da bacia hidrográfica, foi utilizada a metodologia de hierarquização de classes de fragilidade conforme metodologia descrita por Ross (1994). Foram produzidos mapas de fragilidade ambiental com base nos mapas intermediários de declividade, classes de solos, cobertura vegetal e intensidade pluviométrica.

A combinação de mapas para a geração do produto final foi feita com utilização da álgebra de mapas. Diversos procedimentos de análise espacial foram realizados, servindo-se de operações matemáticas sobre um ou mais mapas, produzindo novos dados (CÂMARA, 2003).

A primeira análise realizada foi referente ao relevo. A declividade do terreno foi mapeada a partir do MDE do projeto RJ25, mesmo material utilizado para mapear a rede de drenagem (Figura 3).

Figura 3 – Mapa de declividade na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá.



Fonte: IBGE (2014).

Organização do autor.

A fragilidade associada às classes de declividade foi mapeada conforme proposto por Ross (1994) (Tabela 2).

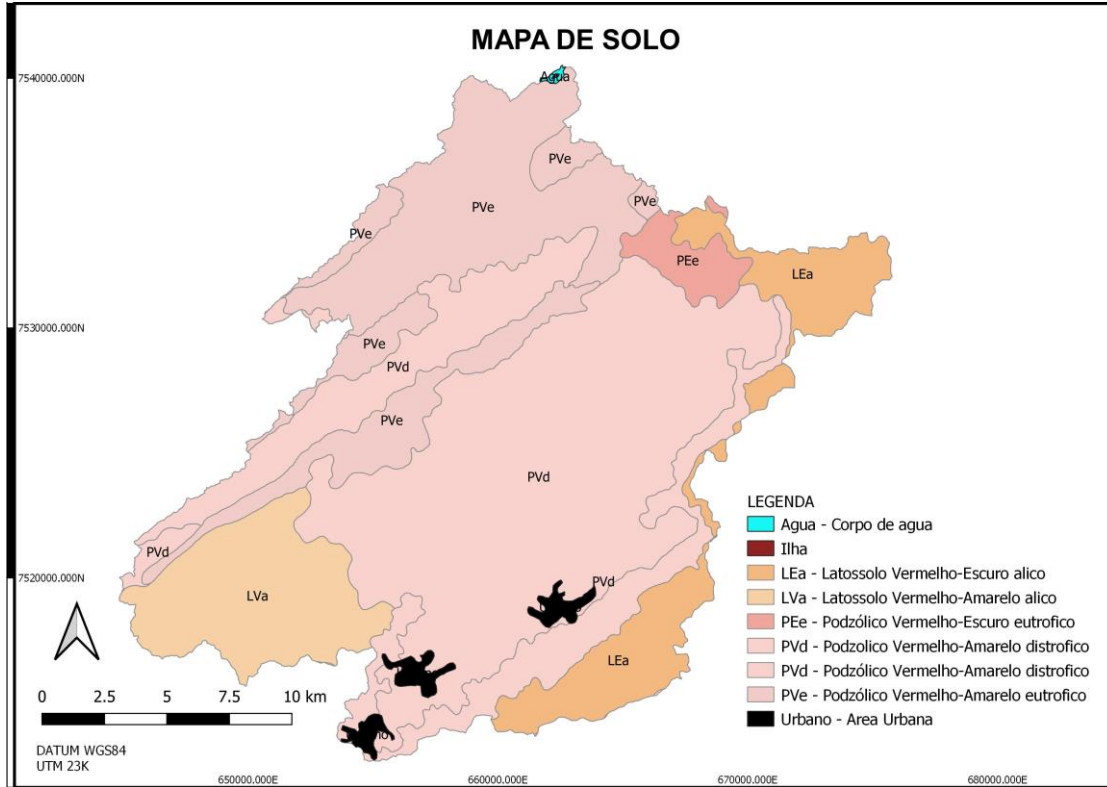
Tabela 2 - Relação entre os graus de fragilidade e as classes de declividade.

| <b>Graus de Fragilidade</b> | <b>Classes de Declividade</b> |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1- Muito Baixa              | 0 a 6 %                       |
| 2- Baixa                    | 6 a 12 %                      |
| 3- Média                    | 12 a 20 %                     |
| 4- Alta                     | 20 a 30 %                     |
| 5 - Muito Alta              | > 30 %                        |

Fonte: Ross (1994).

Não há disponibilidade de mapas detalhados para toda a área de abrangência da bacia hidrográfica estudada. As classes de solos existentes na bacia hidrográfica foram identificadas a partir de classificação de solos oriundas de mapas em escalas menores elaborados pela EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de solos na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá.



Fonte: Carvalho (2003) – EMBRAPA Solos.

Organização do autor.

As classes de solo foram associadas aos graus de fragilidade estabelecidos por Ross (1994) (Tabela 3).

