



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia  
Ambiental  
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

---



**Juliano Marcos da Rocha**

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PIRACICABA – MG  
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Ouro Preto

2021

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA RIO PIRACICABA – MG  
UTILIZANDO FERRAMENTAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**Juliano Marcos da Rocha**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Orientadora: Prof. D.Sc. Livia Cristina Pinto Dias

Ouro Preto

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R672c Rocha, Juliano Marcos da.  
Caracterização da bacia hidrográfica Rio Piracicaba - MG utilizando  
ferramentas de geoprocessamento. [manuscrito] / Juliano Marcos da  
Rocha. - 2021.  
73 f.: il.: color., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.  
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Impacto ambiental. 2. Geoprocessamento ambiental. 3. Bacias  
hidrográficas. 4. Sistemas de informação geográfica. I. Dias, Lívia Cristina  
Pinto . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504.61:528.852

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Juliano Marcos da Rocha**

### **Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba - MG utilizando ferramentas de geoprocessamento**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental

Aprovada em 30 de agosto de 2021

#### Membros da banca

Profa. Marina de Medeiros Machado - Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto  
Profa. Maria Luíza Teófilo Gandini - Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Ouro Preto  
Me. Raphael Pousa dos Santos - Programa de Pós-graduação em Meteorologia Aplicada - Universidade Federal de Viçosa

Livia Cristina Pinto Dias, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 29/09/2021



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 29/09/2021, às 13:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0226623** e o código CRC **C33768E4**.

“Águas são muitas, infindas. E em tal maneira é graciosa que, querendo-a aproveitar, dar-se-á nela tudo, por bem das águas que tem”

*Pero vaz de Caminha*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que alcance mais uma vitória nessa jornada da vida.

Aos meus pais, irmãos e familiares que me apoiam sempre.

À professora Lívia Cristina Pinto Dias, orientadora deste trabalho, pela disponibilidade, pelos conhecimentos transmitidos, dedicação e por me orientar desde a iniciação científica, por acreditar em mim e me mostrar um novo horizonte a ser explorado dentro da Engenharia Ambiental.

À Fabianne, por sempre ter me apoiado em tudo nessa caminhada.

Aos colegas e amigos da universidade, a galera do grupo “5 série forever” pelas alegrias e zoeiras em diversos momentos e a Ana Gabriela que me ajudou muito durante a IC e TCC.

Agradeço ainda a todos que não estão aqui nominalmente referidos, mas que me apoiaram e contribuíram de alguma forma com este trabalho, na minha formação pessoal e profissional: muito obrigado pela colaboração.

À Fundação Gorceix, pelo apoio financeiro.

Também a UFOP e a gloriosa Escola de Minas.

## RESUMO

O crescimento acelerado das minerações e siderurgias em Minas Gerais fez com que a ocupação do solo sofresse forte impactos ambientais. Este estudo tem como objetivo apresentar a caracterização morfométrica, avaliar o uso e ocupação do solo, além de determinar a fragilidade ambiental da Bacia Rio Piracicaba-MG. Para isso, foram utilizadas de ferramentas do SIG (Sistemas de Informações Geográficas) associadas a dados de relevo, clima, geológicos e hidrológicos, com finalidade de unir essas informações. A fragilidade ambiental foi determinada utilizando o consagrado método empírico de fragilidade ambiental proposto por Ross (1994) e também por meio do método de análise hierárquica (AHP – *Analytic Hierarchy Process*). Observou-se que entre os anos de 1985 e 2019 houve grande transformação no uso e ocupação do solo, com crescimento de área urbana, mineração e agropecuária, enquanto a vegetação sofreu redução em sua área ocupada. Associação de dados de morfometrias da bacia e ferramentas SIG resultou-se em mapas que indicaram áreas com fragilidades ambientais de potencial baixa a muito alta, com a interpretação desses dados foi possível contribuir para um melhor zoneamento territorial da área em estudo.

