

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO

CAMPUS DE OURINHOS

MATHEUS VARGAS DE OLIVEIRA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO  
SIMÃO: UMA ANÁLISE DAS AÇÕES ANTROPOGÊNICAS SOBRE OS  
MUNICÍPIOS DE MANHUAÇU E SIMONÉSIA - MG**

Ourinhos - SP  
Junho de 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO  
FACULDADE DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO  
CAMPUS DE OURINHOS

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO  
SIMÃO: UMA ANÁLISE DAS AÇÕES ANTROPOGÊNICAS SOBRE OS  
MUNICÍPIOS DE MANHUAÇU E SIMONÉSIA - MG**

MATHEUS VARGAS DE OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à banca examinadora para  
obtenção do título de Bacharel em  
Geografia pela Unesp, Campus de  
Ourinhos.

Orientador: Prof. Dr. Edson Luís Piroli

Ourinhos - SP  
Junho de 2022

V297f Vargas, Matheus de Oliveira  
Fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio São Simão : Uma análise das ações antropogênicas sobre os municípios de Manhuaçu e Simonésia - MG / Matheus de Oliveira Vargas. -- Ourinhos, 2022  
65 p. : il., tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Ourinhos

Orientadora: Edson Luís Piroli

1. Análise Multicriterial. 2. AHP. 3. SIG. 4. Manejo Hídrico. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências, Tecnologia e Educação, Ourinhos. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Edson Luís Piroli (Orientador)

---

Prof. Dr. Julio Cesar Demarchi

---

Prof. Dr Ricardo dos Santos

---

Ourinhos, 06 de junho de 2022.

À minha inspiração,

Elieth Vargas, dedico-te este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Os primeiros agradecimentos são dedicados àquela que me motivou durante todos os dias de minha vida, e que me deu, vontade, esperança e condições de chegar até o presente momento, à minha mãe, Elieth Vargas; por todo amor e zelo investidos em mim.

Em especial, agradeço meu orientador Prof. Dr. Edson Luís Piroli, pela oportunidade, serenidade e carinho em compartilhar comigo sua vasta sabedoria e vivências durante minha graduação.

Agradeço também meus familiares em ressalva minha avó, Rosa de Farias e meu irmão, Diego Vargas pela companheirismo e por ser um amigo nos momentos fatigantes; aos meus colegas de graduação, amigos do trabalho e do bar pela parceria; a minha namorada Carol Brizotti por estar sempre ao meu lado, inclusive nos momentos mais difíceis e ao meu pai Expedito Alves (*in memoriam*), quem primeiro me ensinou a viver em harmonia com a natureza que faço parte.

A todos os educadores que me instruíram durante essa jornada, responsáveis por meu desenvolvimento universitário e pessoal. Faço uma menção especial aos grandes pesquisadores que me inspiram a continuar estudando, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Andréa Zacharias, Prof.<sup>a</sup> Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Carla Reinaldo Gimenes de Sena, Dr.<sup>a</sup> Daniela Silva Fuzzo e Prof. Dr. Paulo Fernando Cirino Mourão; sou eternamente grato por me mostrarem os caminhos da ciência e da perseverança.

À minhas paixões Mel e Lola por colocar um sorriso em meu rosto.

Ademais, agradeço por todas as experiências vividas no campus da UNESP/Ourinhos e pelas pessoas que aqui conhece nesse espaço, em especial, Prof. Dr. Julio Cesar Demarchi, Laryssa Bitencourt Silva e Edivaldo Ribeiro Rocha, que sempre estiveram à disposição para me ajudar.

Por fim, agradeço à PROPe, pela concessão da bolsa de pesquisa de iniciação científica que contribuiu para a realização deste trabalho.

Grato a todos.

“Corporações, dinheiro e nações existem apenas em nossa imaginação. Nós os inventamos para nos servirem; por que chegamos a sacrificar nossas vidas a seu serviço?”

(Yuval Noah Harari)

## **RESUMO**

As aplicações intensivas da agricultura e pecuárias, bem como a expansão urbana incongruente com o meio natural, vinculadas ao sistema econômico atual, coloca sobre o meio, uma alta vulnerabilidade que reverberam num desequilíbrios das estruturas e dinâmicas da bacia hidrográfica, repercutindo em uma grande desordem para com os recursos hídricos. Desta forma, o presente trabalho visa integralmente a utilização das geotecnologias, tais como ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, para identificar as áreas ambientais suscetíveis a processos de resistasia ecológica. Para tal aplicação, desenvolveu-se um estudo na Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão, localizado nos municípios de Manhuaçu e Simonésia - MG. Com a finalidade de verificar os efeitos supracitados, empregaram-se técnicas ligadas a álgebra de mapas, através do método de Análise Multicriterial e da Combinação Linear Ponderada, correlacionado atributos como o uso da terra, classes de solos, declividades e unidades geológicas, os quais são fatores determinantes para obtenção das classes de fragilidade. Desta forma, o resultado obtido apresenta as influências das ações antrópicas sobre a bacia, indicando um grande índice de fragilidade sobre o meio, com mais de 53,96% da bacia comprometida, agravando a dinâmica natural dos corpos hídricos locais, auxiliando na redução dos índices de qualidade ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise Multicriterial, AHP, SIG, Manejo Hídrico.



## **ABSTRACT**

The intensive applications of agriculture and livestock, as well as the urban expansion incongruous with the natural environment, linked to the current economic system, places a high vulnerability on the environment that reverberates in an imbalance of the structures and dynamics of the hydrographic basin, resulting in a great disorder towards water resources. Thus, the present work fully aims at the use of geotechnologies, such as remote sensing and geoprocessing tools, to identify environmental areas susceptible to ecological resistasia processes. For this application, a study was developed in the São Simão River Sub-basin, located in the municipalities of Manhuaçu and Simonésia - MG. In order to verify the aforementioned effects, techniques linked to map algebra were used, through the method of Multicriteria Analysis and Weighted Linear Combination, correlating attributes such as land use, soil classes, slopes and geological units, which are determining factors for obtaining the frailty classes. In this way, the result obtained shows the influences of human actions on the basin, indicating a high rate of fragility on the environment, with more than 53.96% of the basin compromised, aggravating the natural dynamics of local water bodies, helping to reduce environmental quality indices.

**KEYWORDS:** Multi-Criteria Analysis, AHP, GIS, Water Management.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Sub-Bacia Hidrográfica Rio São Simão .....	21
Figura 2 – Mapa Geomorfológico da BH do Rio São Simão .....	23
Figura 3 – Mapa Hipsométrico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão .....	24
Figura 4 – Mapa de Vegetal da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão .....	26
Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação Vegetal na BH do Rio São Simão .....	27
Figura 6 – Mapa da Rede Hidrográfica e Nascentes da BH do Rio São Simão .....	29
Figura 7 – Mapa Multiespectral do Satélite Cbers 04A da Sub-bacia .....	32
Figura 8 – Fluxograma Das Etapas De Trabalho Deste Estudo .....	33
Figura 9 – Equação de Vetor Pesos .....	36
Figura 10 – Equação de autovalor máximo .....	36
Figura 11 – Equação de Índice de Consistência .....	36
Figura 12 – Mapa de Declividade da BH do Rio São Simão .....	39
Figura 13 – Mapa de Uso e Ocupação das Terras Sobre a BH do Rio São Simão .....	41
Figura 14 – Mapa Pedológico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão .....	43
Figura 15 – Mapa Geológico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão .....	45
Figura 16– Mapa de Declividade em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão .....	48
Figura 17 – Mapa de Uso e Ocupação das Terras em Classes de Fragilidade .....	50
Figura 18 – Mapa Pedológico em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão .....	52
Figura 19 – Mapa Geológico em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão .....	54
Figura 20 – Mapa de Fragilidade Ambiental da BH do Rio São Simão.....	57
Figura 21 – Mapa de Fragilidade Ambiental Sob Composição Multiespectral na BH do Rio São Simão .....	59

## ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 – Características dos sensores WPM - Satélite CBERS 04A .....	31
Tabela 2 – Notas e classes de fragilidade .....	34
Tabela 3 – Matriz de comparação pareada .....	35
Tabela 4 – Escala de valores para a comparação pareada .....	35
Tabela 5 - Declividade da Bacia .....	35
Tabela 6 - Uso das Terras Sobre a Bacia .....	40
Tabela 7 - Pedologia da Bacia .....	42
Tabela 8 - Geologia da Bacia .....	44
Tabela 9 - Notas e classes de fragilidade atribuídas à declividade .....	47
Tabela 10 - Notas e classes de fragilidade atribuídas à declividade ao fator uso e ocupação da terra .....	49
Tabela 11 - Notas e classes de fragilidade atribuídas ao fator Pedologia .....	51
Tabela 12 - Notas e classes de fragilidade atribuídas ao fator Geologia da Bacia .....	53
Tabela 13 – Matriz de comparação pareada para os fatores adotados .....	55
Tabela 14 – Pesos atribuídos aos fatores adotados .....	55
Tabela 15 – Fragilidade Ambiental da Sub-bacia .....	56

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b>	<b>13</b>
1.1 Contextualização	13
1.2 Motivações	15
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>17</b>
3.1 Bacias Hidrográficas e Gestão dos Recursos Hídricos	17
3.2 Fragilidade Ambiental das Bacia Hidrográficas	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>21</b>
4.1 Descrição geral da área de estudo	21
4.1.1 Relevo	22
4.1.2 Geologia	25
4.1.3 Solos	25
4.1.4 Clima	25
4.1.5 Vegetação	25
4.1.6 Hidrografia	27
4.2 Materiais	30
4.2.1 Equipamentos e aplicativos computacionais utilizados	30
4.2.1 Base de dados	30
4.3 Métodos	33
4.3.1 Elaboração do banco de dados: obtenção dos fatores relacionados à vulnerabilidade ambiental	33
4.3.2 Análise Multicritério	34
4.3.3 Padronização dos Fatores	34
4.3.4 Ponderação dos Fatores	35
4.3.5 Mapa Final de Fragilidade Ambiental	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>38</b>
5.1 Declividade	38
5.2 Uso da Terra	40
5.3 Pedologia	42
5.4 Geologia	44
5.5 Padronização e Ponderação dos Fatores	46
5.5.1 Fator Declividade	47
5.5.2 Fator Uso e Ocupação da Terra	49
5.5.3 Fator Pedologia	51
5.5.4 Fator Geologia	53
5.6 Fragilidade Ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão	55
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>61</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b>	<b>62</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

### 1.1 Contextualização

A rápida expansão demográfica impulsionada pela industrialização dos últimos séculos e estimulada pelo sistema econômico vigente, lança-se sobre os recursos naturais, em especial o hídrico, uma pressão inevitável na busca pelo desenvolvimento e progresso. No atual processo histórico, o meio ambiente vem sendo duramente desrespeitado por um rápido crescimento relacionado ao consumo de matéria prima, com pouco ou quase nenhum planejamento estrutural. (TRAFICANTE, 2017)

Análogo a essas condições agravantes, estão as situações administrativas ligadas ao setor ambiental brasileiro, cujo os fatos notáveis relacionados a movimentos econômicos e políticos em sua linearidade temporal, resultam em uma dinâmica caótica e agressiva com o meio natural. Tais fatores, resultam nos mais diversos impactos nas estruturas naturais complexas. Consequentemente, esta crise nos leva a buscar caminhos para melhorar o sistema de gestão e aproveitamento dos recursos existentes de forma consciente, dentre os quais a água tem um papel primordial (DE LIMA, 2016).

Isso posto, se faz jus a viabilização de estudos que analisam as práticas humanas sobre as bacias hidrográficas de forma sistêmica (PIROLI, 2002), os quais busquem através de um olhar geográfico, analisar e espacializar a natureza e a sociedade, por meio de operações analíticas transdisciplinares, constituindo um conhecimento híbrido, tendo como fatores condicionantes o tempo histórico - constituído pelas ações antrópicas - e o tempo natural - constituído pelos processos dinâmicos da natureza -, com os quais visa diminuir as disparidades informacionais, em tentativa de ampliar o estudo e percepção do manejo adequado dos corpos hídricos.

Para o controle dos recursos hídricos, faz-se necessária a delimitação de áreas administrativas, dividindo os interesses do uso do recurso conforme os sistemas de drenagem, configurando assim, as unidades de planejamento ambiental, conjunto de suas características intrínsecas tais como o relevo, as tipologias de solo e geologia e até mesmo o uso da terra. (COSTA et al. 2015).

Desta forma, encontra-se a Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL,1997) que Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, que cria o Sistema Nacional de

Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que apresenta como resoluções, determinações sobre as condições de uso da água, a qual se classifica como bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico; sua gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, e sua unidade de planejamento e gerenciamento será, a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a atuação do Sistema Nacional o qual objetiva a descentralização da gestão, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (DE LIMA, 2016).

Esses aparatos legais, flexibilizam os estudos de fragilidade natural nas unidades de planejamento ambiental em bacias hidrográficas, podendo ser relacionada ao inserir neste contexto natural, a ocorrência de intervenção antrópica, que podem ser avaliada através de estudos de fragilidade ambiental que poderá resultar em estratégia na utilização de tomadas de decisão e readaptação do perímetro.

Assim sendo, o avanço de novas tecnologias e o surgimento de práticas de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas últimas décadas, possibilitaram a confecção dos mais variados segmentos e escalas de produção de dados, resultando no mapeamento mais confiável e com grande praticidade de manuseio, reduzindo o custo e o tempo nas práticas. Desta maneira, os novos sensores orbitais refletem diretamente na aquisição contínua de imagens da superfície do globo, que nos dias atuais auxiliam na descoberta e resolução de grandes questões que envolvem as problemáticas ambientais. (AMIRI; SHARIFF, 2012 apud TRAFICANTE, 2017)

Neste contexto, o estudo procurou utilizar técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, cruzando os planos de informação (PIs), a fim de analisar a vulnerabilidade natural, somada às ações antrópicas. Assim, a técnica escolhida faz com que seja possível escolher uma opção de gestão adequada, envolvendo critérios quantitativos e qualitativos, que estruturam problemas heterogêneos.

Por consequência, o trabalho se fundamenta no papel crucial do monitoramento de áreas degradadas ao longo da sub-bacia da área de estudo, bem como para atualizar os dados pré-existentes, tendo em vista a necessidade de pesquisas que contribuam para a governança do Comitê de Bacias Hidrográficas, bem como para a democratização de sua gestão.

## **1.2 Motivações**

A escolha do tema trabalhado, justifica-se pelos fatos supracitados, bem como as observações feitas nos limites municipais, cujas condições ambientais trouxeram a percepção de uma possível fragilidade ecológica e uma viável modificação do meio, a qual coloca a área de estudo em processos de resistasia ecológica, degradados por dinâmica regressiva.

Devido a isso, a pesquisa tem o intuito de avaliar potencialidades ambientais e delinear os processos socioeconômicos da região, a fim de delimitar os problemas oriundos das ações antrópicas, buscando, um arcabouço de informações a serem utilizadas como base instrumental para futuras tomadas de decisões em novos rearranjos espaciais.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo do estudo, visa identificar, mapear e avaliar a fragilidade ambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio São Simão, aplicando técnicas de Análise de Multicritério (AMC) por meio da Padronização de dados, do Processo Hierárquico Analítico (AHP) e da Combinação Linear Ponderada (CLP), modeladas dentro de ambiente GIS.