Tabela 3 - Graus de fragilidade associados à erodibilidade das classes de solos.

| Graus de Fragilidade | Classes de Solos   |
|----------------------|--|
| 1- Muito Baixa       | Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo com textura argilosa.                         |
| 2- Baixa             | Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo textura com média/argilosa.   |
| 3- Média             | Latossolo Lermelho Amarelo, Nitossolos, Aluvisolos, Podzólico Vermelho Amarelo com textura média/argilosa. |
| 4- Alta              | Podzólico Vermelho Amarelo com textura média/arenosa, Cambissolos.   |
| 5 - Muito Alta       | Podzolizados com cascalho, Litólicos e Neossolos Quartzarenicos.   |

Fonte: Ross (1994).

Para elaboração do mapa de cobertura vegetal foi utilizada a imagens orbital do CBERS4 - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (China-Brazil Earth Resources Satellite), sensor MUX, órbita 151, ponto 125, obtida 26 de maio de 2020. Os níveis de proteção do solo realizado pela vegetação foram mensurados por meio do Índice de Vegetação Diferença Normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). Esse índice é utilizado para analisar a condição da vegetação natural ou agrícola nas imagens geradas por sensores remotos. É um meio de medir a cobertura vegetal, mensurando a intensidade de atividade clorofiliana, inclusive comparando vários períodos distintos (NEVES, 2020). Foram utilizadas as bandas 7 e 8 da imagem orbital, sensíveis ao vermelho e infravermelho, respectivamente. O NDVI foi determinado com a utilização da álgebra de mapas com a seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{Infra Vermelho} - \text{Vermelho}) / (\text{Infra Vermelho} + \text{Vermelho})$$

A classificação entre os diferentes tipos de cobertura vegetal foi realizada a partir de pontos amostrais do terreno, obtidos com a utilização de um receptor GPS – Sistema de Posicionamento Global (Global Position System). Foram obtidos pontos representativos dos diferentes tipos de cobertura vegetal especificados na Tabela 4. Posteriormente os níveis de vegetal foram associados aos graus de fragilidade.

Tabela 4 - Graus de proteção ao solo fornecido pela cobertura vegetal face à ação das águas pluviais.

| Graus de Fragilidade | Tipos de Cobertura   |
|----------------------|--|
| 1- Muito Baixa       | Florestas/Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.   |
| 2- Baixa             | Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária Cerrado denso, Capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa, Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.. |
| 3- Média             | Culturas de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.   |
| 4- Alta              | Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja em solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão co cultivo em curvas de nível/terraceamento).                                   |
| 5 - Muito Alta       | Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeado, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.  |

Fonte: Ross (1994).

A variação da intensidade pluviométrica na bacia hidrográfica foi obtida a partir da interpolação de dados das estações pluviométricas existentes dentro da área de estudo e arredores.

Utilizou-se a média das precipitações anuais entre 1981 e 2010. Esta é a normal climatológica mais recente disponibilizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações pluviométricas mais relevantes foram Santa Mônica (Valença, RJ) e Avelar (Paty do Alferes, RJ). Essa última dentro da bacia hidrográfica em estudo

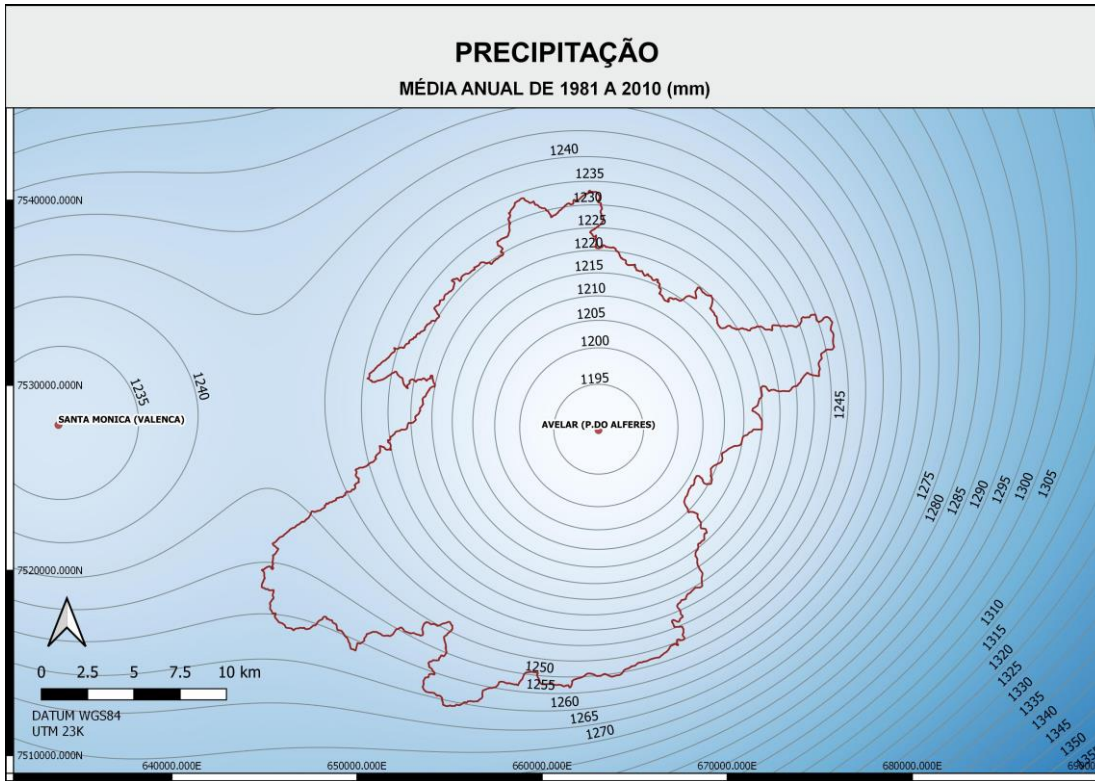
Tabela 5 - Classes de fragilidade da variável pluviosidade.