**PALAVRAS-CHAVES:** Bacia Hidrográfica, Fragilidade Ambiental, Análise Multicritério, Rio Piracicaba/MG.

## ABSTRACT

The accelerated growth of mining and steelworks in Minas Gerais caused land use to suffer strong environmental impacts. This study aims to present the morphometric characterization, evaluate the use and occupation of land, and determine the environmental fragility of the Rio Piracicaba-MG Basin. For this, GIS (Geographic Information Systems) tools were used, associated with relief, climate, geological and hydrological data, in order to unite this information. Environmental fragility was determined using the renowned empirical method of environmental fragility proposed by Ross (1994) and also through the hierarchical analysis method (AHP – Analytic Hierarchy Process). It was observed that between 1985 and 2019 there was a great transformation in the use and occupation of the land, with the growth of urban area, mining and agriculture, while the vegetation suffered a reduction in its occupied area, regions with high elevation, associated with the morphometry of the basin, resulted in maps that indicated areas with environmental weaknesses from low to very high, with these data it was possible to contribute to a better territorial zoning.

**Key-words:** Watershed, Environmental Fragility, Multicriteria Analysis, Rio Piracicaba/MG

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Abrangência da Bacia Hidrográfica Rio Piracicaba no Estado de Minas Gerais .....	8
Figura 2 - Classes de Rochas Presente na Bacia do Rio Piracicaba.....	32
Figura 3 - Classes de Solos Presente na Bacia do Rio Piracicaba.....	33
Figura 4 – Mapa de Altitude e Classes de Declividade.....	34
Figura 5 – Classificação do Clima Bacia Rio Piracicaba.....	35
Figura 6 - Uso e Ocupação do Solo – Mapbiomas.....	36
Figura 7 – Representação da Mudança do Uso Ocupação do Solo 1985 a 2019.....	37
Figura 8 – Mapa de Fragilidade Ambiental.....	38
Figura 9 - Mapa de Fragilidade Ambiental após Ponderação .....	40

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Reclassificação Declividade para uso da Fragilidade. ....	21
Tabela 2 – Reclassificação Mapbiomas .....	22
Tabela 3 – Reclassificação de dados de Uso e Ocupação do solo de acordo com sua Fragilidade.....	23
Tabela 4 – Dados de levantamentos de critérios utilizados em cada artigo.....	25
Tabela 5 – Correlação dos Tópicos Simplificados.....	27
Tabela 6 - Homogeneização dos critérios .....	28
Tabela 7– Matriz de comparação par a par para a bacia do rio do Peixe.....	29
Tabela 8 - Características morfométricas da bacia do Rio Piracicaba .....	30
Tabela 9 - Exemplo na mudança do Uso e Ocupação do solo .....	37
Tabela 10 – Área (em hectares) por tipo de fragilidade anos de 1985 e 2019.....	39

## **LISTA DE SIGLAS**

MDE – Modelo Digital de Elevação

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UPRGH - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

UPGRH DO2 Piracicaba - Unidade de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba/MG.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>3</b>
2.1	Objetivo Geral .....	3
2.1.1	Objetivos Específicos .....	3
<b>3</b>	<b>Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>4</b>
3.1	Política Nacional de Recursos Hídricos .....	4
3.2	Bacia Hidrográfica Rio Piracicaba .....	7
3.3	Fragilidade Ambiental .....	10
3.4	Análise Multicritério .....	13
3.4.1	Etapas da Análise Multicritério .....	13
3.4.2	Combinação Linear Ponderada – WLC .....	15
3.4.3	Média Ponderada Ordenada - OWA.....	15
3.5	Método Delphi.....	15
<b>4</b>	<b>Material e métodos.....</b>	<b>18</b>
4.1	Área de estudo .....	18
4.2	Dados Gerais da Bacia do Rio Piracicaba .....	18
4.2.1	Coefficiente de compacidade.....	19
4.2.2	Fator de forma.....	19
4.2.3	Densidade de drenagem.....	19
4.2.4	Comprimento do rio principal .....	20
4.2.5	Amplitude altimétrica da bacia.....	20
4.2.6	Índice de circularidade .....	20
4.3	Geologia e solos .....	21