Portanto, o trabalho buscou elaborar banco de dados georreferenciados pertencente à Sub-Bacia Hidrográfica do Rio São Simão, a fim de realizar mapeamentos temáticos sobre a área de estudo, identificando os padrões de uso do solo, a declividade, a geologia e pedologia, para implementar a matriz de comparação pareada para os fatores adotados, com a intenção de ponderar a fragilidade ambiental da sub-bacia e analisar as possíveis permutações sociais, que potencializam o fragilidade natural. Para alcançar o objetivo geral foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar banco de dados georreferenciados pertencentes à Sub-Bacia Hidrográfica do Rio São Simão;
- Avaliar a relação da fragilidade em justaposição às ações antrópicas.



### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Bacias Hidrográficas e Gestão dos Recursos Hídricos

Uma bacia hidrográfica pode ser estabelecida como a área que permeia um sistema de drenagem superficial, ou ainda um espaço que recebe e mantém o fluxo de água dentro do sistema hidrológico da Terra (ciclo hidrológico), delimitado pelos interflúvios (divisores de água). Essas linhas são definidas por feições que conectam curvas de nível que conectam os pontos mais altos (elementos) do terreno ao redor do sistema de drenagem considerado. (CARREGA, 2010).

Todas as zonas urbanas e rurais pertencem a uma bacia hidrográfica, interligados em uma complexa junção dos sistemas naturais do planeta e as dinâmicas socioeconômicas, oriundas das ações comportamentais dos seres biopsicossociais, refletindo diretamente nos recursos hídricos que os circundam.

O território da República Federativa do Brasil é constituído por alguns níveis de ordem hidrográfica. O primeiro é destacado pelas macrorregiões hidrográficas, sendo estabelecido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 2003, na resolução n. 32, como 12 regiões hidrográficas distintas. Segundo Silva (2019), encontram-se dentro dessas vastas macrorregiões, atributos ambientais, geomorfológicos, pedológicos e climáticos, como também diferenças de caráter econômico, social e cultural, que justificavam sua diferenciação e os agrupamentos.

Assim como na federação, os Estados membros, aplicam divisões, objetivando o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais oriundos das bacias. Segundo o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, o Estado de Minas Gerais possui 35 comitês instalados, visando a facilitar o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

No decreto de 17 de julho de 1997, Minas Gerais promulga os seguintes fundamentos:

“O Instituto Mineiro de gestão das Águas (Igam), criado pela Lei nº 12.584, de 17 de julho de 1997, que altera a denominação do Departamento de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais (DRH-MG) e dispõe sobre sua reorganização, e dá outras providências.”

Segundo a Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável SEMAD-MG, foi elaborado através da lei nº 13.199/99, o instrumento de gestão da Política Estadual de Recursos Hídricos, denominado, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), cuja objetivo é estabelecer diretrizes para o gerenciamento adequado do uso da água no Estado de Minas Gerais.

O PERH foi concluído e aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos somente em 2010, na deliberação CERH/MG, nº 260 de 26 de novembro de 2010 e pelo Governo de Minas por meio do Decreto nº 45.565 de 22 de março de 2011.

No decreto nº 45.565, o governo de Minas Gerais promulga a seguinte função ao PERH:

“O Plano também orienta sobre a necessidade de integrar a gestão de recursos hídricos com as políticas setoriais, como a agricultura e o saneamento. É, ainda, um elemento de articulação com os planos diretores das bacias hidrográficas do Estado e, de forma mais abrangente, com o Plano Nacional de Recursos Hídricos, como determina a Política Estadual de Recursos Hídricos, instituída por lei.”

A adoção de uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento é reconhecida internacionalmente não só por representar uma unidade física bem caracterizada, tanto em termos de integração quanto na função de seus elementos, mas também porque toda área terrestre, por menor que seja, faz parte de uma bacia passível de gerenciamento (DONADIO; GABALTTI; PAULA, 2005).

O manejo e planejamento das unidades físicas territoriais tornam-se cada vez mais necessários, visando a um enfoque sistêmico entre o homem e a natureza, levando sempre em consideração as potencialidades e as principais fragilidades ambientais do meio. (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006).

As bacias hidrográficas possuem uma “fragilidade natural” própria, devido a uma série de características inerentes a sua formação, como topografia, tipo de solo e geologia, e até mesmo uso da terra. Ao inserir fatores externos não naturais nesse contexto, o grau de degradação que eles produzem pode ser avaliado por meio de estudos de vulnerabilidade ambiental, que auxiliarão futuras estratégias de conservação dos recursos naturais. (PIROLI, 2002).

### 3. 2 Fragilidade Ambiental das Bacias Hidrográficas

A geotecnologia é denominada como uma disciplina computacional para tratamentos de informações geográficas. Tais tecnologias influenciam em novas áreas ligadas à comunicação, gestão de recursos e planejamento espacial. Segundo, Câmara e Medeiros (1998), em grandes dimensões territoriais, em cenário de intensas atividades agrícolas, onde a existência de informações é insuficiente para tomar decisões sobre problemas ambientais, o geoprocessamento tem um enorme potencial onde se adquire o conhecimento local, principalmente se for baseado em tecnologias de custo relativamente baixo.

Segundo Ab'Saber (1994), as atividades agrícolas sobre as paisagens naturais a nível regional, são drásticas e em alguns pontos irreversíveis, pois tais práticas corroboram com os processos erosivos, sendo este uma dos problemas mais sérios relacionados ao manejo das terras e tais problemas só podem ser sanados por adoção de planejamento do uso e ocupação das terras e com métodos conservacionistas.

De acordo com Simões (2001) é amplamente discutido na academia, sobre as atividades agrícolas serem grandes fontes de poluição difusa sobre os recursos hídricos. Desta forma, a manutenção da vegetação nativa ribeirinha pode reduzir a entrada de poluentes e sedimentos nos corpos hídricos, favorecendo a infiltração da água no solo, purificando e reduzindo o escoamento superficial das águas. Nessa perspectiva, segundo a autora, o Código Florestal Brasileiro atesta a preservação da vegetação em torno dos corpos de água, facilitando esse processo conservacionista.

O processo de sedimentação do solo em bacia hidrográfica, segundo RIBEIRO et al. (2015) é uma grave consequência da falta de planejamento espacial, pois tais processos resultam na produção, transporte e deposição sedimentos, cuja transposição pode resultar em grandes processos de assoreamento. Poluindo os corpos hídricos e acarretando sérios problemas ambientais. Assim sendo, a manutenção das matas ciliares é vista como uma significativa prática para conservação, auxiliando na retenção de agroquímicos e aumentando os processos de filtração da água, que corroboram com o equilíbrio da fauna e flora.

Na perspectiva de Miara e; Oka-Fiorl, (2007), o ambiente é formado por diferentes condicionamentos físicos, representando diferentes composições ligadas à fragilidade. Mas, para definir os diferentes níveis de classificação da fragilidade do espaço, é necessário conjugar a importância dos valores de cada variável, estabelecendo um grande número de informações, processá-las e extrair seus resultados.

Para e Oliveira Filho (2010), o estudo da fragilidade ambiental, resulta na análise conjunta, de atributos físicos e de diferentes formas de uso, tornando assim, um importante instrumento nas práticas de conservação, manejo e gestão das bacias hidrográficas.

Segundo Traficante (2011):

“Nesse sentido, acredita-se que o planejamento em áreas naturais protegidas deva se basear no reconhecimento e identificação de suas limitações e aptidões, na análise das condições físicas, nas formas de uso da terra e na correlação desses fatores, pois a verificação da dinâmica natural e sua suscetibilidade frente à ação antrópica conduzem à utilização coerente dos recursos naturais. É possível reverter esta situação a partir da proposição e implementação de alternativas em adequação e otimização deste instrumentos levando em consideração experiências anteriores e a adoção de novas práticas de manejo sustentáveis.”

Segundo Spörl (2001) apud Traficante (2016), são através dos estudos de níveis de fragilidade ambiental que conseguimos proporcionar médias e diretrizes para que haja implementações no espaço físico-territorial embasado em zoneamento ambiental.

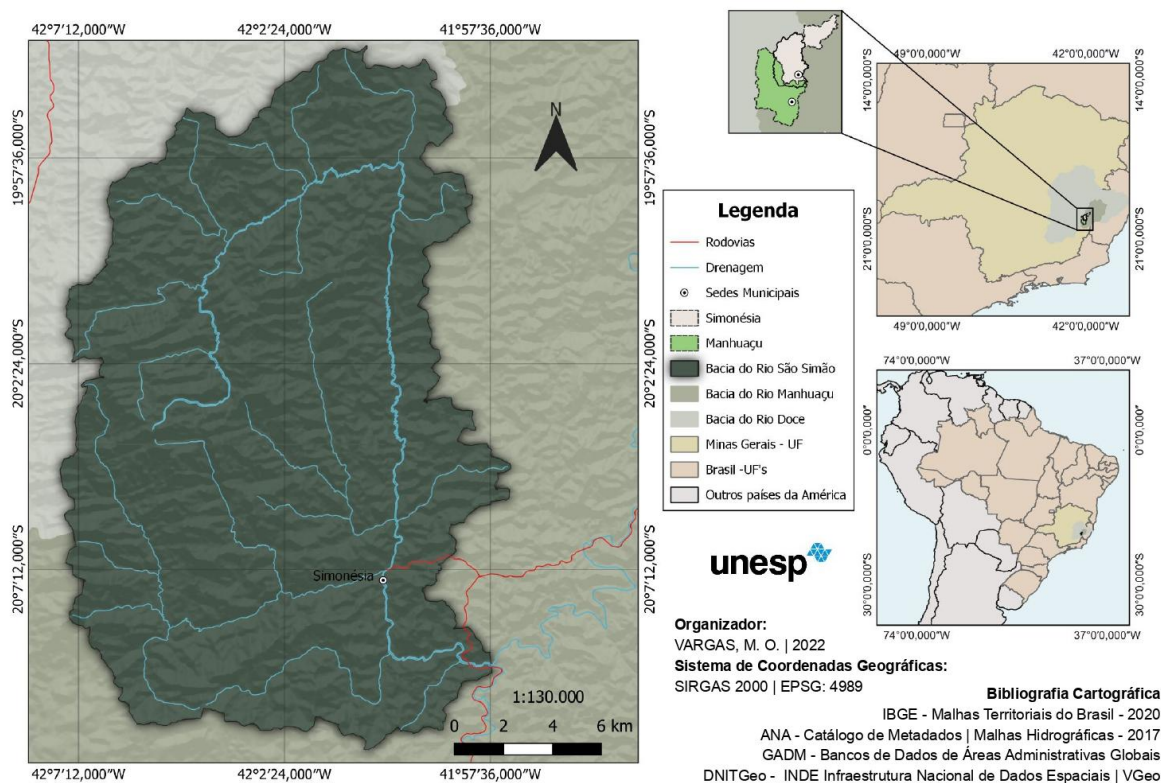
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição geral da área de estudo

Localizada entre os municípios de Manhuaçu e Simonésia, na região intermediária de Juiz de Fora em Minas Gerais, a área de estudo abrange integralmente a Sub-Bacia Hidrográfica Rio São Simão<sup>1</sup>, situada na região do Médio Rio Doce, pertencente à Bacia Hidrográfica Rio Manhuaçu, possuindo uma área total de aproximadamente 39.515,16 hectares (BARBOSA, 2019).

Os dois municípios que circundam a bacia (Figura 1), situam-se entre os paralelos 20°07'26" S a 20°15'28" S e entre os meridianos 42°0'03" O a 42°02'02" O (Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, Fuso 24 Sul). A população estimada, segundo o IBGE Cidades (2021), é de 92.074 habitantes para o município de Manhuaçu e 19.834 habitantes para Simonésia.

**Figura 1 – Localização da Sub-Bacia Hidrográfica Rio São Simão**



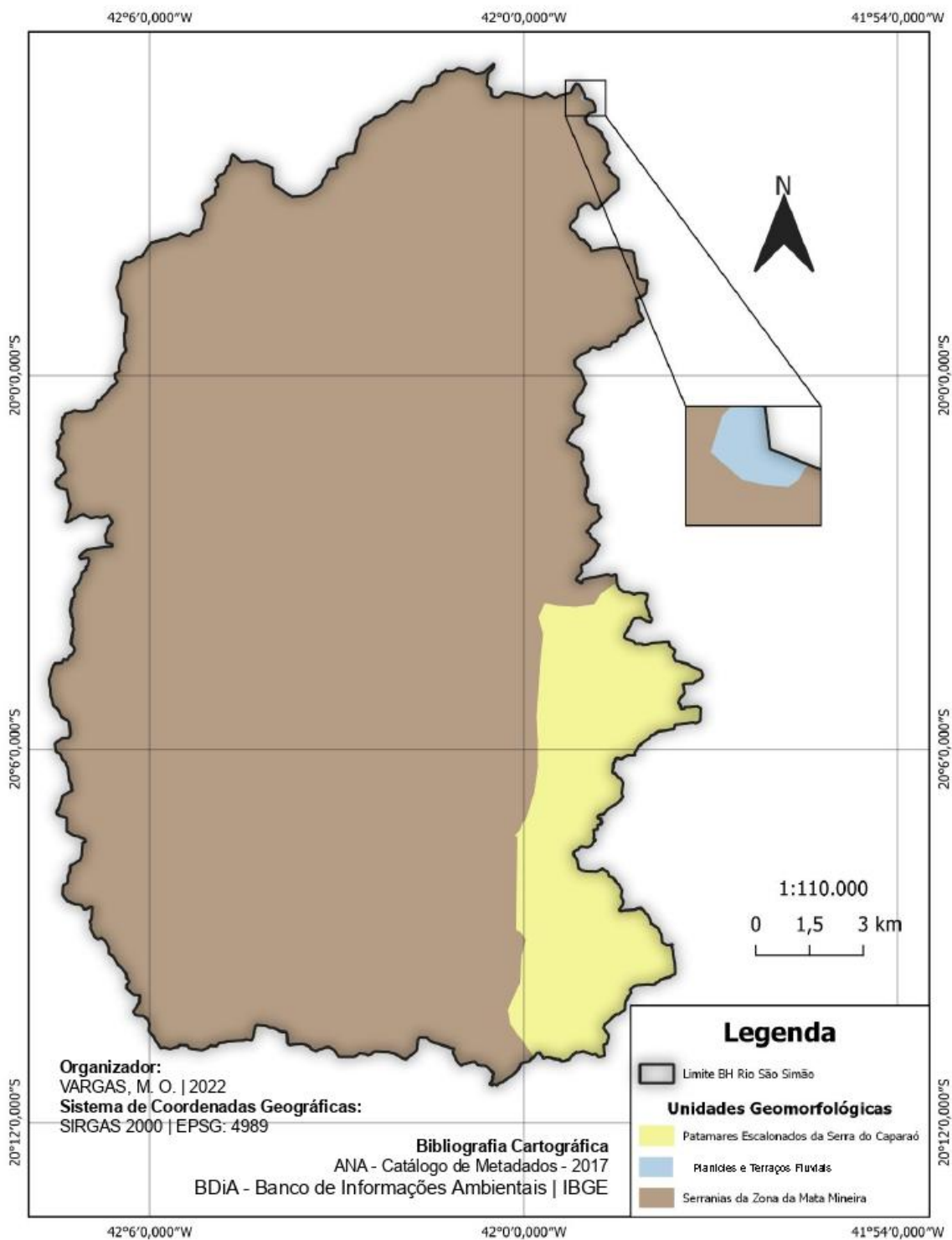
<sup>1</sup> Podendo ser denominada como Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Mateus, em registro topográfico do Banco de Dados Geográficos do Exército - BDGEx.