| Graus de Fragilidade | Características Pluviométricas   |
|----------------------|--|
| 1- Muito Baixa       | Situação pluviométrica regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1.000 mm/ano.  |
| 2- Baixa             | Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2.000 mm/ano.   |
| 3- Média             | Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno e, no verão, com maior intensidade de dezembro a março.  |
| 4- Alta              | Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem 70% a 80% do total de chuvas.   |
| 5 - Muito Alta       | Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2.500 mm/ano; ou, ainda, comportamento pluviométrico irregular ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido). |

Fonte: Adaptado de Valle (2016).

Conforme a Figura 5, não ha variação significativa nos níveis de precipitação média anual dentro da área de drenagem da bacia hidrográfica.

Figura 5 – Mapa de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Ubá.



Fonte: INMET (2020).

Organização do autor.

Os mapas temáticos de declividade, classes de solos, cobertura vegetal e intensidade pluviométrica, foram gerados em formato vetorial e posteriormente convertidos para grades regulares (formato *raster* ou matricial). Este é um tipo de representação cartográfica composto por células de dimensão espacial e valores atribuídos definidos. Em todos os mapas cada célula corresponde ao mesmo posicionamento geográfico no terreno. Os valores das células serão atribuídos de acordo com os diferentes graus de fragilidade. O mapa final com a hierarquização dos graus de fragilidade foi obtido pela média dos valores atribuídos a cada célula nos mapas intermediários. O mapeamento dos graus de declividade usará o escalonamento proposto por Valle (2006) conforme Tabela 5. A média dos graus de fragilidade foi obtida utilizando a álgebra de mapas com a seguinte fórmula:



$$FRAGILIDADE = \frac{SOLO + DECLIVIDADE + PLUVIOSIDADE + COBERTURA VEGETAL}{4}$$

Tabela 5 - Classes de fragilidade.

| Graus de Fragilidade | Média dos Graus de Fragilidade |
|----------------------|--------------------------------|
| 1- Muito Baixa       | 0 a 1                          |
| 2- Baixa             | 1 a 2                          |
| 3- Média             | 2 a 3                          |
| 4- Alta              | 3 a 4                          |
| 5 - Muito Alta       | 4 a 5                          |

Fonte: Valle (2016).

## 5. RESULTADOS ALCANÇADOS

A bacia hidrográfica estudada tem os seguintes atributos básicos: área de contribuição medindo 440,05 km<sup>2</sup>, comprimento axial 45,39 km e o somatório do comprimento de todos os cursos d'água 871,36 km distribuídos em seis ordens (Tabela 6).

Tabela 6 - Hierarquia de drenagem.

| Ordem          | Comprimento (km) | Percentual (%) |
|----------------|------------------|----------------|
| 1 <sup>a</sup> | 433,86           | 49,8           |
| 2 <sup>a</sup> | 217,19           | 24,9           |
| 3 <sup>a</sup> | 119,13           | 13,7           |
| 4 <sup>a</sup> | 47,56            | 5,5            |
| 5 <sup>a</sup> | 37,65            | 4,3            |
| 6 <sup>a</sup> | 15,98            | 1,8            |
| Total          | 871,36           | 100,0          |