4.4	Altitude, declividade e clima .....	21
4.5	Uso e ocupação do Solos .....	22
4.6	Quantificação na alteração do uso e ocupação do Solo.....	24
4.7	Fragilidade Ambiental .....	25
<b>5</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>30</b>
5.1	Dados Morfometricos .....	30
5.2	Geologia e Solos .....	31
5.3	Altitude, Declividade e Clima .....	33
5.4	Uso e Ocupação do Solo.....	35
5.5	Quantificação mudança do uso e ocupação do solo .....	36
5.6	Fragilidade Ambiental .....	38
<b>6</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>Apêndice a .....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

É incontestável que a água é um recurso essencial à vida, estando presente na constituição dos seres vivos e ocupando mais da metade de todo o planeta Terra. Por ser essencial, é de suma importância compreender sobre a sua disponibilidade e as maneiras de preservação.

Quanto à distribuição, estima-se que o volume de água total do planeta seja de aproximadamente 1,4 bilhões de km<sup>3</sup>, sendo que aproximadamente 97% desse total está nos oceanos (SPERLING, 2006). Estima-se que há aproximadamente 0,035 bilhões de km<sup>3</sup> de água doce no planeta e que as águas interiores superficiais somam um volume estimado entre 105.000 e 189.990 km<sup>3</sup> (SPERLING, 2006). Apesar dos números aparentemente grandes, os recursos hídricos estão em constante pressão de diversos fatores, dentre eles, a crescente população mundial e o crescimento da demanda por recursos naturais e energia. A pressão sobre os recursos hídricos ocorre já que a crescente demanda por recursos naturais e energéticos impulsionam alterações nos usos do solo, o que interfere diretamente na quantidade e qualidade da água de uma bacia hidrográfica.

A vegetação tem papel fundamental na dinâmica e no particionamento da água (TUCCI; CLARKE, 1997). A remoção da vegetação natural e o estabelecimento de usos antrópicos, em geral, levam a uma redução da infiltração de água no solo e aumento no escoamento superficial. Tucci e Clarke (1997) explicam que a literatura confirma que a redução da cobertura vegetal aumenta a vazão média, sendo que as cheias de pequeno médio tempo de retorno tendem a aumentar com o desmatamento. De forma generalizada, essa mudança no particionamento da água leva a aumento das vazões máximas, resultando em inundações e enchentes nos períodos chuvosos, ao mesmo tempo que pode provocar redução das vazões mínimas, resultando em escassez de água no período seco.

O aumento no escoamento superficial também provoca o carreamento de sedimentos, poluentes e patógenos para os rios, alterando a qualidade da água. De acordo com Minella, Merten e Magnago (2011), o conhecimento sobre a dinâmica do processo erosivo é de fundamental importância para o gerenciamento dos recursos hídricos já que a produção de sedimentos é utilizada como indicador dos impactos das atividades humanas nos corpos d'água.

Pela importância na quantidade e qualidade da água, o planejamento regional do uso do solo ocupa papel central nas discussões para a preservação desse recurso natural. Dentre as leis ambientais criadas a fim de preservar dos Recursos Hídricos está a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997), que em seu Art. 3 diz que constituem diretrizes gerais de ação dessa política “I – a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade” e “V – a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo”. No Art. 7 fica esclarecido que “I – diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos” deve estar no conteúdo mínimo dos Planos de Recursos Hídricos, ficando evidenciado que o conhecimento sobre a bacia hidrográfica, sua dinâmica e condições dos recursos hídricos são a base para um planejamento estratégico e sustentável de longo prazo.

No contexto do planejamento estratégico, Ross (1994) propôs uma metodologia de análise empírica da fragilidade de ambientes naturais e antropizados baseando-se no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). De maneira geral, os ambientes naturais tendem a se manter em equilíbrio dinâmico, porém esse equilíbrio pode ser alterado por intervenções humanas. Assim, com essa metodologia, é possível avaliar o nível de degradação de uma região à ação humana.