#### **4.1.1 Relevo**

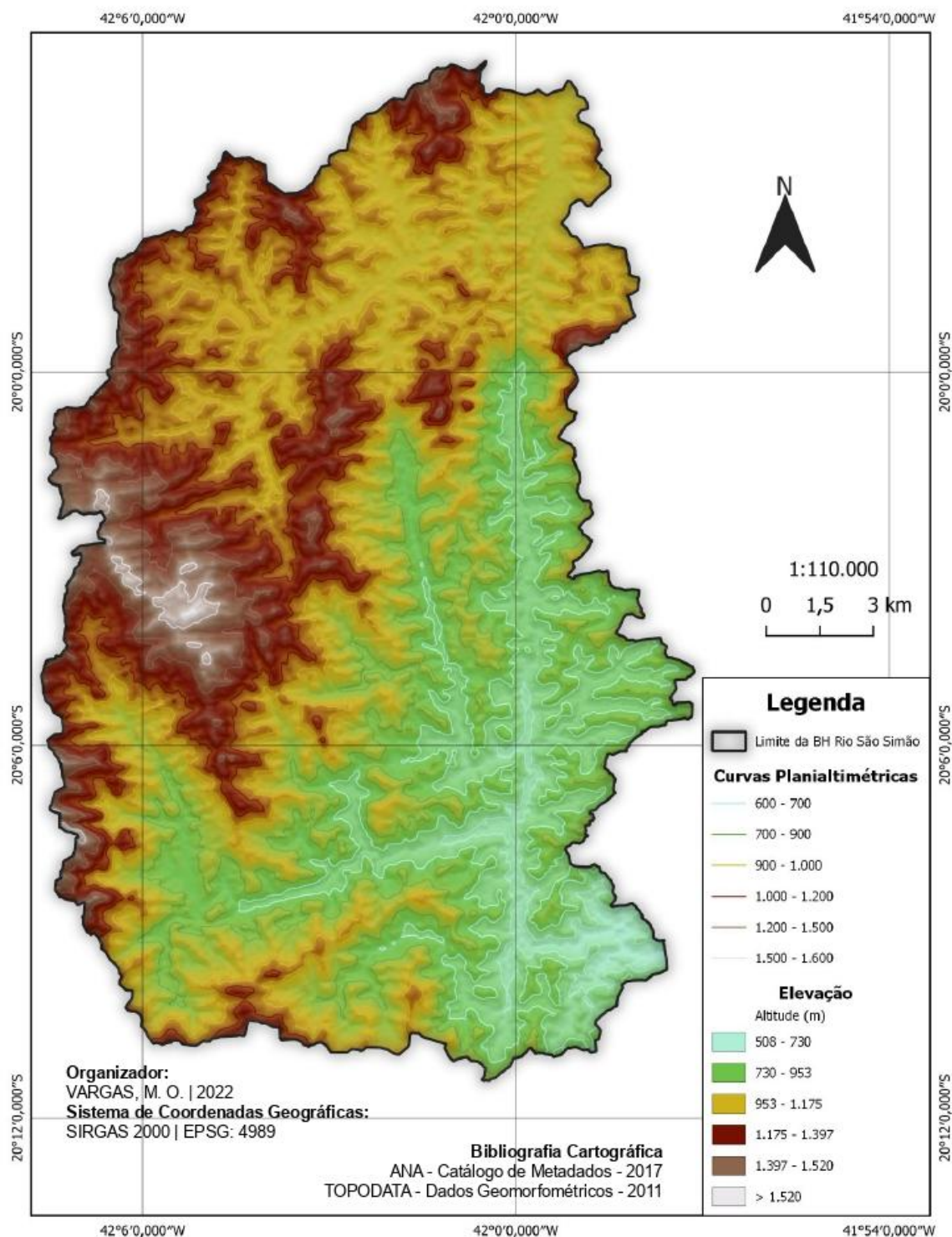
Segundo BARBOSA (2013), a bacia abrange três unidades geomorfológicas distintas: Patamares Escalonados da Serra do Caparaó, Planícies e Terraços Fluviais e Serranias da Zona da Mata Mineira. Caracterizando-se por um relevo escarpado e com bastante afloramento rochoso, vales profundos e inúmeros atributos naturais (Figura 2).

Desta maneira, a hipsometria da sub-bacia varia entre 598 m a 1.630 m, conforme Figura 3, adquirida a partir de geoprocessamento de imagens SRTM, alocadas no TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, resultado no Modelo Digital de Elevação (MDE).

**Figura 2 – Mapa Geomorfológico da BH do Rio São Simão**



**Figura 3** – Mapa Hipsométrico da Sub-bacias Hidrográficas do Rio São Simão





#### **4.1.2 Geologia**

O relevo resultante da sub-bacia é derivado de sua estrutura rochosa e os processos endógenos que a formaram. A região é pertencente à Província da Mantiqueira, entre a porção meridional da Orogênese Araçuai, com rochas ígneas e metamórficas, com a datação aproximadamente de 541 MA, referente ao período Cambriano da Era Paleozóica do Éon Fanerozóico. Sendo Circundada por gnaisse tonalítico, granitos, anfibolito, paragneisse e biotita xisto (CRPM, 2007).

#### **4.1.3 Solos**

A superfície formada a partir da segmentação das rochas supracitadas, sucedeu em uma configuração pedológica distrófica, com solos bastante ácidos e com baixa fertilidade (DE FARIA 2011). Sendo identificado (com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos); Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e Neossolo Litólico (em áreas periféricas a Sub-bacia).

#### **4.1.4 Clima**

Esculpindo a paisagem em processos exógenos, o clima da região é característico da zona tropical de altitude média da América do Sul. Baseado no sistema de Köppen, a área de estudo é classificado como Cwa - clima subtropical úmido; de acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a precipitação anual é de 1.351mm e a temperatura média anual é de 21,2°C.

#### **4.1.5 Vegetação**

Sobre sua formação florestal, predomina nesta região a Floresta Estacional Semidecidual Montana, pertencente ao bioma da Mata Atlântica (MEIRA-NETO, 2002). Embora boa parte da cobertura natural tenha sido retirada para abrigar as atividades econômicas nas áreas rurais ligadas à agricultura e à pecuária, ocorre um predomínio da cultura cafeeira nas regiões mais elevadas, próximas da cabeceira da bacia (BARBOSA, 2013) (Figura 4 e 5).

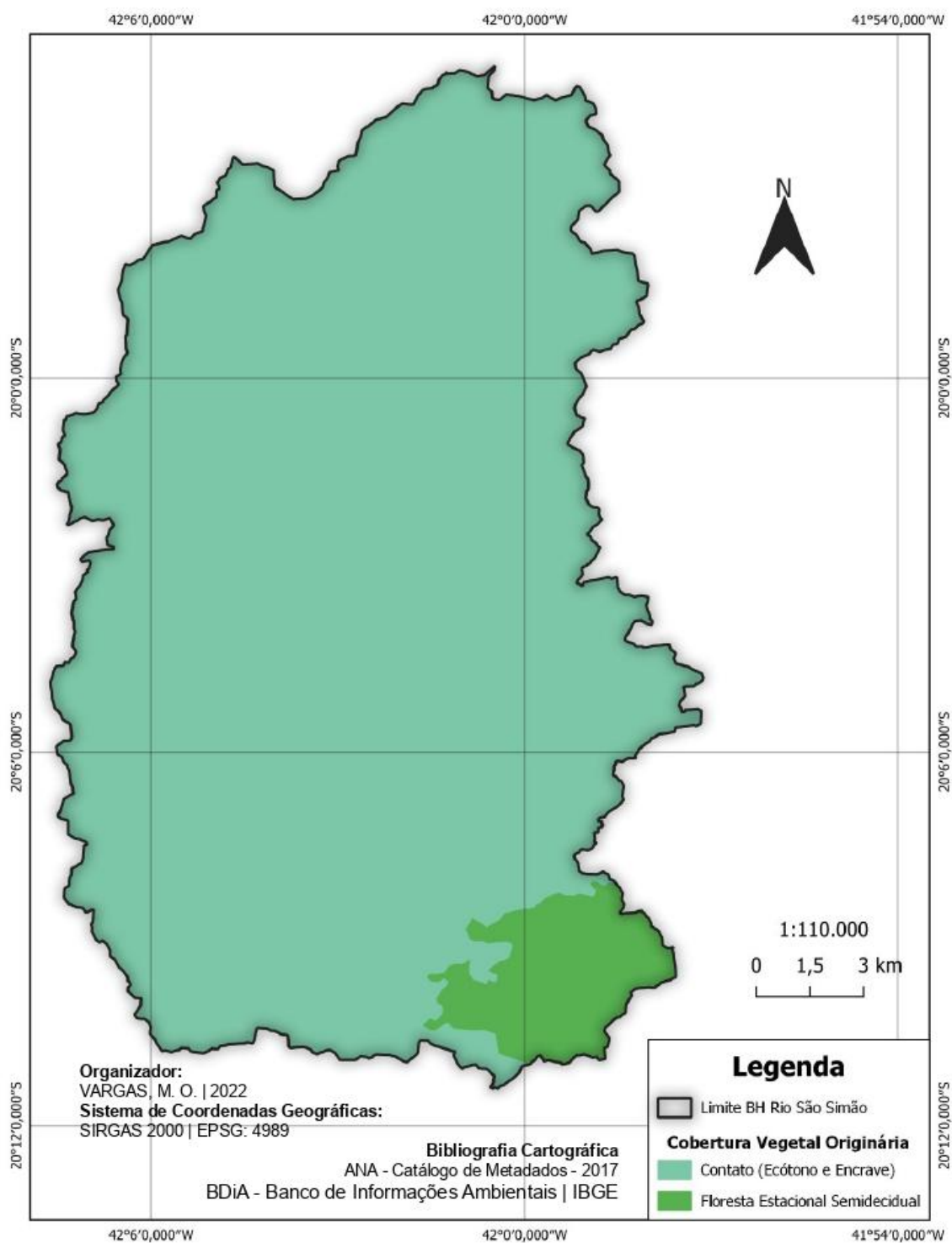
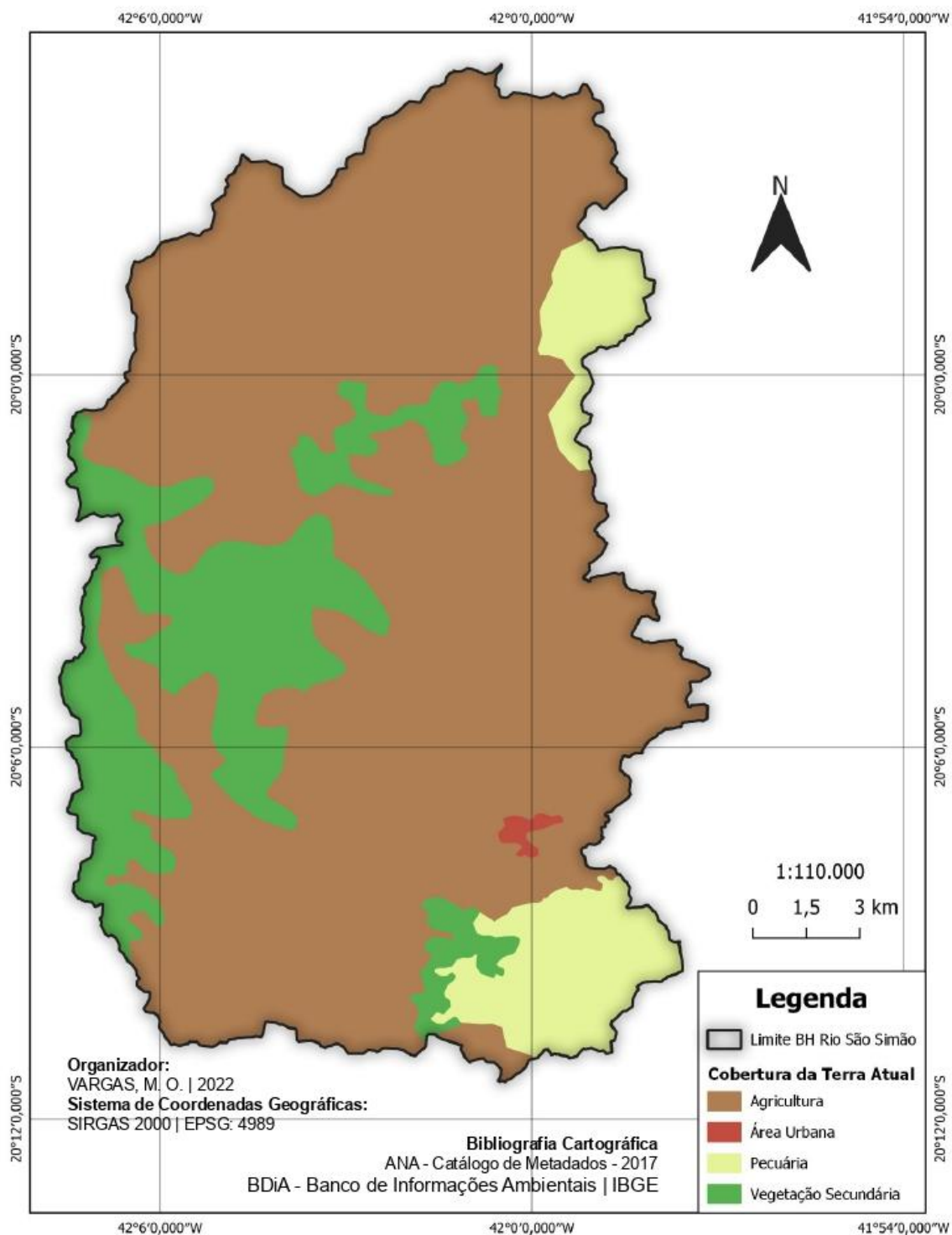
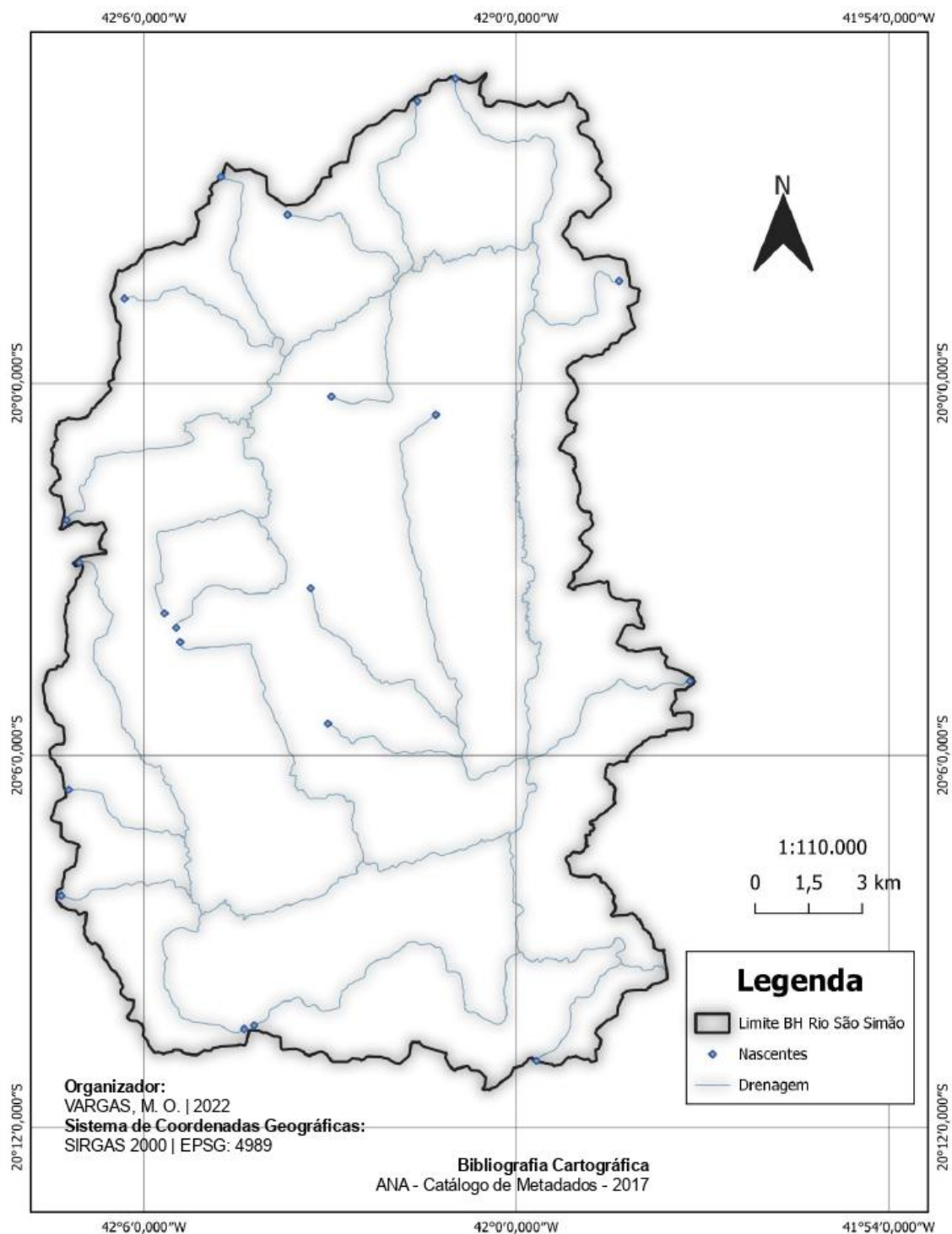
**Figura 4** – Mapa de Vegetal da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão

Figura 5 – Mapa de Uso e Ocupação Vegetal na BH do Rio São Simão



#### **4.1.6 Hidrografia**

Os municípios de Manhuaçu e Simonésia, contam com aproximadamente 39.515,16 ha de drenagem da sub-bacia; entre eles, 20,78% encontra-se no município de Manhuaçu (equivalente à 8.212,61 ha), utilizados para atividades agropecuárias e abastecimento da população rural e 78,81% situa-se em Simonésia (equivalente a 31.145,26 ha), sendo empregados em funções semelhantes e no abastecimento da sede municipal. Vale ressaltar que o Rio São Simão é tributário do Rio Manhuaçu, um afluente do Rio Doce (Figura 6).

**Figura 6** – Mapa da Rede Hidrográfica e Nascentes da BH do Rio São Simão

## **4.2 Materiais**

### **4.2.1 Equipamentos e aplicativos computacionais utilizados**

Para a obtenção dos dados geográficos e análise integrada dos PI 's, foram utilizados computadores com capacidade de 8gb de memória RAM, com processadores Intel Core i7 (11<sup>a</sup> Geração) e 256gb de SSD de armazenamento, estruturados no Sistema Windows 11.

As operações e análises, vinculadas ou processamento de arquivos no formato matricial e vetorizados, interpolação e álgebra de mapas e elaboração dos mapas, foram realizadas no Software QGIS versão 3.22.7 (Biatowieza). E por fim, foram empregados os recursos do Google Workspace for Education para tabulação dos dados e layout dos mapas finais.

### **4.2.1 Base de dados**

Para alcançar os objetivos previstos, foram articuladas informações geoprocessadas em ambiente GIS. A primeira etapa desenrolou-se a partir da construção do banco de dados da sub-bacia, que iniciou com o download dos arquivos em formato shapefile das Ottobacias, níveis 2, 3 e 4 (oriundas do Catálogo de Metadados da ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) e das malhas territoriais provenientes da plataforma do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, os quais foram executados e tiveram seus Datum padronizados para o SIRGAS 2000.

Posteriormente, começou com a coleta de imagens de satélite obtidas pelo instrumento WPM (Câmeras Multiespectrais e Pancromática de Ampla Varredura) a bordo do veículo CBERS 04A com resolução espacial de 8 metros (e 2 metros de resolução espacial com a câmera pancromática) (Tabela 1), coletada em 22 de junho de 2020, na órbita 198, ponto 138. Sendo disponibilizada gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Sistema de Pesquisas Espaciais) - Divisão de Geração de Imagem (Figura 7).

Do mesmo modo on-line, foram coletadas imagens do Modelo Digital de Elevação (MDE) fornecidas pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil - INPE / TOPODATA, com uma resolução de 30 m (as cartas planialtimétricas baixadas foram; 19\_454, 19\_42, 20\_454 e 20\_42). Em sequência, foram baixados os shapes das cartas geológica (elaborada pelo CODEMIG - A Companhia de

Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais, em parceria com o CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e pedológica (elaborada pelo Departamento de Solos da UFV - Universidade Federal de Viçosa, juntamente com a FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais.

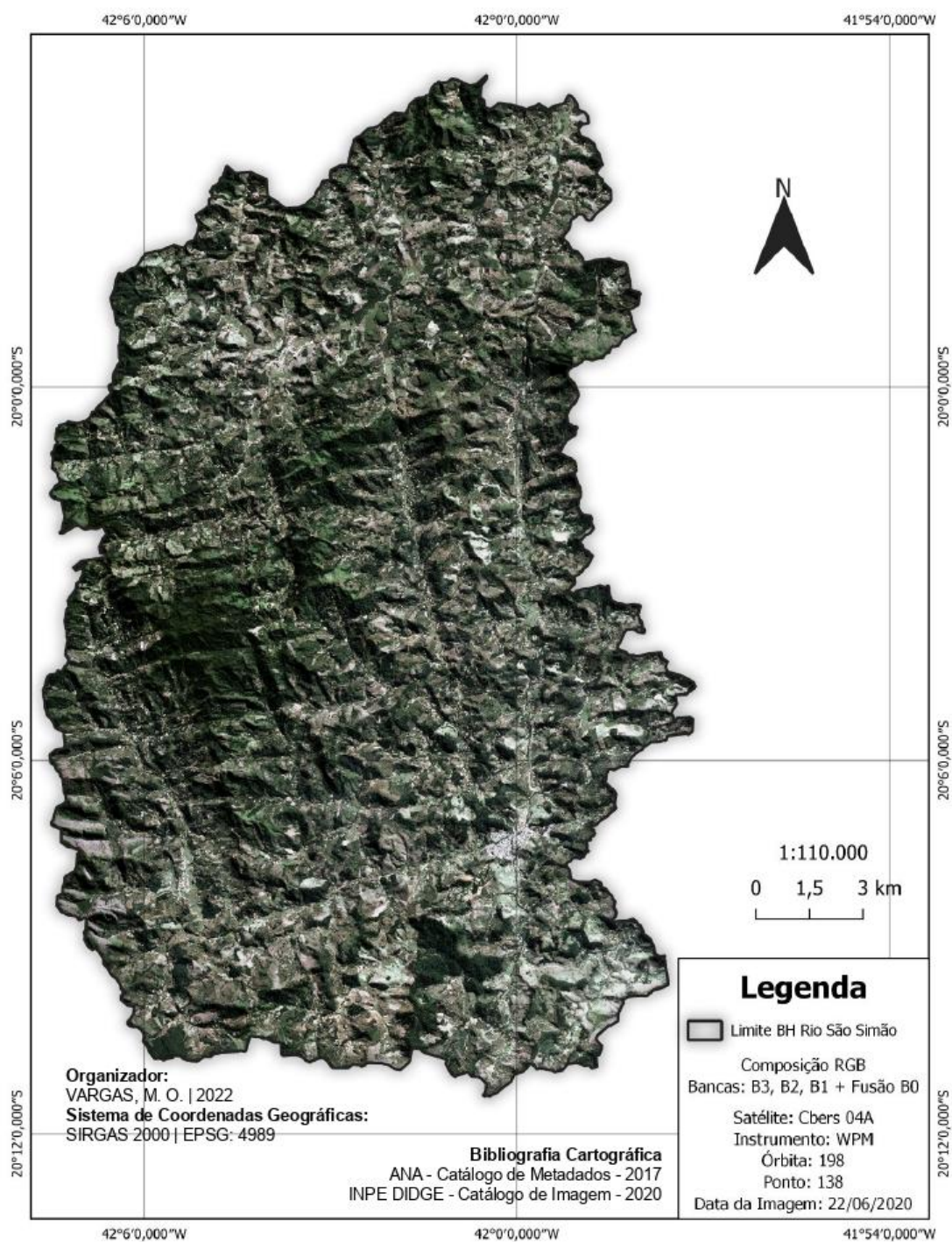
**Tabela 1 – Características dos sensores WPM - Satélite CBERS 04A**

<b>Característica</b>	<b>Dado</b>
Bandas Espectrais	P : 0,45 - 0,90 $\mu\text{m}$ B1: 0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (azul) B2: 0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ (verde) B3: 0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho) B4: 0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)
Largura da Faixa Imageada	92 km
Resolução Espacial	2 m (pancromática) 8 m (multiespectral)
Visada Lateral de Espelho	Não

Fonte: Câmeras Imageadoras CBERS 04A. INPE (2019).



**Figura 7 – Mapa Multiespectral do Satélite Cbers 04A da Sub-bacias Hidrográficas do Rio São Simão <sup>2</sup>**



<sup>2</sup> Composição colorida 321 em cores verdadeiras



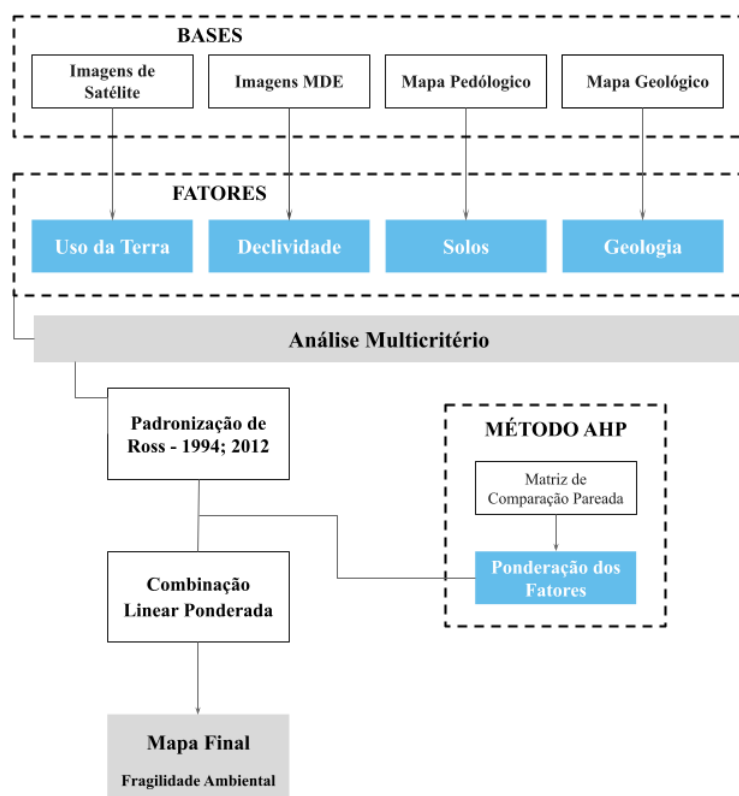
### 4.3 Métodos

#### 4.3.1 Elaboração do banco de dados: obtenção dos fatores relacionados à vulnerabilidade ambiental

As estruturas metodológicas deste estudo foram arquitetadas a partir da pesquisa da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Daniela Polizeli Traficante, sobre a mesma ótica, na Bacia Hidrográfica Do Rio Capivara<sup>3</sup>, em Botucatu - SP. Assim, TRAFICANTE (2016), segue sendo a principal referência norteadora deste estudo.

Dito isso, a elaboração dos bancos de dados se sucedeu a partir da download dos PI's disponíveis on-line e o seu armazenamento em um Disco Rígido (HD), os quais auxiliaram na execução dos arquivos dentro do software. A partir desta montagem, todo o procedimento para a execução do AHP (Figura 8), foi realizado em ambiente SIG, utilizando as ferramentas alocadas no Qgis.

**Figura 8** – Fluxograma Das Etapas De Trabalho Deste Estudo



Fonte: Elaborado pelo autor com base em Traficante (2017,p.41)

<sup>3</sup> TRAFICANTE, Daniela Polizeli. Fragilidade ambiental da APA Corumbatai-Botucatu-Tejupá (perímetro Botucatu, SP, Brasil) na bacia hidrográfica do Rio Capivara. 2016.

### 4.3.2 Análise Multicritério

O método escolhido para análise desse estudo, se baseia, na técnica AHP, o qual, faz com que seja possível escolher uma opção de gestão adequada, envolvendo critérios quantitativos e qualitativos, que estruturam problemas heterogêneos. Segundo, TRAFICANTE (2016), em:

“A aplicação da AMC na tomada de decisão, tais como o Processo Hierárquico Analítico (AHP) pode ser muito útil ao fornecer uma ferramenta apropriada para os tomadores de decisão em situações complexas. A técnica faz com que seja possível escolher uma opção de gestão adequada, envolvendo critérios quantitativos e qualitativos, que estruturam problemas heterogêneos na forma de uma hierarquia, comparações de pares e ponderação de critérios” (TRAFICANTE, 2016, p. 7)

Assim sendo, a análise de multicritério foi incorporada de acordo com as etapas elucidadas na Figura 8.

### 4.3.3 Padronização dos Fatores

Com os Planos de Informações desenvolvidos, a análise da fragilidade estudada se desdobrou através da metodologia proposta por ROSS (1994; 2012), cuja as informações são trabalhadas considerando o grau de estabilidade da paisagem de acordo com os componentes naturais de cada ambiente. Dessa maneira, os atributos de cada fator são categorizados por classe ou grau de proteção, recebendo notas de um (muito baixa) a cinco (muito alta) conforme a hierarquia de fragilidade.

**Tabela 2** – Notas e classes de fragilidade ambiental

Notas	Classes de Fragilidade
1	Muito Baixo
2	Baixo
3	Médio
4	Alto
5	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

Assim, os fatores são convertidos para arquivos raster (pelo processo de rasterização no Qgis), os atributos são classificados com notas de fragilidade e os

fatores são normalizados, sendo atribuídos um valor único de 30m de resolução para cada pixel, garantindo a sobreposição de informações que serão trabalhadas no método AHP na Combinação Linear Ponderada, que resultará em nosso produto final.

#### 4.3.4 Ponderação dos Fatores

A ponderação ocorreu através do Processo Hierárquico Analítico (AHP), proposto por Saaty (1977), em cada fator importante para determinar a fragilidade ambiental é considerado crucial para o objetivo, os quais são comparados par-a-par em uma matriz Matriz de comparação pareada (Tabela 3), cujo o preenchimento se dá a partir de escolhas feitas por uma escala proposta pelo mesmo autor. (Tabela 4).