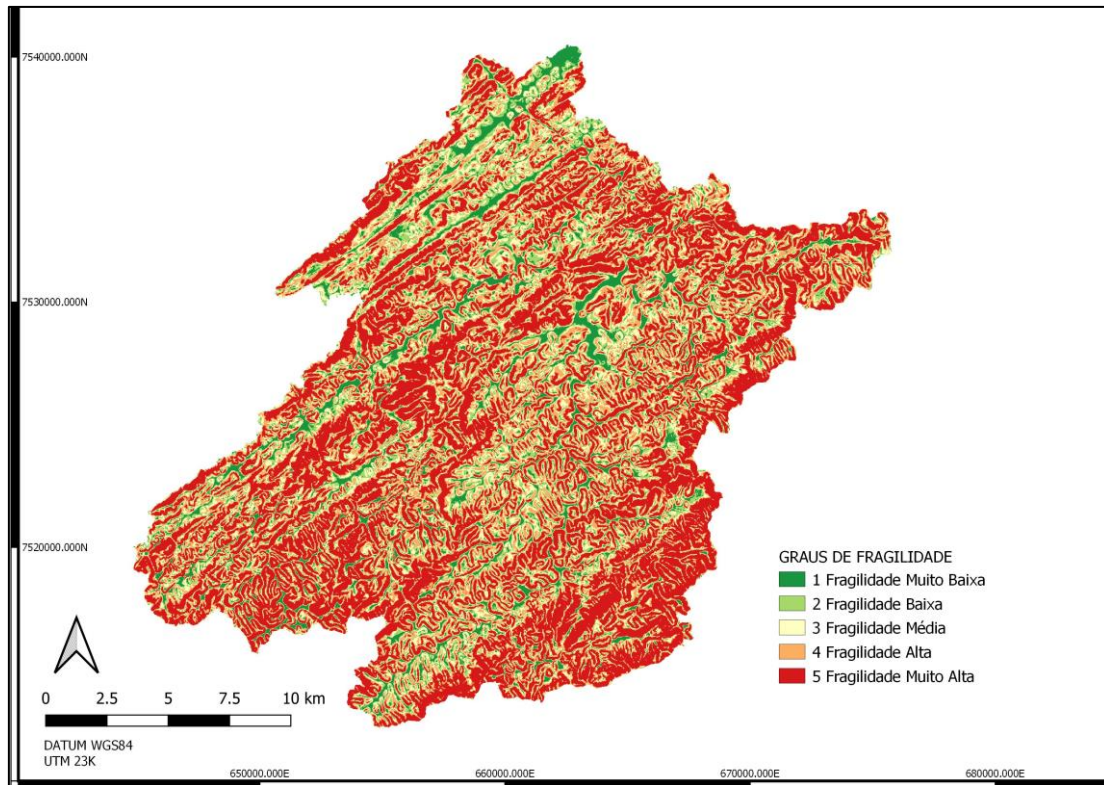
Fonte: IBGE organizado pelo autor.

A partir destes atributos foram calculados os índices morfométricos: coeficiente de compacidade (Kc) 2,33, fator de forma (Kf) 0,21, índice de circularidade (Ic) 0,18 e densidade de drenagem (Dd) 0,50. O padrão da rede de drenagem é do tipo dendrítico com hierarquia fluvial distribuídas em 6 ordens (CARVALHO, 2006). Os índices morfométricos e a grande hierarquia fluvial indicam que a bacia hidrográfica é bem drenada e com pouca propensão a enchentes.

A identificação de áreas de fragilidade ambiental e sua hierarquização foram realizadas a partir dos mapas primários obtidos (declividade, solo, climatologia (pluviosidade) e cobertura vegetal. Esses mapas foram classificados em diferentes graus de declividade antes de serem reunidos para a geração do mapa geral de fragilidade ambiental da bacia do Rio Ubá.

O primeiro parâmetro analisado foi a declividade (Figura 6). É possível perceber pelo mapa que se trata de uma área onde o relevo tem uma grande importância na determinação da fragilidade.

Figura 6 – Mapa de fragilidade ambiental em função da declividade.



Organização do autor.

O dimensionamento das áreas ocupadas por cada classe de fragilidade demonstra se tratar de uma área de terreno ondulado, pois mais de 43% da área é considerada de fragilidade muito alta (Tabela 7).