O estudo da fragilidade ambiental deve sempre ser precedido por uma organização de dados sobre as características locais, como solo, potencial de erosão das chuvas, declividade e cobertura vegetal. Nessa perspectiva, ter o conhecimento técnico detalhado de uma determinada área é sinônimo de antecipar a eventos de riscos naturais baseando na fragilidade desse local e, até mesmo, fazer uso sustentável do meio ambiente. A partir da disponibilidade dos dados é possível criar ferramentas com finalidade de um bom gerenciamento dos recursos hídricos, ordenamento do uso e ocupação do solo e o uso sustentável de meio ambiente. Além disso, a integração de dados com uso do geoprocessamento se torna essencial nos dias atuais para gestão de políticas públicas. O uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para levantamento de dados, aliado a estudos de modelos hidrológicos, torna possível a análise de suscetibilidades e fragilidades de uma determinada bacia hidrográfica.

Uma bacia hidrográfica no sudeste brasileiro de grande importância é a bacia do Rio Doce. Essa bacia possui ~87.000 km<sup>2</sup> de área, abrangendo total ou parcialmente 225 municípios nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Abrigando aproximadamente 3,5 milhões de pessoas, essa bacia tem importância histórica em relação a mineração e siderurgia, mas também são importantes as atividades de agropecuária (como as culturas de café, cana-de-açúcar e criação de gado) e os serviços de apoio à área industrial (CBH-Doce, 2010).

Dentre as sub-bacias do rio Doce, a bacia do rio Piracicaba destaca-se pela diversidade de atividades econômicas. De acordo com dados do Encarte Especial – Bacia do Rio Doce elaborado pela Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos – (SPR, 2016):

*“(...) as lavras de ferro e minério de ferro se concentram, de modo geral, nas cabeceiras do rio Piracicaba, um dos principais afluentes do Doce e, em parte das cabeceiras do rio do Carmo”.*

Essa sub-bacia abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina, além de empresas que cultivam eucalipto para fornecer matéria-prima para indústrias de celulose (CBH-Doce, 2010). Pela grande influência antrópica no meio ambiente, a bacia do rio Piracicaba foi escolhida como alvo desse trabalho, que visa contribuir com informações sobre essa bacia, já que uma análise territorial e ambiental é a chave para que o uso do solo seja ocupado e aproveitado da melhor maneira.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Esse trabalho tem como objetivo caracterizar a bacia hidrográfica do Rio Piracicaba e com o uso de ferramentas de geoprocessamento, contribuir para o planejamento ambiental, a sua recuperação, conservação e preservação.

#### **2.1.1 Objetivos Específicos**

- Caracterizar a bacia do rio Piracicaba quanto aos parâmetros físico-biótico e as características morfométricas, de relevo e drenagem;

- Avaliar o histórico de uso e ocupação do solo, caracterizando principalmente o crescimento da urbanização, mineração e agropecuária e a perda de vegetação entre 1985 e 2019; e,
- Determinar a fragilidade da bacia do rio Piracicaba utilizando a metodologia proposta por Ross (1994) e por análise multicritério e compará-las.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Política Nacional de Recursos Hídricos**

A água é um patrimônio natural extremamente importante para o meio ambiente, sendo de grande importância e vital para manutenção da vida. Wolkmer et al. (2013) citam que a água é mais do que um recurso imprescindível à produção de bens indispensáveis ao desenvolvimento econômico e social, é um elemento vital para a conservação dos ecossistemas e da vida de todos os seres em nosso planeta.

No entanto, a descontrolada ocupação e uso do solo de uma bacia hidrográfica gera desequilíbrios ambientais, tais desequilíbrios são ainda mais visíveis quando se verifica a pressão sobre os recursos hídricos, já que o aumento da população urbana e da industrialização atingem o meio biótico de forma intensa e preocupante, principalmente nas áreas de nascentes (periferia urbana), onde os resíduos humanos podem causar contaminação dos corpos hídricos. (RIBEIRO, 2006)

Guerreiro (1996) afirma que os fatores que interferem na quantidade e, principalmente, na qualidade das águas ocorrem em função dos meios físico e antrópico. Espíndola et al. (2000) afirmam que o uso da bacia hidrográfica como unidade de estudo originou-se da percepção de que os ecossistemas terrestres sofrem alterações de diferentes tipos em função dos usos do solo e das atividades antrópicas nele desenvolvidas. Qualquer tipo de uso de solo na bacia interfere no ciclo hidrológico, não importando o grau em que esse tipo de uso é utilizado (CRUZ, 2003).