**Tabela 3 – Matriz de comparação pareada**

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>...</b>	<b>Fn</b>
<b>F1</b>	f1/f1	f2/f1	...	f1/fn
<b>F2</b>	f2/f1	f2/f2	...	f2/fn
<b>...</b>	...	...	...	...
<b>Fn</b>	fn/f1	fn/f2	...	fn/fn

Fonte: adaptado de Saaty (1977).

**Tabela 4 – Escala de valores para a comparação pareada**

<b>Escala de Importância</b>	<b>Definição na comparação pareada</b>
<b>1</b>	Dois fatores são igualmente importantes para o objetivo
<b>3</b>	Um fator é moderadamente importante sobre outro para o objetivo
<b>5</b>	Um fator é fortemente importante sobre outro para o objetivo
<b>7</b>	Um fator é muito fortemente importante sobre outro para o objetivo
<b>9</b>	Um fator é extremamente importante sobre outro para o objetivo
<b>2, 4, 6, 8</b>	Valores intermediários

Fonte: adaptado de Saaty (1990).

Após, o preenchimento da matriz, foi calculado o vetor de pesos, Silva et al. (2004) elaborou a equação (Figura 9) para a obtenção do vetor pesos, os quais foram realocados para gerar a fragilidade ambiental da sub-bacia. Subsequente,

temos o cálculo do autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) (Figura 10); valor importante para a verificação de uma matriz z recíproca e positiva (SAATY (1990).

**Figura 9** – Equação de Vetor Peso

$$w_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n} / \sum_{k=1}^n \left[ \left( \prod_{j=1}^n a_{kj} \right)^{1/n} \right]$$

Em que:

$w_i$ : peso para o fator  $i$ ;

$n$ : número de fatores.

Fonte: Silva et al. (2004)

**Figura 10** – Equação de autovalor máximo

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \left( \frac{w'_1}{w_1} + \frac{w'_2}{w_2} + \dots + \frac{w'_n}{w_n} \right)$$

Fonte: Silva et al. (2004)

Em seguida foi calculado o do Índice de Consistência (CI) (Figura 11). Segundo, Saaty (1977) o CI é importante para calcular Razão de Consistência (CR), utilizada para indicar se a matriz foi preenchida de forma consistente e não deverá ser reavaliada.

**Figura 11** – Equação de Índice de Consistência

$$CI = \frac{\lambda_{\text{max}} - n}{n - 1}$$

Fonte: Saaty (1977)

#### 4.3.5 Mapa Final de Fragilidade Ambiental

Por fim, foram padronizados os fatores declividade, uso e ocupação da terra, solos e geologia, normalizados de acordo com a metodologia proposta por Ross (1994;2012) e ponderados (CLP), aplicando os pesos da técnica da AHP (EASTMAN et al., 1995), através da ferramenta “Calculadora Raster” do software

Qgis 3.22.7, resultando no mapa de fragilidade ambiental da Sub-bacia hidrográfica do Rio São Simão.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Declividade

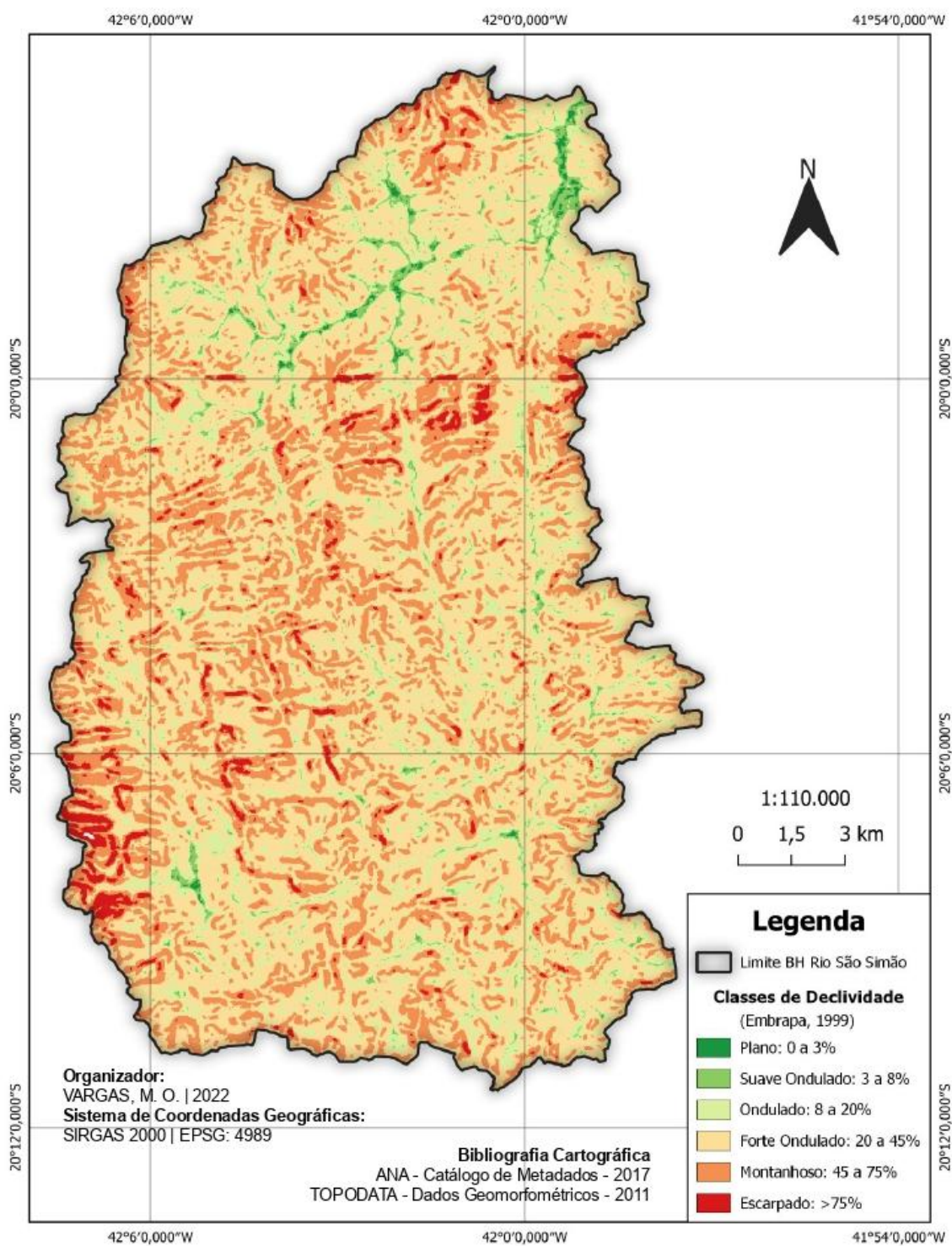
Sobre sua declividade, a bacia encontra-se segundo classificação da Embrapa (2013), em uma área fortemente ondulada, com intervalos montanhosos e escarpados (Tabela 5 e Figura 12), que complexibiliza os processos ambientais, criando espaço apropriados para processos de degradação, oriundos da falta manejo na ocupação e uso das terras, potencializando os efeitos de resistência (IENSEN, 2006).

**Tabela 5 - Declividade da Bacia**

<b>Declividade (%)</b>	<b>Classes de Relevo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
0 - 3	Plano	127,97	0,32
3 - 8	Suave-ondulado	869,65	2,20
8 - 20	Ondulado	5.513,93	13,95
20 - 45	Forte-ondulado	21.056,52	53,28
45 -75	Montanhoso	10.870,57	27,51
>75	Escarpado	1.076,45	2,72
<b>Área Total</b>		<b>39515,167</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 12** – Mapa de Declividade da BH do Rio São Simão



## 5.2 Uso da Terra

Em relação ao uso e ocupação das terras na Sub-bacia, a classificação resultou em cinco classes distintas: Floresta, Pastagem, Lavoura Cafeeira, Solo Exposto e Área Edificada. Utilizando a técnica da Classificação supervisionada “Random Forest Classification”. Com uma Acurácia de 0.87, a qual demonstrou uma grande interferência antrópica sobre o meio, oriundos das atividades econômicas relacionadas ao extrativismo agrícola e pecuário, conforme são demonstradas na Tabela 6 e na Figura 13.

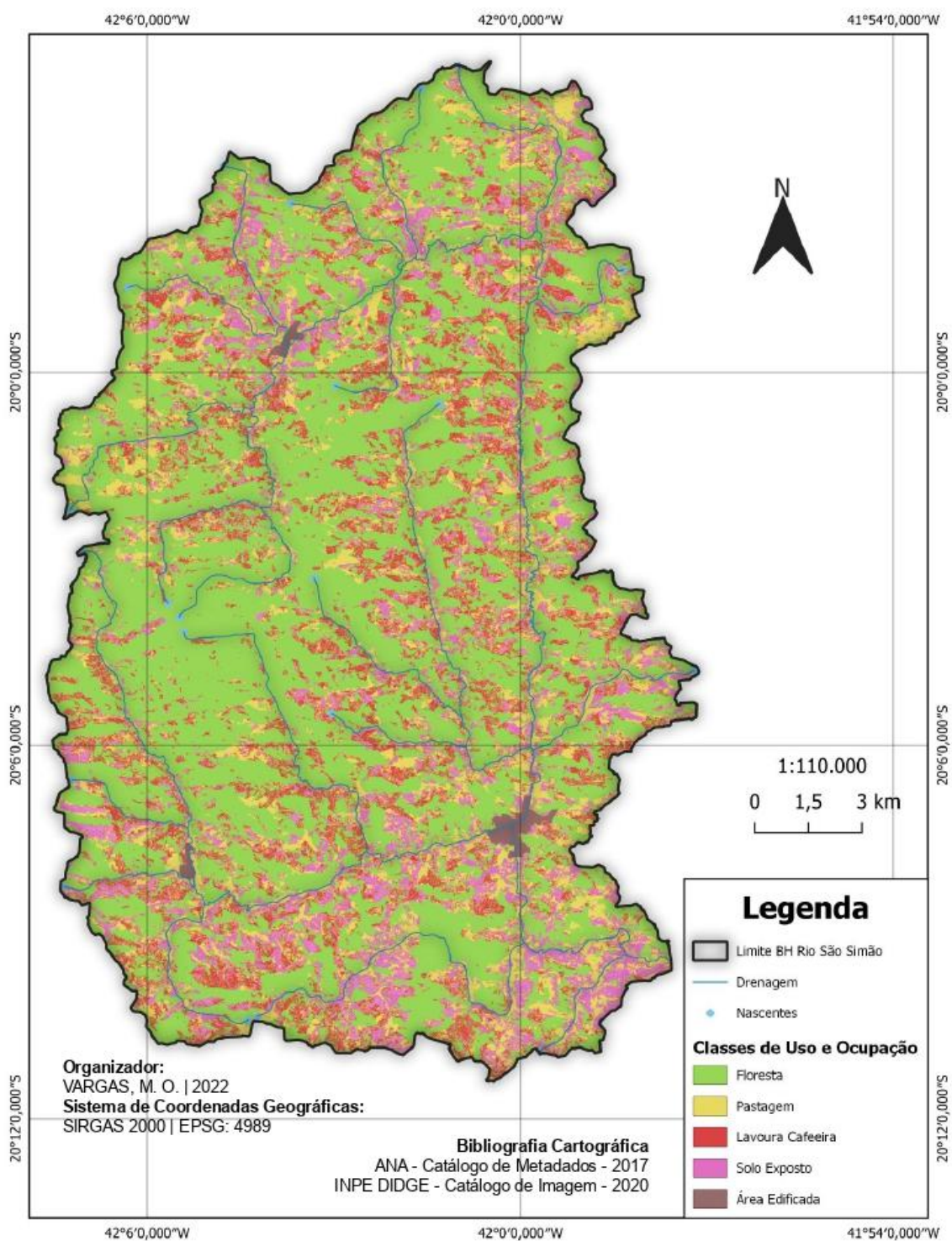
**Tabela 6 - Uso das Terras Sobre a Bacia**

-	Classes	Área (ha)	%
1	Floresta	15.264,21	38,62
2	Pastagem	4.424,77	11,19
3	Lavoura Cafeeira	10.466,79	26,48
4	Solo Exposto	9.179,56	23,23
5	Área Edificada	179,84	0,45
<b>Área Total</b>		<b>39.515,17</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor



**Figura 13** – Mapa de Uso e Ocupação das Terras Sobre a BH do Rio São Simão



### 5.3 Pedologia

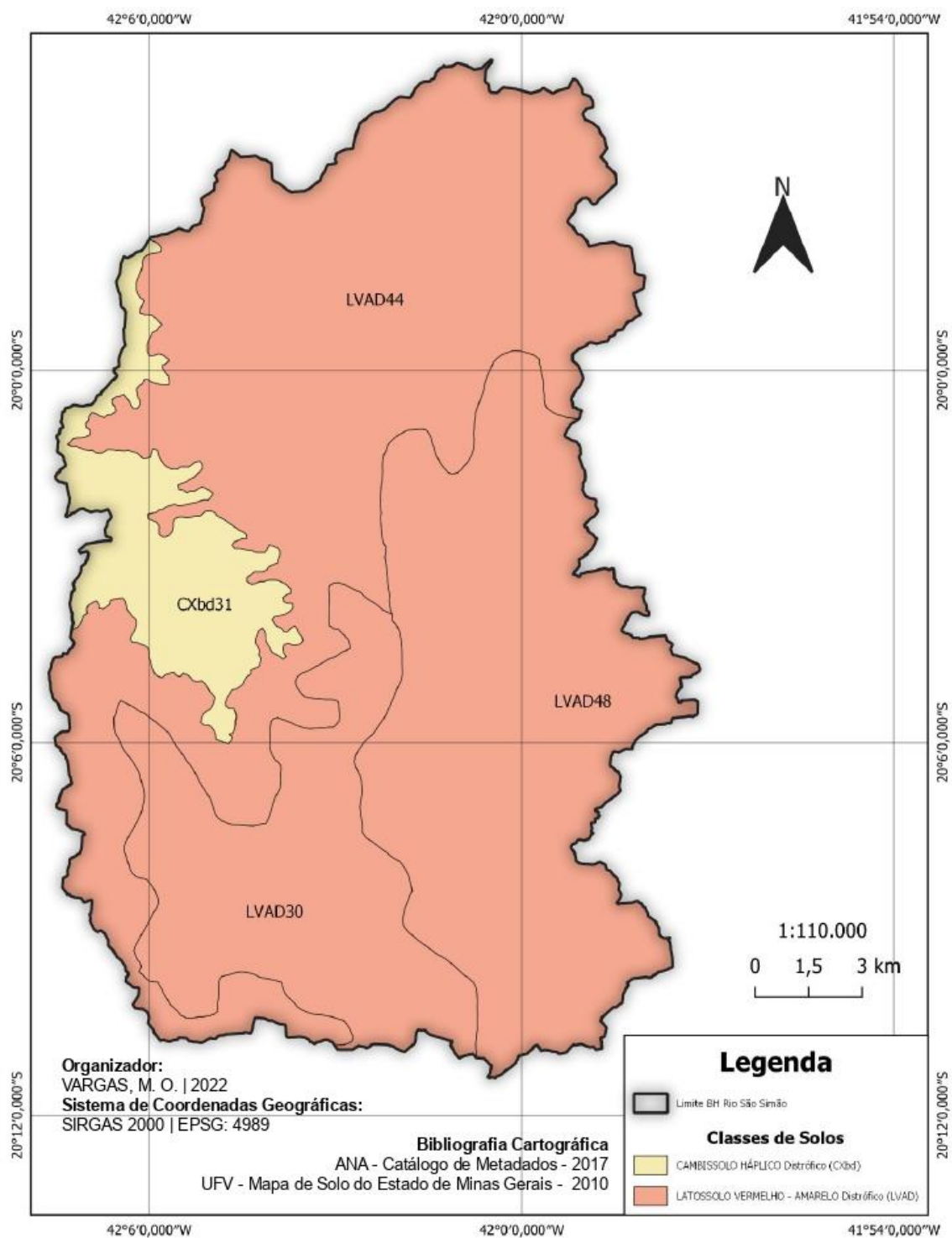
As classes de solos da Sub-bacia do Rio São Simão, são representadas na Figura 14 e na Tabela 7, constituindo-se de quatro classes diferentes em sua composição química e mineral. Predominado sobre a área os Latossolos, entre eles temos o LVAd30 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico húmico (A húmico, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia), LVAd44 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico húmico (A húmico, muito profundo, textura argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo forte ondulado) e LVAd48 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico húmico (A húmico, muito profundo, textura argilo arenosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo montanhoso). A quarta e última classificação encontra-se o CXbd31 - CAMBISSOLO HÁPLICO Tb distrófico típico, (A moderado e proeminente, profundo, textura argilosa, relevo montanhoso e escarpado) (UFV; FEAM, 2010).