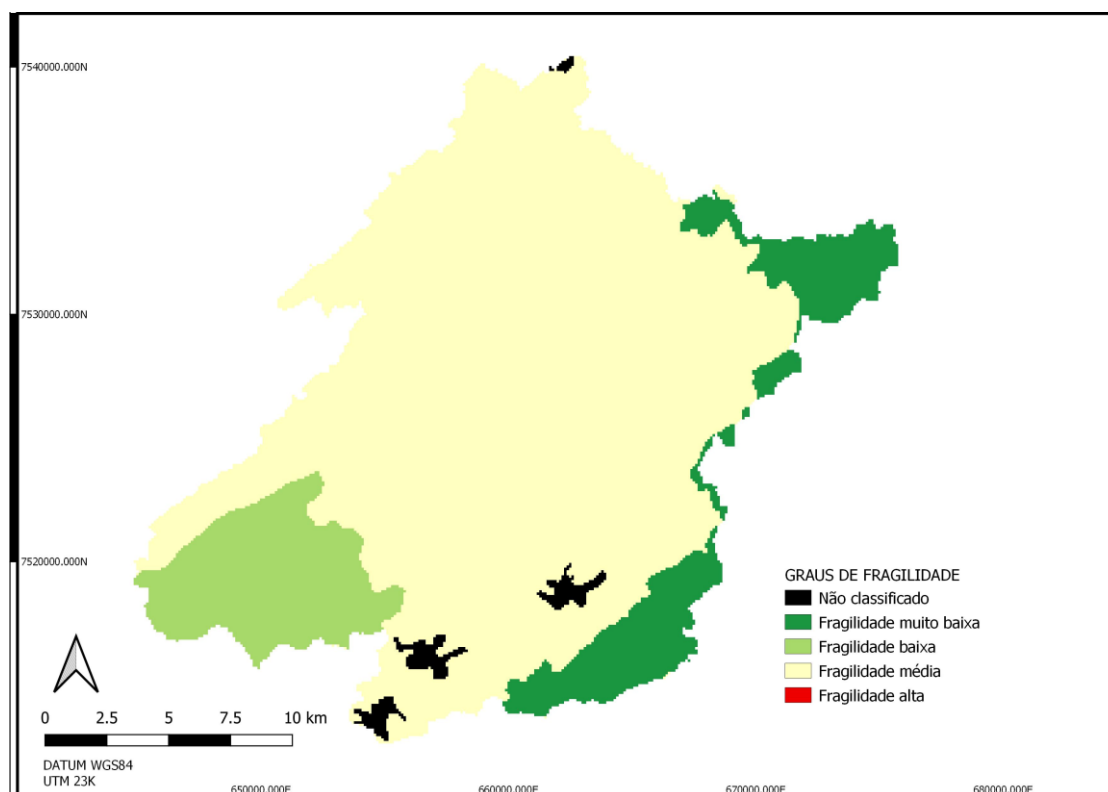
Tabela 7 – Distribuição dos graus de fragilidade em função da declividade.

| Graus de Fragilidade | Área (km <sup>2</sup> ) | Porcentagem |
|----------------------|-------------------------|-------------|
| 1- Muito Baixa       | 33,81                   | 7,68%       |
| 2- Baixa             | 45,03                   | 10,23%      |
| 3- Média             | 71,21                   | 16,18%      |
| 4- Alta              | 96,96                   | 22,03%      |
| 5 - Muito Alta       | 193,06                  | 43,87%      |

A fragilidade relacionada às classes de solos não apresentam variação significativa. Foi identificado na área de drenagem apenas duas classes de solo: argissolo (antigo

podzólico) e latossolo. Os argissolos, por serem mais suscetíveis à erosão, foram classificados como média fragilidade e os latossolos como baixa fragilidade (Figura 7).

Figura 7 – Mapa de fragilidade ambiental em função do tipo de solo.