Costa (2010) cita que o principal instrumento para gestão do território de uma bacia hidrográfica é o zoneamento; que também é integrante do processo de gestão dos recursos hídricos, sendo que para sua implementação é necessário que se realize uma série de estudos e

levantamentos como subsídio para tomada de decisão para o gerenciamento da água e seus usos múltiplos.

Cardoso (2003) cita que o acesso à água de qualidade será a questão crucial a ser resolvida nas próximas décadas no sentido de assegurar a sobrevivência humana. Com essa preocupação sobre o uso adequado do solo, consumo e qualidade da água em uma determinada bacia hidrográfica, tornou-se necessário criação de uma gestão dos recursos hídricos, surgindo assim a criação da Lei Federal nº 9.433/97, Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Assim, a gestão dos recursos hídricos passou a se apoiar no desenvolvimento de uma administração da água e do uso do solo, tendo os seguintes tópicos como fundamentos da Lei 9433/97:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Logo, o gerenciamento desses recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver conflitos entre disponibilidade hídrica, demanda pelo seu uso e a ocupação territorial, visando sua otimização em benefício da sociedade. Neste contexto, uma política para gestão dos recursos hídricos deve estar fundamentada em aspectos técnicos, normas jurídicas, planos e programas, envolvendo decisões compartilhadas entre governo e sociedade, definindo princípios e objetivos (LUTAF et al., 2019)

Mota (1995) explica que o gerenciamento dos recursos hídricos é um conjunto de ações que garante às populações e às atividades econômicas uma utilização otimizada da água, tanto em termos qualitativos como quantitativos.

Pio (2000) expressa que o uso sustentável da água, só pode ser alcançado por meio de um gerenciamento integrado, participativo e descentralizado, cujo objetivo seja a utilização racional, maximizando seu múltiplo uso, sendo um fator condicionante para o desenvolvimento das nações.

Ferreira et al. (2006) citam que com a lei PNRH 9433/97 foi criado um Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos – SNGRH. Cravando-se um marco na mudança do ambiente institucional regulador do uso da água, implementando-se a gestão descentralizada e participativa deste bem social, com a atuação do poder público, usuários e comunidade como um todo, ocasionando a criação de um arcabouço de instituições atuantes neste processo, como os Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas e os Comitês de Bacia, optando-se pela Bacia Hidrográfica como unidade básica de planejamento e operação do sistema, prevendo ainda, instrumentos específicos, exclusivamente delineados para o gerenciamento das águas e do uso do solo.

Dentre esses instrumentos e programas de gestão de uma bacia hidrográfica, destaca-se o Plano Diretor de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica (PDRH), que deve ser elaborado de forma periódica. Ele é utilizado para acompanhar e controlar a evolução dos processos que interferem na questão dos recursos hídricos e orienta a execução de ações prioritárias na bacia. Além de conter diretrizes gerais no âmbito regional capazes de orientar os planos diretores dos municípios e as metas para se atingir níveis progressivos de recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos (LORENZI, 2003).

Os Planos de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas possuem como finalidade também o diagnóstico ambiental das bacias, assim, a realização de diagnóstico ambiental possibilita a observação do meio como um todo, considerando sua composição, estrutura, processo de utilização e a ocupação do espaço (SANTOS, 2004).

Franco (2011) relata que as bacias hidrográficas fazem parte de um complexo sistema ambiental, sendo necessário um planejamento criterioso para equacionar as relações de causa-efeito geradas pelo seu uso, já que é dentro de sua área que se manifestam os conflitos

decorrentes das interações dos aspectos naturais e humanos. Deste modo, as bacias conferem um excelente campo para estudos de diagnóstico ambiental, uma vez que seu estado de equilíbrio pode ser facilmente modificado, resultando em consequências que podem ser irreversíveis, dependendo do grau do impacto e da susceptibilidade da área.