**Tabela 7 - Pedologia da Bacia**

<b>Classe de Solo</b>	<b>Tipos de Solo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
<b>Cambissolo</b>	CXbd31	3.331,09	8,43
	LVAd30	6.528,39	16,52
<b>Latossolo</b>	LVAd44	17.746,15	44,91
	LVAd48	11.909,64	30,13
<b>Área Total</b>		<b>39.515,17</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 14** – Mapa Pedológico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão



### 5.4 Geologia

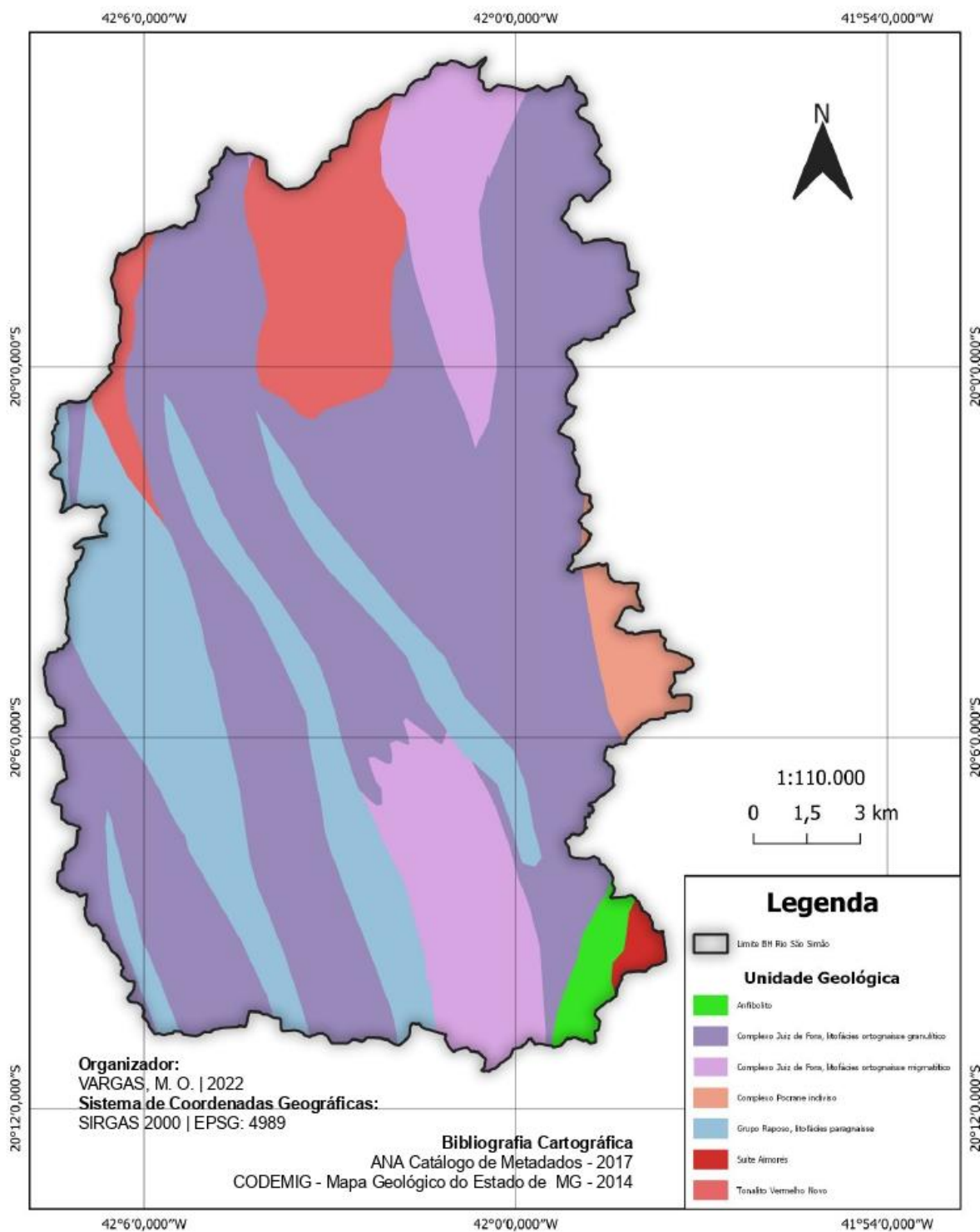
Por último, foram delimitadas sete unidades geológicas sobre a bacia (Figura 15 e Tabela 8). Formadas através do processo orogênico do Araçuaí, cuja dinâmica de transformação litosférica oriunda da separação da Gondwana (separação da Placa Sul-americana com a Placa Africana) resultou em uma região metamórfica mais granítica (ALKMIM, 2007).

**Tabela 8 - Geologia da Bacia**

<b>Unidades Geológicas</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Anfibolito	498,99	1,26
Complexo Juiz de Fora, litofácies ortognaisse granulítico	21.630,55	54,74
Complexo Juiz de Fora, litofácies ortognaisse migmatítico	5.364,13	13,57
Complexo Pocrane indiviso	810,85	2,05
Grupo Raposo, litofácies paragnaisse	7.600,86	19,23
Suíte Aimorés	204,90	0,51
Tonalito Vermelho Novo	3.404,85	8,61
<b>Área Total</b>	<b>39.515,16</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 15** – Mapa Geológico da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão



## **5.5 Padronização e Ponderação dos Fatores**

Com os Planos de Informações desenvolvidos, a análise da fragilidade estudada se desdobrou através da metodologia proposta por ROSS (1994; 2012), cuja informações são trabalhadas considerando a estabilidade da paisagem de acordo com os componentes naturais de cada ambiente. Dessa maneira, os atributos de cada fator são categorizados por classe ou grau de proteção, recebendo notas de um (muito baixa) a cinco (muito alta) conforme a hierarquia de fragilidade.

Assim, os fatores são convertidos para arquivos raster (pelo processo de rasterização no Qgis), os atributos são classificados com notas de fragilidade e os fatores são normalizados, sendo atribuídos um valor único de 30m de resolução para cada pixel. Garantindo a sobreposição de informações que serão trabalhadas no método AHP na Combinação Linear Ponderada, que resultará em nosso produto final.

### 5.5.1 Fator Declividade

De acordo com as classes de declividade encontradas na sub-bacia, foram atribuídas notas referentes às classes de fragilidade conforme a Tabela 9, originando o mapa apresentado na Figura e as áreas (ha) mostradas abaixo.

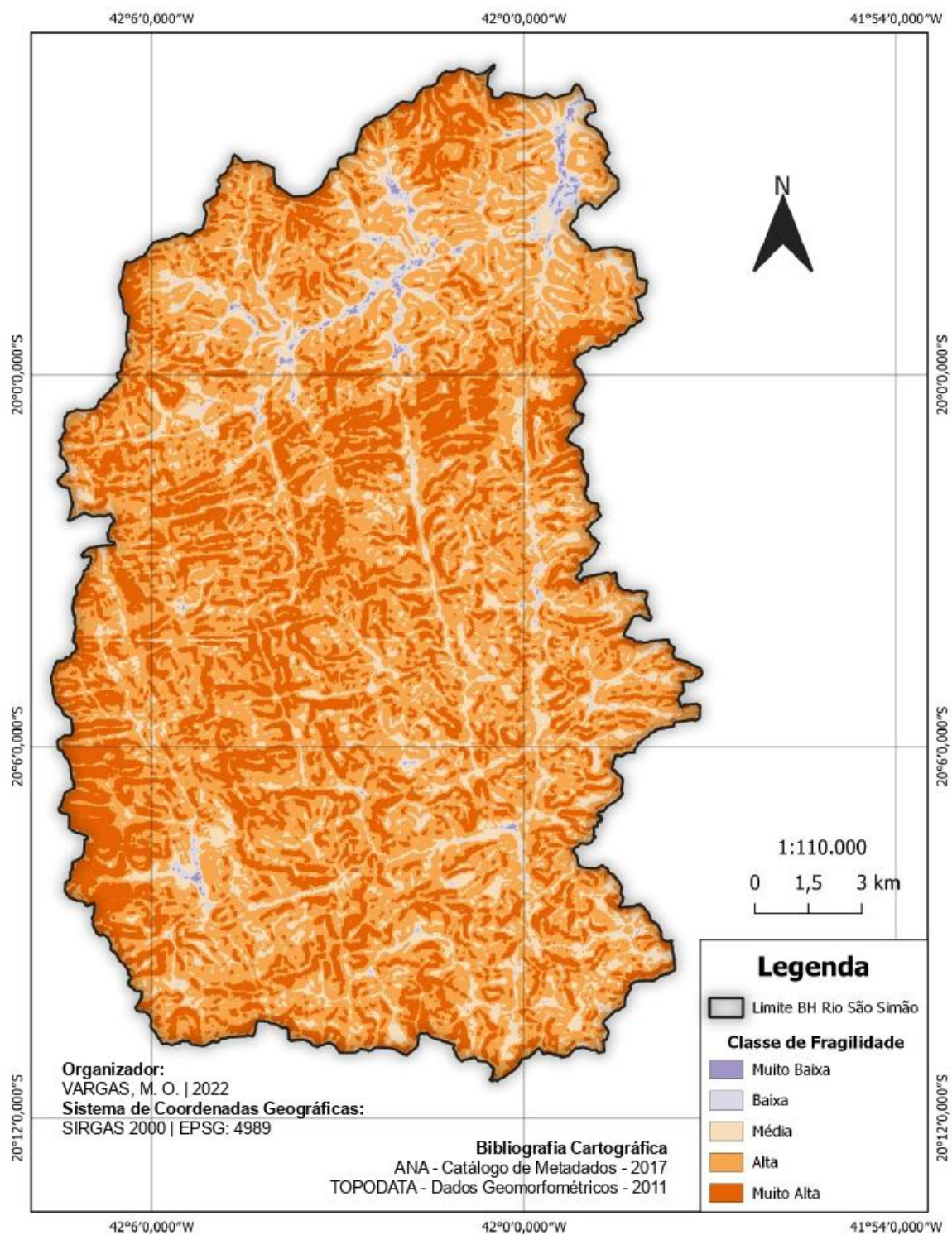
**Tabela 9** - Notas e classes de fragilidade atribuídas à declividade

<b>Nota</b>	<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Área (ha)</b>
1	Muito Baixa (MB)	0 - 3	127,97
2	Baixa(B)	3 - 8	869,65
3	Média (M)	8 - 20	5.513,93
4	Alta (A)	20 - 45	21.056,572
5	Muito Alta (MA)	45-75% e > 75	11.947,03
<b>Área Total</b>			<b>39.515,16</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012)



**Figura 16**– Mapa de Declividade em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão





### 5.5.2 Fator Uso e Ocupação da Terra

Visando as classes de Uso e Ocupação da Terra sobre a Bacia, foram atribuídas notas com os respectivos graus de proteção conforme adaptações feitas com o estudo de Ross (1994; 2012). Vale ressaltar que notas menores (Muito Baixa) são atribuídas aos graus de proteção maiores e as notas maiores (Muito Alta) são atribuídas a classes de uso com baixa proteção da terra (Tabela 10), resultando assim, o mapa apresentado na Figura 17.

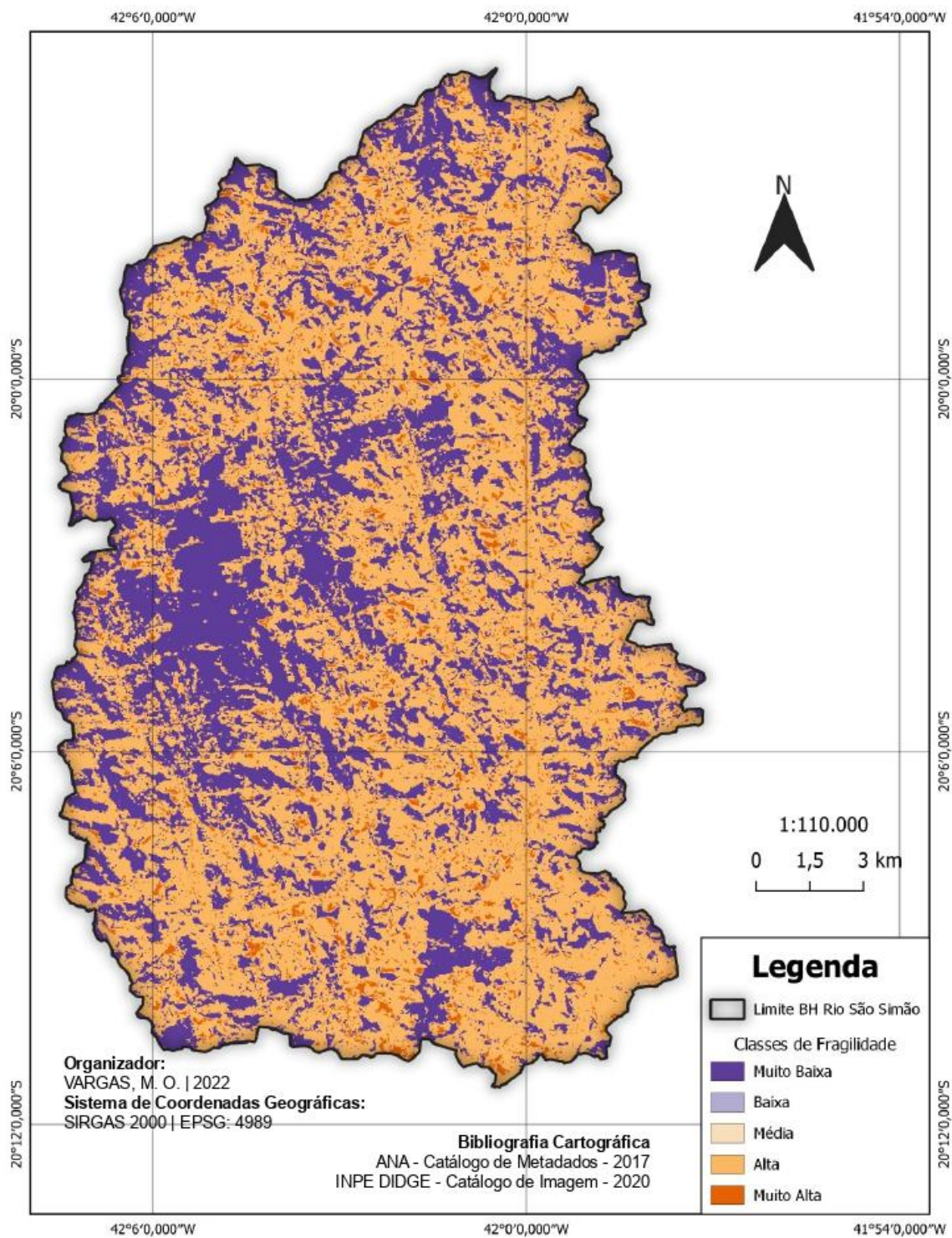
**Tabela 10** - Notas e classes de fragilidade atribuídas à declividade ao fator uso e ocupação da terra