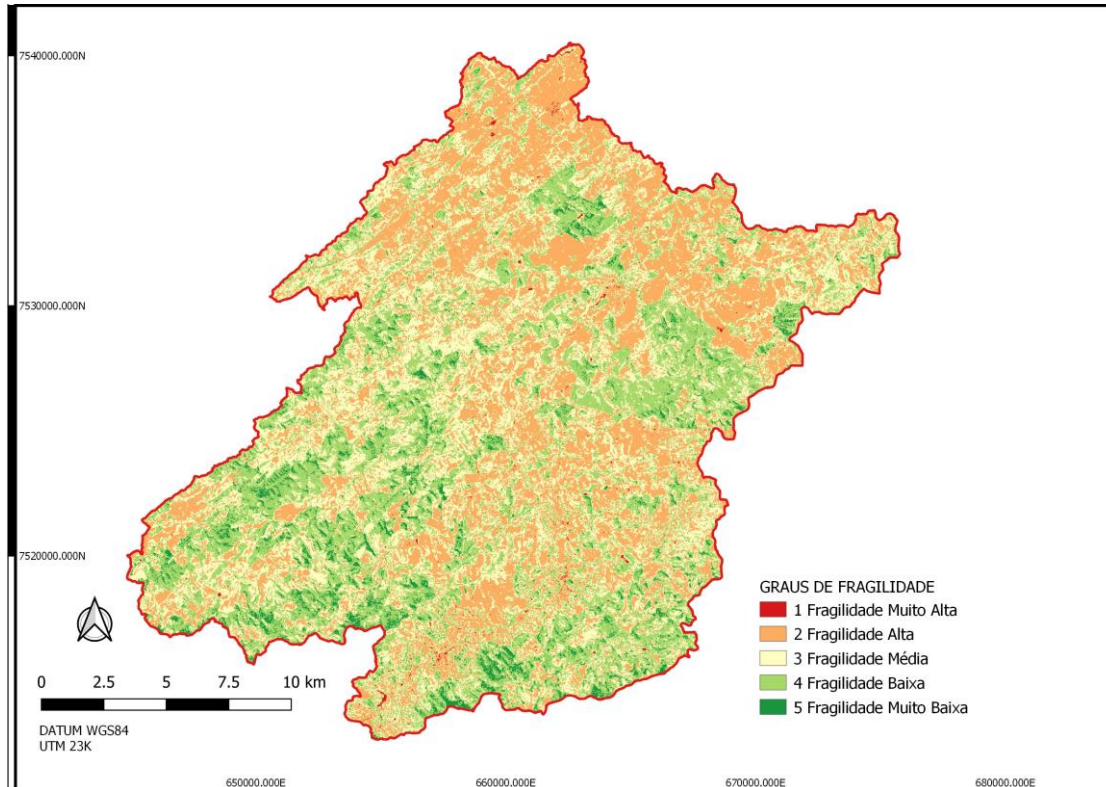


Organização do autor.

A cobertura vegetal é outro condicionante que tem uma variação significativa dentro da bacia hidrográfica. Dos parâmetros analisados, este é o que tem a particularidade de poder apresentar mudanças ao longo do tempo e por isso se torna fundamental para o monitoramento ambiental da bacia hidrográfica. (Figura 8)



Figura 8 – Mapa de fragilidade ambiental em função da cobertura vegetal.

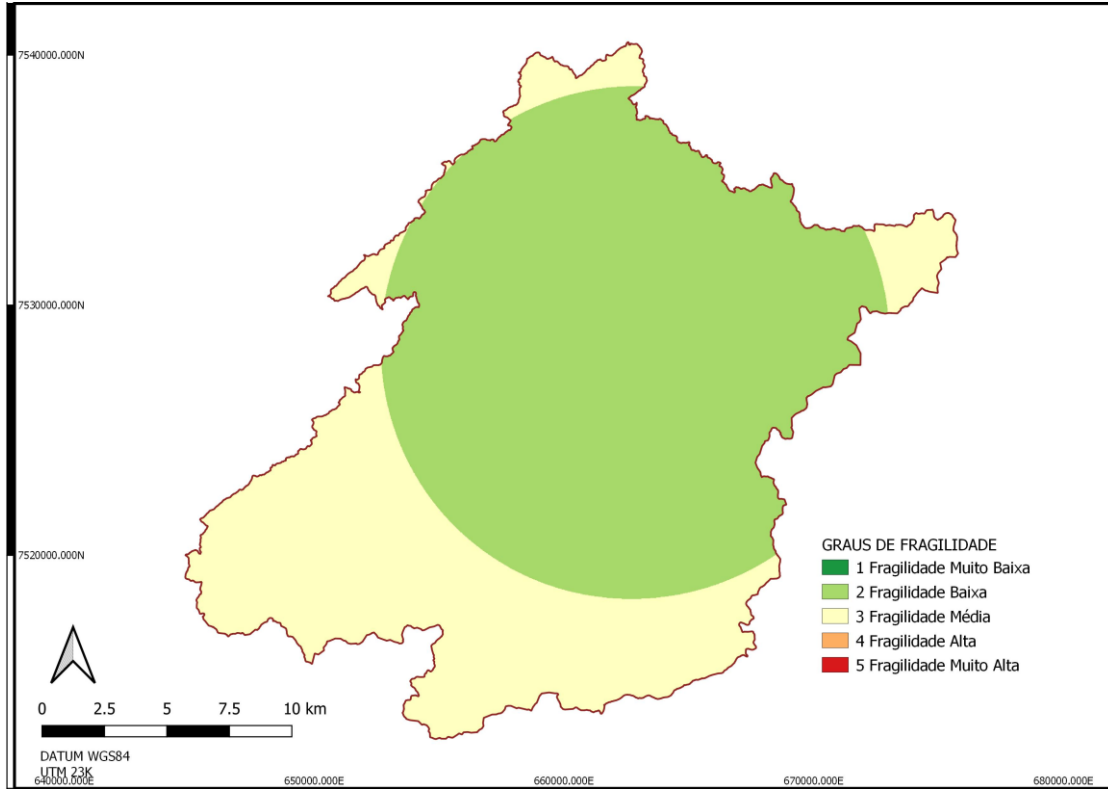


Organização do autor.

A fragilidade ambiental condicionada pela intensidade pluviométrica não é expressiva na bacia do Rio Ubá. A estação pluviométrica de Avelar, no município de Paty do Alferes, dentro da área de drenagem da bacia, apresenta média pluviométrica inferior às estações no entorno. Por esta razão foram associadas apenas duas regiões com graus de fragilidade diferentes: médio e baixo.