Sabe-se que o diagnóstico ambiental reflete na complexidade no planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, para tanto, é de fundamental importância o estabelecimento de políticas públicas que contemplem uma visão sistêmica destes problemas, direcionando as ações políticas, econômicas, sociais e ambientais para uma visão de desenvolvimento sustentável (CASTRO et al, 2014).

Segundo Cruz (2003), as questões que envolvem a gestão dos recursos hídricos, consideram que o diagnóstico ambiental seja o primeiro passo para conhecer a realidade dos impactos antrópicos. Este diagnóstico é a base para gerar o prognóstico ambiental e promover a integração das análises ambientais, políticas e econômicas que compõem um plano de gerenciamento em uma bacia hidrográfica.

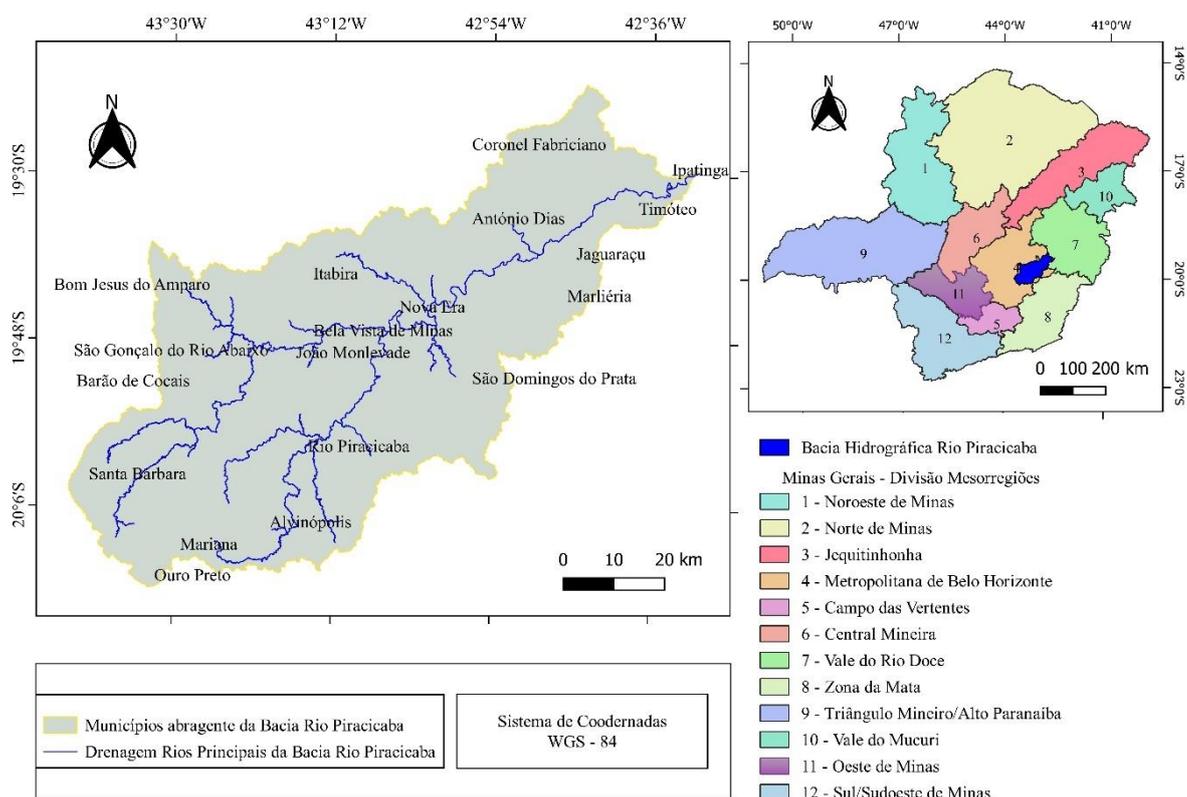
### **3.2 Bacia Hidrográfica Rio Piracicaba**