<b>Nota</b>	<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Classes de Uso</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>1</b>	Muito Baixa (MB)	Floresta	15.264,25
<b>2</b>	Baixa(B)	-	- <sup>4</sup>
<b>3</b>	Média (M)	-	-
<b>4</b>	Alta (A)	Área Edificada, Lavoura Cafeeira e Pastagem	15.071,32
<b>5</b>	Muito Alta (MA)	Solo Exposto	9.179,58
<b>Área Total</b>			<b>39.515,16</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012)

<sup>4</sup> \*--: não há atributos pertencentes a esta classe de fragilidade

**Figura 17** – Mapa de Uso e Ocupação das Terras em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão



### 5.5.3 Fator Pedologia

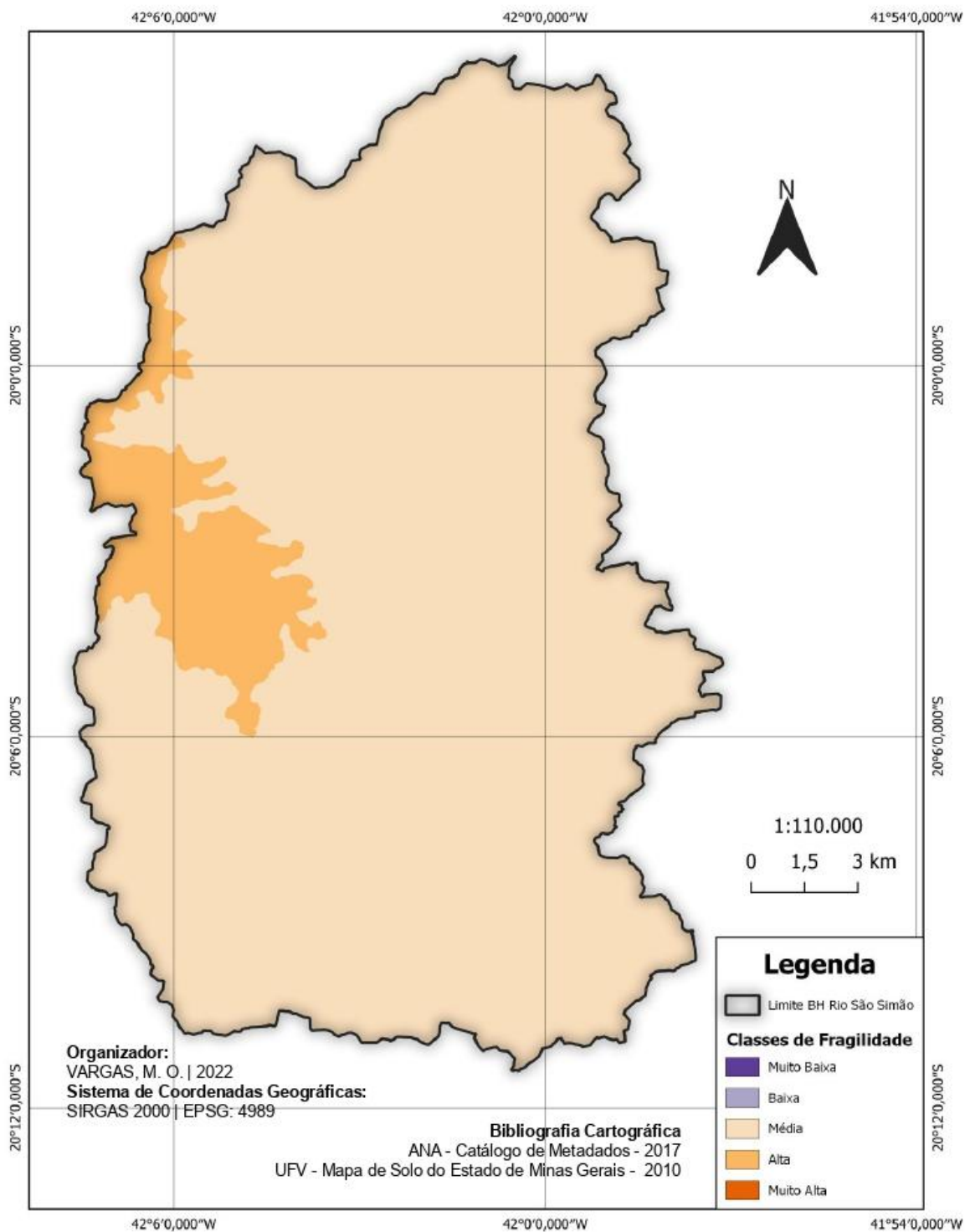
De acordo com as classes de solo encontradas na sub-bacia, foram atribuídas notas referentes às classes de fragilidade conforme a Tabela, originando o mapa apresentado na Figura e as áreas (ha) mostradas abaixo.

**Tabela 11** - Notas e classes de fragilidade atribuídas ao fator Pedologia

<b>Nota</b>	<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Classes de Solo</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>1</b>	Muito Baixa (MB)	-	-
<b>2</b>	Baixa(B)	-	-
<b>3</b>	Média (M)	LVAAd30, LVAAd44 e LVAAd48	36.184,13
<b>4</b>	Alta (A)	CXbd31	3.331,02
<b>5</b>	Muito Alta (MA)	-	-
<b>Área Total</b>			<b>39.515,16</b>

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012)

**Figura 18 – Mapa Pedológico em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão**



### 5.5.4 Fator Geologia

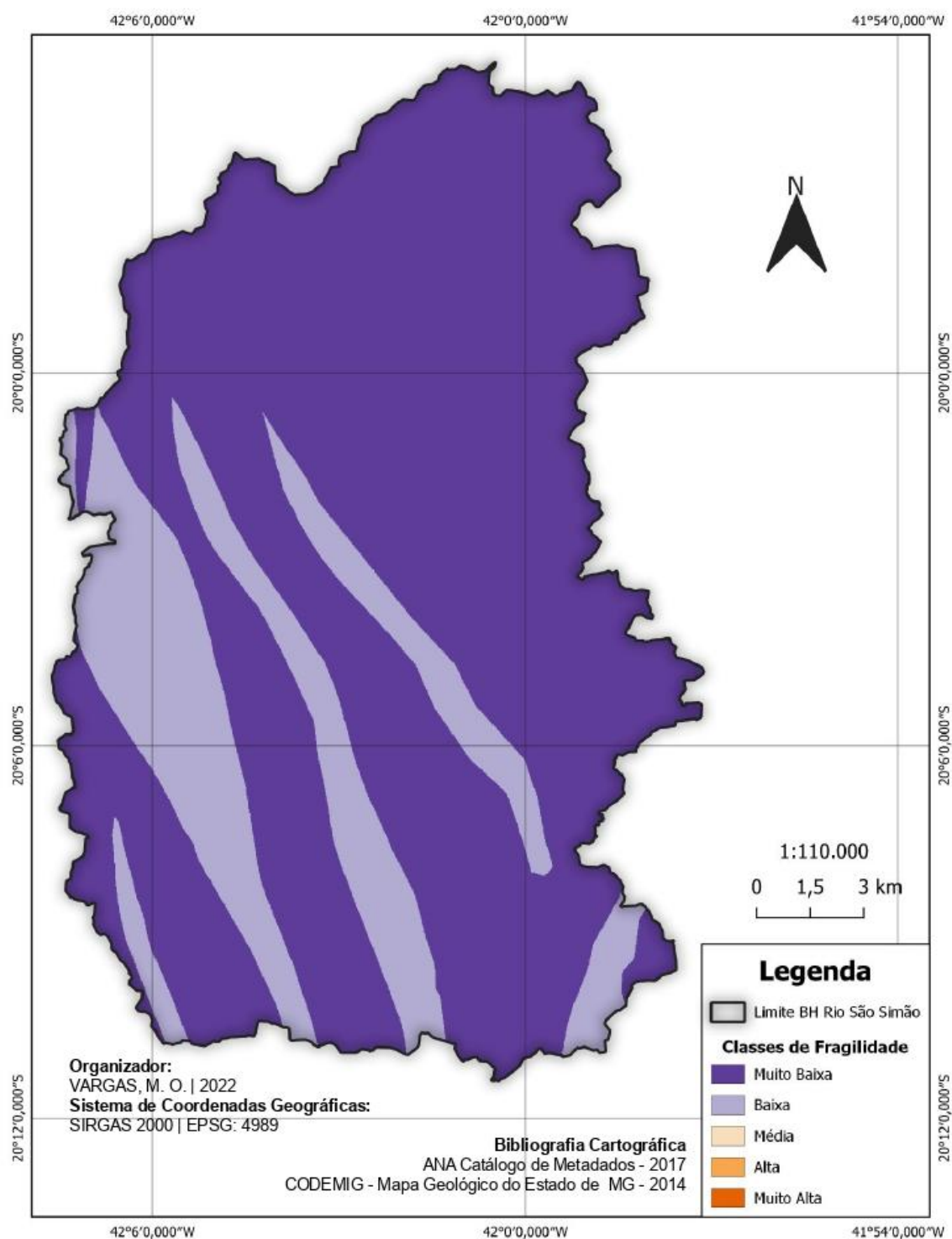
De acordo com as unidades geológicas encontradas na sub-bacia, foram atribuídas notas referentes às classes de fragilidade conforme a Tabela 12, originando o mapa apresentado na Figura 19 e as áreas (ha) mostradas abaixo.

**Tabela 12** - Notas e classes de fragilidade atribuídas ao fator Geologia da Bacia

<b>Nota</b>	<b>Classes de Fragilidade</b>	<b>Unidades Geológicas</b>	<b>Área (ha)</b>
<b>1</b>	Muito Baixa (MB)	Complexo Juiz de Fora, litofácies ortognaisse migmatítico, Complexo Juiz de Fora, litofácies ortognaisse migmatítico, Complexo Pocrane indiviso, Suíte Aimorés e Tonalito Vermelho Novo	8.099,9
<b>2</b>	Baixa(B)	Anfibolito e Grupo Raposo, litofácies paragnaisse	31.415,31
<b>3</b>	Média (M)	-	-
<b>4</b>	Alta (A)	-	-
<b>5</b>	Muito Alta (MA)	-	-
<b>Área Total</b>			<b>39.515,17</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

**Figura 19** – Mapa Geológico em Classes de Fragilidade na BH do Rio São Simão



## 5.6 Fragilidade Ambiental da Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão

A matriz trabalhada para o consequimento do mapa de Fragilidade Ambiental, se deu por um preenchimento seguindo dois critérios principais, o primeiro se relaciona com a reciprocidade da matriz, cuja os elementos terão o seguinte comportamento  $a_{ij} = 1/a_{ji}$ . A segunda regra é referente aos fatores quando comparados com ele mesmo que receberá  $a_{ii} = 1$ .

**Tabela 13** – Matriz de comparação pareada para os fatores adotados

	Uso e Ocupação	Declividade	Pedologia	Geologia
Uso e Ocupação	1	7	5	8
Declividade	0.14	1	1	4
Pedologia	0.20	1	1	4
Geologia	0.12	0.25	0.25	1

Fonte: Elaborada pelo autor

**Tabela 14** – Pesos atribuídos aos fatores adotados

Fatores	Vetor de ponderação
Uso e Ocupação	0,6176
Declividade	0,1765
Pedologia	0,1765
Geologia	0,0294

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a obtenção dos pesos, faz se necessário o cálculo do autovalor máximo ( $\lambda_{\text{máx}}$ ) para a matriz. Segundo SAATY (1990), Para matrizes recíprocas e positivas,  $\lambda_{\text{máx}}$  deve ser maior ou igual a n, ou seja maior que o número de fatores ( $n=4$ ), para essa matriz,  $\lambda_{\text{máx}}$  foi de 4,113. Em relação, ao valor de CR (Razão de Consistência) foi de 0,042 (valor inferior a 0,1), o qual indica que a matriz de comparação pareada foi preenchida de forma aleatória e está consistente, não necessitando de reestruturação (SAATY, 1990).

Assim, podemos analisar que a ordem de importância, segue os seguintes padrões: uso da terra, declividade, pedologia, e geologia. Seus pesos foram englobados na calculadora raster do Qgis que resultou em nosso mapa de fragilidade ambiental. Desta forma, obtiveram-se os resultados finais (Tabela 15 e Figura 20), com a representação espacial das áreas homogêneas.