Figura 9 – Mapa de fragilidade ambiental em função da precipitação anual

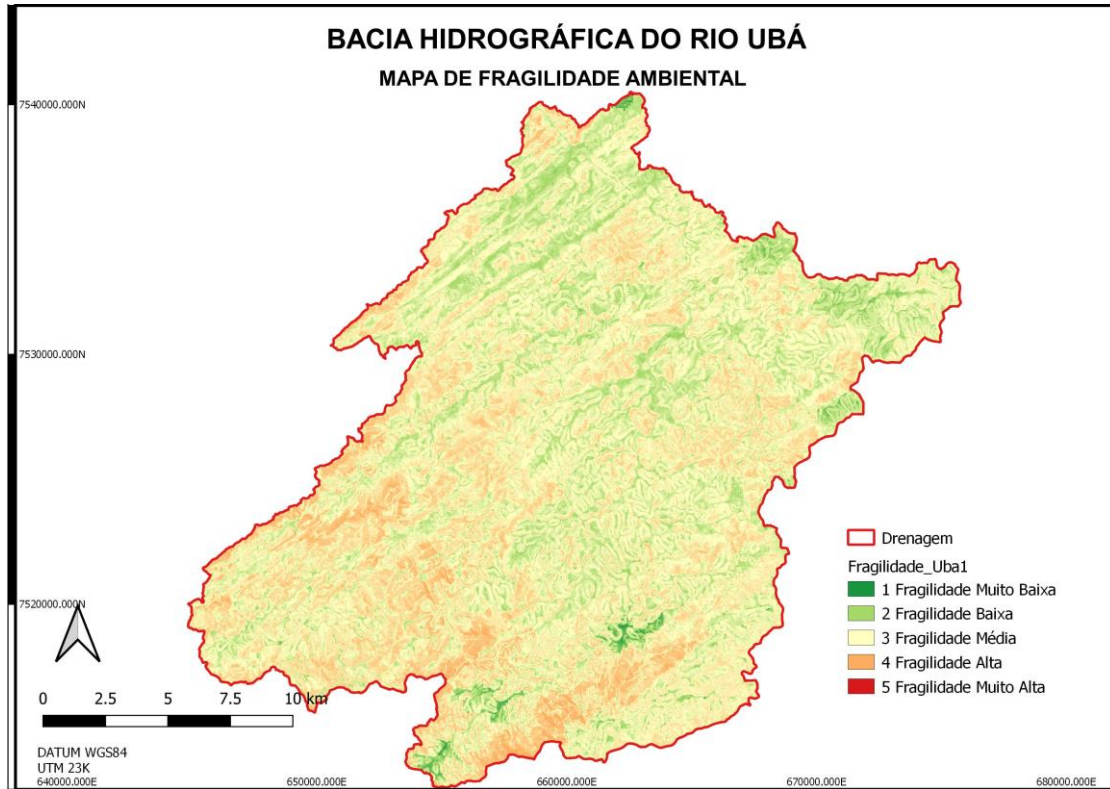


Organização do autor.

O mapa resultante, objetivo deste trabalho, mostra que existem regiões onde há concentração do grau de fragilidade ambiental alta (Figura 10). Revela também que não existe região de fragilidade muito alta. Neste aspecto, considerando os níveis elevados de fragilidade relacionados à declividade, entende-se que a cobertura vegetal remanescente contribui significativamente para a estabilidade do ambiente, reduzindo sua fragilidade.



Figura 10 – Mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Ubá.



Organização do autor.

Os diferentes graus de fragilidade na bacia hidrográfica estudada estão concentrados nos níveis intermediários: baixo, médio e alto (Tabela 8). Entretanto,

Tabela 8 – Distribuição dos graus de fragilidade na bacia hidrográfica.

| Graus de Fragilidade | Área (km <sup>2</sup> ) | Porcentagem   |
|----------------------|-------------------------|---------------|
| 1- Muito Baixa       | 2,15                    | <b>0,49%</b>  |
| 2- Baixa             | 115,00                  | <b>26,13%</b> |
| 3- Média             | 165,57                  | <b>37,63%</b> |
| 4- Alta              | 157,32                  | <b>35,75%</b> |
| 5 - Muito Alta       | 0,00                    | <b>0,00%</b>  |

## 6. CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica estudada tem um histórico de exploração agropecuária que iniciou com os engenhos do século XVIII. Esta atividade permanece como predominante atualmente. Sendo a cobertura vegetal altamente influenciada por ações antrópicas, esperava-se uma situação predominante dos graus elevados de fragilidade, pois é um fator de grande influência nesta bacia hidrográfica.