Segundo Cruz (2009), o estado de Minas Gerais possui 17 bacias hidrográficas que se subdividem em 36 UPGRH - Unidades de Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essas divisões foram feitas levando em consideração os diferentes cenários econômicos, socioculturais, políticos e físicos do espaço territorial de Minas Gerais. Para o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2006), estas subdivisões visam à orientação, o planejamento e a estruturação de comitês de bacias, bem como facilita a implantação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

Situada no estado de Minas Gerais, mais precisamente na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e vale do Rio Doce, a bacia hidrográfica do Rio Piracicaba tem o rio Piracicaba como um dos principais cursos d'água da bacia, sua nascente localiza-se no município de Ouro Preto, a cerca 1.680 m de altitude (Figura 1). Esse rio percorre 241 km até encontrar o rio Doce, na divisa dos municípios de Ipatinga e Timóteo. Ao longo deste percurso, passa por cidades como Rio Piracicaba, Nova Era, Antônio Dias e pela Região Metropolitana do Vale do Aço,

formada por Coronel Fabriciano e Ipatinga, na margem esquerda e Timóteo, na margem direita. (CONSORCIO ECOPLAN-LUME, 2010).

**Figura 1 - Abrangência da Bacia Hidrográfica Rio Piracicaba no Estado de Minas Gerais**



Fonte: Autor, 2021.

Em termos populacionais, destacam-se os municípios de Ipatinga, com 238.397 habitantes, seguido de Coronel Fabriciano, com 100.805 habitantes, Itabira, com 99.141 habitantes, Timóteo, com 76.058 habitantes e João Monlevade, com 71.658 habitantes. Destes municípios, três - Coronel Fabriciano, Ipatinga e Timóteo - junto com Santana do Paraíso, formam a “Região Metropolitana do Vale do Aço”, de acordo com a denominação criada pela Lei Complementar número 51/98 (ECOPLAN, 2010).

A bacia hidrográfica do Rio Piracicaba é composta pelas sub-bacias do rio do Peixe e do rio Santa Bárbara, pela margem esquerda, e pela sub-bacia do rio da Prata, pela margem direita. O rio Santa Bárbara tem como afluentes principais os rios Conceição e Una. As cidades de Barão de Cocais, Santa Bárbara e São Gonçalo do Rio Abaixo se localizam às margens do rio Santa Bárbara, e São Domingos do Prata é cortada pelo rio da Prata (PARH PIRACICABA, 2010)

De acordo com o IGAM (2010b), a bacia do Rio Piracicaba encontra-se em uma situação excelente para atendimento das demandas diante da oferta de água possibilitada pela vazão média dos rios. Essa análise foi realizada com base no índice adotado pela European Environmental Agency e pela Organização das Nações Unidas (ONU), criado para avaliar a relação entre a disponibilidade e a demanda e é definido a partir do quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (Qmld). Se o índice for menor que 5% a situação é considerada excelente, se estiver entre 5% e 10% é considerada confortável, se estiver entre 10% e 20% é considerada preocupante, entre 20% e 40%, crítica, e maior que 40%, muito crítica.

A climatologia na bacia Rio Piracicaba apresenta comportamento pluviométrico que evidencia ciclo anual marcada por estação chuvosa, durante os meses de novembro a março, enquanto nos meses de maio a setembro, ocorre estação seca. Já nos meses de abril e outubro são de transição apresentando valores compatíveis com ambas às estações, oscilando entre períodos mais secos e mais chuvosos (AMORIM, 2005).

Conforme dados do ECOPLAN (2010), foi estudada a susceptibilidade à erosão na bacia do rio Doce. Este estudo concluiu que a maior parte da bacia se encontra na classe de susceptibilidade erosiva forte – 58% da área, ocupando principalmente a depressão do rio Doce e várias sub-bacias- e apenas 7% na classe de susceptibilidade muito forte. As bacias mais críticas quanto à susceptibilidade à erosão são a bacia do Rio Piracicaba, mais precisamente nas cabeceiras do afluente rio Santa Bárbara, e a do Suaçuí Grande. Esta susceptibilidade está associada a diversos fatores: estiagens prolongadas, chuvas torrenciais, solos susceptíveis ou extensos depósitos superficiais friáveis que ocorrem em terraços fluviais e nas baixas vertentes (PEREIRA, 2012).