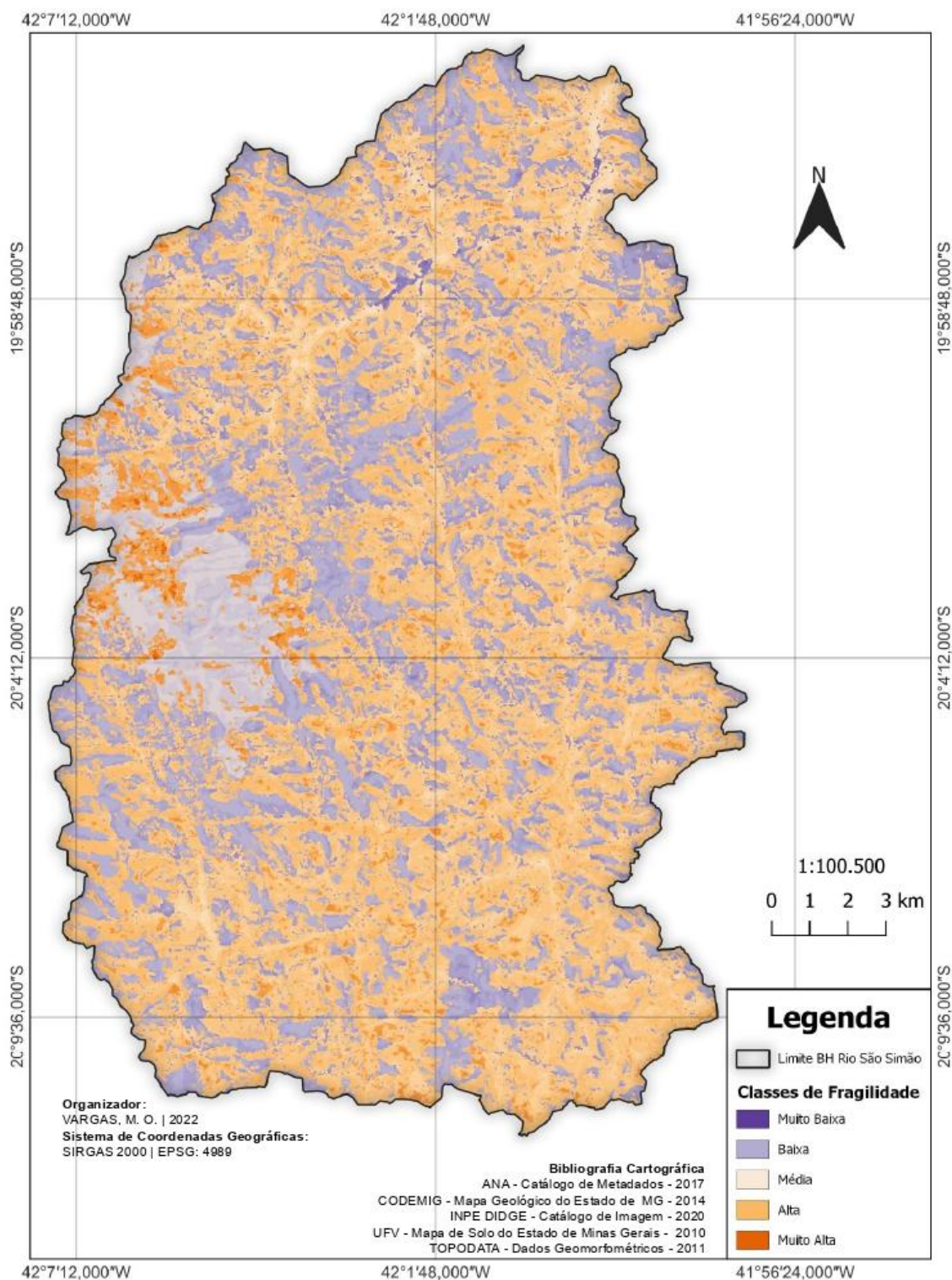
**Tabela 15 – Fragilidade Ambiental da Sub-bacia**

-	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
1	Muito Baixo	1.249,29	3,16
2	Baixo	12.332,08	31,20
3	Médio	4.608,17	11,66
4	Alto	18.718,65	47,37
5	Muito Alto	2.606,95	6,59
<b>Área Total</b>		<b>39.515,16</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborada pelo autor



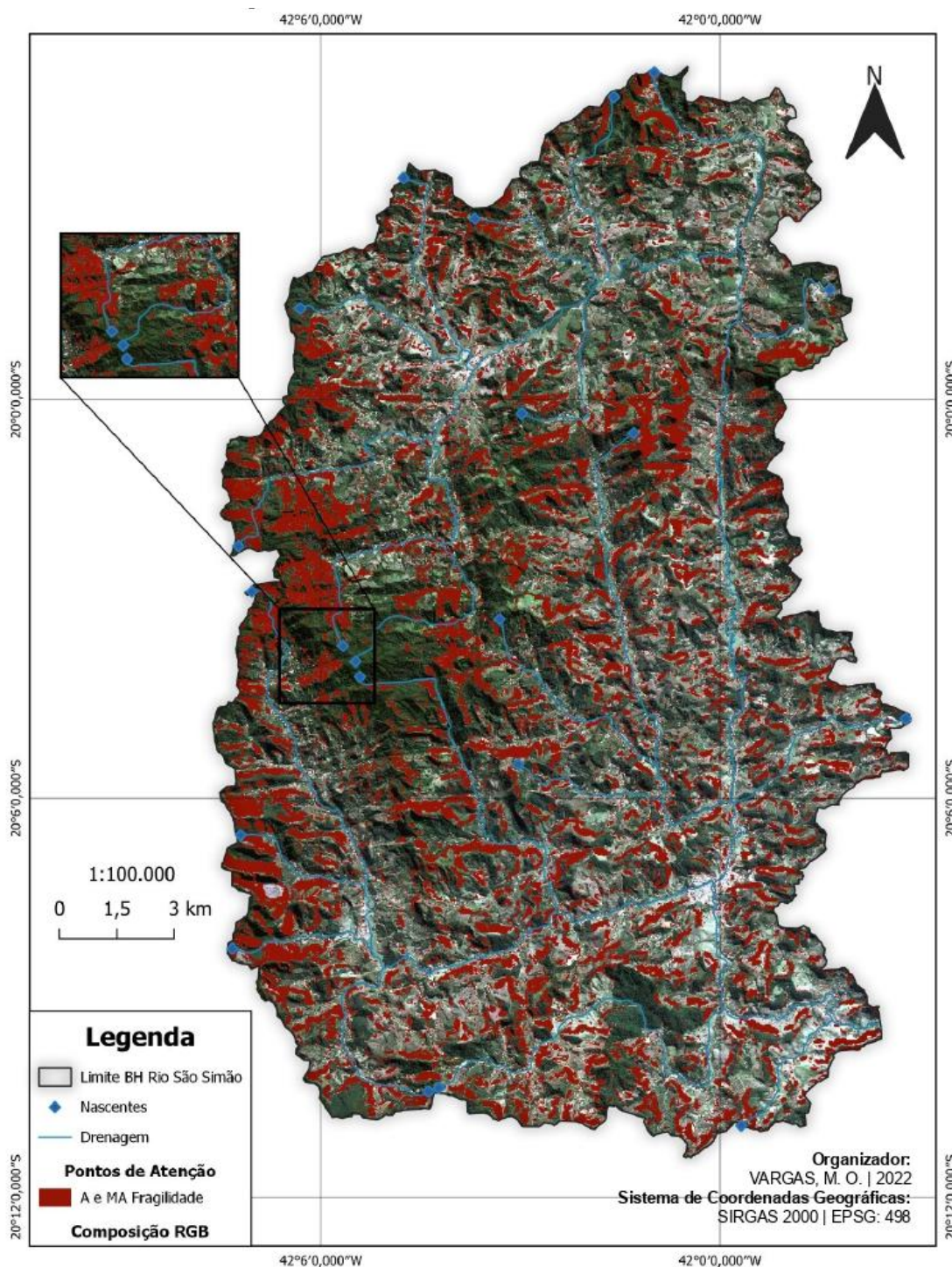
**Figura 20** – Mapa de Fragilidade Ambiental da BH do Rio São Simão



Dentro da perspectiva discutida, Piroli (2013) afirma que a unidade ideal para o trabalho com recursos naturais é a bacia hidrográfica, uma vez que esta é definida pela própria natureza a partir dos processos físicos e químicos que moldam o relevo e condicionam as relações entre os componentes bióticos e abióticos existentes na área. O elo entre estes componentes é a água que ao precipitar sobre este espaço é direcionada para regiões determinadas pelo seu ciclo, formando os córregos e rios que escorrem superficialmente ou infiltram nos depósitos subterrâneos, alimentando os aquíferos ou as nascentes que manterão os cursos de água nos períodos entre as precipitações.

Dito isso, podemos analisar que as dinâmicas naturais na área da Sub-bacia, vão de encontro com a informação supracitada, uma vez que, a água não segue sua trajetória original (Figura 21).

**Figura 21** – Mapa de Fragilidade Ambiental Sob Composição Multiespectral na BH do Rio São Simão



\*A é alta fragilidade e MA é muita alta.

O Rio São Simão encontra-se com extensas concentrações de hectares perturbadas pelas ações antrópica, em particular, localidades rurais com grandes culturas agrícolas, como café e pastagens, os quais são agravadas pelas áreas

fortemente ondulada, que auxiliam nos processos erosivos e subsequentemente de assoreamentos nos corpos hídricos, desestabilizando o meio biótico e abiótico da região.

Outro ponto observado é em relação às áreas de proteção permanente (APP) e sua ausência nas matas ciliares dos corpos hídricos e nos topo de morros, corroborando com a suscetibilidade aos processos de degradação sobre a bacia. Em conclusão, ao observar os dados obtidos, visualiza-se o quão frágil se encontra a sub-bacia, a qual apresenta grande concentração de alta vulnerabilidade em toda sua extensão. Prejudicando os processos naturais do ciclo hidrológico em particular, o equilíbrio de sua “produção de água”.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias adotadas, apontam em uma análise rápida da situação inerente a Sub-bacia Hidrográfica do Rio São Simão, afim de investigar a paisagem local utilizando as concepções sistêmicas da geografia. Buscando de certa forma, através da pesquisa, mitigar as ações antrópicas ligadas a segmentos de territorialização, que vem causando processos de resistência no meio.

Desta forma, o presente esforço, visa reconstruir através de estudos e reflexões, forma de se elaborar informações para novas práticas sociais, sendo fundamentada na estabilidade das dinâmicas naturais, partindo de uma visão coesa, sistêmica e integradora do manejo de porções hídricas, levando em conta as causalidades naturais e atividade culturais humanas, criando assim, uma hidrografia em equilíbrio.

Dito isso, conclui-se que:

- O método AHP se mostrou bastante relevante para assegurar a classificação da fragilidade ambiental, gerando informações mais confiáveis, passíveis a novas incorporações socioambientais sobre o meio.

- A sub-bacia estudada apresentou grandes índices de fragilidade, em sua área total, representada pelas classes de fragilidade Muito Alta (6,59%) e Alta (47,37%), tendo a declividade e o uso e ocupação da terra como o maior fator de condicionamento para estes índices;

- Apenas 33,36% da área da bacia foram classificadas como Muito Baixa (3,16%) e Baixa (31,20%), onde se encontram as áreas com cobertura de floresta estacional semidecidual montana.

Em suma, pudemos a partir deste trabalho, observar os impactos dos processos antrópicos e a importância de considerar as dinâmicas sociais-globais no que tange às estruturas naturais, pois com o estudo da vulnerabilidade ambiental, surge uma grande ferramenta para o planejamento e tomadas de decisões, visto que os dados gerados em ambiente GIS contribuem para os processos de redução dos impactos sobre o meio, os quais podem ser implementados juntamente com técnicas de manejos adequadas para a recuperação e perpetuação dos corpos hídricos, garantindo assim, recursos para a atual e futuras gerações.



## 7. REFERÊNCIAS

AB`SABER, A.N. Bases conceituais e papel do conhecimento na previsão de impactos. In: MÜLLER-PLANTENBERG, C. & Ab`SABER, A.N. (Orgs. ) Previsão de impactos: O estudo de impacto ambiental no Leste, Oeste e Sul. Experiências no Brasil, na Rússia e na Alemanha. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1994. Cap. 1, p. 27-49.

ALKMIM, Fernando Flecha et al. Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, v. 15, n. 1, p. 25-43. 2007.

ANA, Catálogo de Metadados, Banco de Dados Hidrográfico, 2017. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>>. Acesso em: 10 maio, 2022.

AMARAL, R.; 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**, São Paulo, n. 26, p. 59-78p. 2009.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**: Aplicações na agricultura. 2 ed. Brasília: EMBRAPA — CPAC, 1998. 434 p.

BARBOSA, Rodolfo Alves et al. Estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Manhuaçu, MG. 2019.

BRASIL. Lei 9.985 de julho de 2000; decreto 4.340, de 22 de agosto de 2002. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília: MMA/SBF, 2004. 56p.

BRASIL. Código Florestal Brasileiro. Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mai. 2012. Seção 1.

CÂMARA, G. MEDEIROS, J. S.de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2 ed. Brasília: Embrapa, 1998. cap. ?, p. 3 – 11., a

CARREGA, E. F. B. **Diagnóstico integrado de síntese da Bacia do Rio Capivara, Botucatu (SP)**. 2010. 269 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

COSTA, Carlos Wilmer et al. Fragilidade ambiental e escassez hídrica em bacias hidrográficas: Manancial do Rio das Araras–Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, n. 4, p. 946-958. 2015.

CODEMIG, Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais, Banco de Dados Geológicos. 2013. Disponível em: <<http://www.codemig.com.br/atuacao/mineracao/mapeamento-geologico/2013-mapa-geologico-de-minas-gerais>>; Acesso em: 10 maio, 2022.

DE LIMA, Geisiane Aparecida et al. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: estudo de caso Ribeirão Isidoro. In: VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande, Paraíba.

DONADIO, N. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do Córrego Rico, São Paulo, Brasil. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p.115-125, mês. 2005.

DONHA, A.G; SOUZA, L.C.de P; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 175-181., 2006.

EASTMAN, J. R. Decision suport: decision strategy analysis. In: EASTMAN, J. R. **Idrisi Selva Manual**,. Worcester: Clark Labs, ClarkUniversity, 222 p., 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, : SPI, 1999. 404p.

IENSEN, Rosa Elaine. Relação entre erosão e declividade e as conseqüências erosivas na área do Morro Cerrito em Santa Maria–RS. 2006.

IBGE, Geociência, Banco de Dados das Malhas Territoriais. Disponível em: &lt;<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.htm> I&gt;; Acesso em: 10 maio, 2022.

MIARA, M.A; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio CARÁCARÁ, Ponta Grossa/PR. *Revista RA'E GA*, Curitiba, n. 13, p. 85-98. 2007.

MEIRA-NETO, João Augusto Alves; MARTINS, Fernando Roberto. Composição florística de uma floresta estacional semidecidual montada no município de Viçosa- MG. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 26, n. 4, p. 437-446. 2002.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill International, 1980.

SILVA, A. N. R., et al. SIG: uma plataforma para introdução de técnicas emergentes no planejamento urbano, regional e transportes. São Carlos: Ed dos Autores, 2004.

TRAFICANTE, Daniela Polizeli et al. Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capivara, Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu. v. 32, n. 1, p. 88- 95. 2017.

TRAFICANTE, Daniela Polizeli. Fragilidade ambiental da APA Corumbatai-Botucatu-Tejupá (perímetro Botucatu, SP, Brasil) na bacia hidrográfica do Rio Capivara. 2016.

PIROLI, Edson Luís. **Geoprocessamento na determinação da capacidade e avaliação do uso da terra do município de Botucatu-SP**. 2002.

PIROLI, E.L. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d'água da bacia hidrográfica do rio Pardo**. Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento) - Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2013.

PIROLI, Edson Luís. **Água: por uma nova relação**. Paco Editorial, 2016.

RIBEIRO, F. L. et al. Fisiografia da micro bacia do Ribeirão Coqueiro-Jataizinho, PR, obtida por meio de técnicas de geoprocessamento. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, cidade, v. 8, n. 2, p.73-80. 2015.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. GEOUSP. São Paulo, v. 8, p. 63-74. 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. GEOUSP, vol. esp., p. 38-51, 2012.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DO DESENVOLVIMENTOS SUSTENTÁVEL DE MINAS GERAIS (SMAD-MG). O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH). 2010. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/action/Consulta.do;jsessionid=c8c61ce730d79f953ef53f7d4d2782a488de6e1707ce.e34Sb3qQc3aPb40Lb30RaNuPbx8Qe6fznA5Pp7ftolbGmkTy>>. Acesso em: 10 maio, 2022.

SILVA, Jéssica Alves da. Queimadas em cultura de cana-de-açúcar: uma análise na bacia hidrográfica do médio Parapanema via geotecnologias. 2019



SIMÕES, L.B. Integração entre um modelo de simulação hidrológica e Sistema de Informação Geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias. Botucatu, 2001, 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista

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

TOPODATA, Aquisição topográfica dos dados SRTM, Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil, DSR/INP, 2008. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 10 maio, 2022.

UFV, Departamento de Solo, Centro de Ciências Agrárias. Mapa Pedológico de Minas Gerais, 2010. Disponível em:<[https://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](https://www.dps.ufv.br/?page_id=742)>. Acesso em: 10 Maio, 2022.

**Fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do Rio São Simão: Uma análise das ações antropogênicas sobre os municípios de Manhuaçu e Simonésia - MG**