A preservação da estabilidade do ambiente é fundamental para a qualidade de vida da população, especialmente quando a atividade econômica predominante depende diretamente de recursos naturais. Mesmo não sendo identificadas regiões que exijam interferência urgente, há predominância dos graus de fragilidade média e alta, fato este que demonstra a necessidade de monitoramento.

O mapa de fragilidade da bacia hidrográfica, produto gerado neste trabalho, oferece subsídios ao poder público na formulação de políticas que tenham como objetivo promover a preservação ambiental. Também fornece informações ao trabalho de extensão rural, pois identifica áreas mais frágeis onde se preconiza a recomposição da vegetação nativa ou uso de atividade agropecuária de baixo impacto.

Os graus de fragilidade e sua abrangência podem sofrer alterações ao longo do tempo. A cobertura vegetal é um fator de grande influência nesta bacia hidrográfica e pode sofrer alterações em pouco tempo. Por isso recomenda-se o monitoramento constante e, para isto, as imagens de satélite são excelentes ferramentas. Desta forma é possível manter os graus de fragilidade em níveis aceitáveis na bacia hidrográfica do Rio Ubá e promover a sustentabilidade ambiental e social.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, Fernando da Silva et al. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú – PE/AL Com Base EM MDE - SRTM. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019**, Santos. Anais eletrônicos... Campinas, GALOÁ, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-morfometrica-da-bacia-hidrografica-do-alto-curso-do-rio-mundau----pe-al-com-base-em-mde---srtm>> Acesso em: 24 maio 2019.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.; CORDEIRO, J. P.; LOPES, E.; FREITAS, U. M. de; LUCENA, I. Álgebra de mapas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>. Acesso em: 4 novembro 2019.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. **Bacia Hidrográfica. Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrjr.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>> Acesso em: 20 abr. 2019

CARVALHO FILHO, A. De et al. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. **Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2003. . Disponível em: <<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/>> Acesso em: 24 maio 2020.

CBHMPS - Comitê Médio Paraíba do Sul. **Atlas das Microbacias da Região Hidrográfica Médio Paraíba do Sul**, 2016. Disponível em: <http://www.cbhmedioparaiba.org.br/conteudo/atlas-CBH-MPS.pdf>. Acesso em: 13 de dezembro de 2019.

CREPANI, Edison et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

FRIDMAN, F. **As Cidades e o Café**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. Vol. 4, n. 3. Taubaté, 2008.

GOMES, J.; BARROS, R. A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 1287-1294, 2011. Disponível em: <[https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&as\\_sdt=0%2C5&q=ottobacias&oq=ottobaci](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&lr=lang_pt&as_sdt=0%2C5&q=ottobacias&oq=ottobaci)> Acesso em: 10 março de 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / DGC - Diretoria de Geociências / CCAR - Coordenação de Cartografia. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Estado do Rio de Janeiro, escala 1:25.000 do Projeto RJ-25**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 9 março de 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / DGC - Diretoria de Geociências / CCAR - Coordenação de Cartografia. **MDE - Modelo Digital de Elevação 1:25.000 do Projeto RJ-25**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 20 abril 2019.

INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **BDMEP**, 2020.

NEVES, Lomanto Zogaib; MUCIDA, Danielle Piuzana. Comparação de índices de vegetação entre imagens CBERS, Landsat e Rapideye para área do Cerrado Brasileiro. **Revista Espinhaço | UFVJM**, [S.l.], p. 43-51, 2020. ISSN 2317-0611. Disponível em: <<http://revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/290>>. Acesso em: 04 de agosto de 2020.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia**, nº 8, São Paulo, USP, 1994.

SANTOS, L.C.S.; FRANCISCO, C.N. **Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação Aplicados à Extração Automática de Redes de Drenagem**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2011.

SIGA-WEB. **Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Bases de Dados Geoespaciais, 2020. Disponível em: <http://sigaceivap.org.br/map#>. Acesso em: 1 de junho de 2020.

SILVA, B. S. G. **Delimitação automática de bacias usando o programa TauDEM/Mapwindow**. Nota Técnica, 10435-NTC/360, São José dos Campos: INPE, 2003.

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

VALLE, Ivana Cola et al. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**. Seropédica, v. 23, n. 2, p. 295-308, June 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-80872016000200295&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872016000200295&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 12 nov. 2019.

VILELA FILHO, L. R.; Vitte, A. C. A Utilização de Técnicas Morfométricas do Relevo Aplicadas na Determinação da Fragilidade Ambiental: o caso da Bacia do Córrego Proença, Município de Campinas (SP). In: **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina, Universidade de São Paulo**, 2005. Disponível em: < <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal10/Procesosambientales/Geomorfologia/15.pdf> >. Acesso em: 20 mai. 2019.