Queiroz (2000) cita que antes a vegetação predominante na bacia Rio Piracicaba era mata atlântica ou floresta pluvial tropical, hoje, substituída por pastagens e florestas plantadas de eucalipto e pinus. Resta, em capões de formação secundária, algumas ocorrências de mata atlântica nos altos de morros, encostas íngremes e em trechos descontínuos ao longo dos rios.

Existe uma alta presença relativa de áreas de reflorestamento com espécies como eucalipto e pinus. Pode-se associar este tipo de uso à demanda das indústrias instaladas na região, que utilizam o carvão e a celulose em seus processos produtivos (ECOPLAN, 2010)

Por ser uma região rica em recursos minerais a bacia do Rio Piracicaba é impactada pela grande presença da mineração e da siderurgia, lá estão presentes grandes reservas do mundo em minério de (ferro, manganês, bauxita, ouro, esmerada, alumínio, quartzito entre outros), tornando a região um grande polo comercial e fonte de economia para o estado de Minas Gerais (CONSÓRCIO ECOPLAN–LUME, 2010).

### **3.3 Fragilidade Ambiental**

As alterações no meio ambiente, como a cobertura vegetal, o solo e o relevo e ao clima estão muitas das vezes relacionada diretamente às ações antrópicas. Essas interferências resultam em um desequilíbrio que pode variar de região para região, a fragilidade desses ambientes é reflexo de um uso inconsciente da ocupação do solo.

Ratcliffe (1971) descreve fragilidade ambiental como uma medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais (especialmente mudanças de gestão), combinada com a exposição à ameaça que poderia perturbar o equilíbrio existente. Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto à estabilidade, sendo estabilidade a velocidade com que um sistema retorna ao equilíbrio após uma perturbação. Os autores ainda destacam que a fragilidade pode ser natural ou induzida pelo ser humano e que a natural pode ser devida a fatores internos ou externos.

Os primeiros estudos de fragilidade ambiental relacionando o planejamento territorial no Brasil se deram no início na década de 1990 por Jurandy Ross. Segundo Ross (1994), os estudos integrados de um território pressupõem de um entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural baseado em suas características físicas-bióticas e

socioeconômica. Ross (1994) cita que a aplicação de metodologias relacionando esses elementos de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico de fragilidade dos ambientes naturais.

Ross (1994) intitula fragilidade ambiental em seu estudo como Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados e afirma que a fragilidade dos ambientes naturais, dada uma intervenção antrópica, depende de suas características genéticas. A princípio, os ambientes naturais se encontravam em equilíbrio dinâmico até o início progressivo das intervenções humanas na exploração de recursos naturais.

Segundo Franco (2012), o estudo integrado do meio físico, aliado à sua característica de uso e ocupação, permite obter um diagnóstico de diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes, tendo como produto sintetizador o mapa de fragilidade ambiental, que possibilita avaliar as suas potencialidades de forma integrada.

O estudo da fragilidade da paisagem pode auxiliar na identificação de áreas adequadas para o desenvolvimento de atividades antrópicas e para o conhecimento de regiões com prioridade para a conservação. Sendo assim, aplicar metodologias de análise de fragilidade é essencial para a tomada de decisões, principalmente aquelas relacionadas ao planejamento da expansão urbana (COSTA et al. 2015; GUERREIRO et al. 2018). Segundo Kawakubo (2005), o mapa de fragilidade é uma das principais ferramentas utilizadas no planejamento territorial ambiental, subsidiando/facilitando o processo de tomada de decisão.

As metodologias utilizadas para se obter a fragilidade são, geralmente, por associação de dígitos arábicos, onde cada um dos números do conjunto numérico representa um peso variando de 1 a 5, do mais fraco ao mais forte (Ross, 1994). Entre os parâmetros analisados os principais para se obter a fragilidade ambiental são o uso e ocupação do solo, a declividade, o clima, e o tipo do solo. Observa-se na literatura que a quantidade de parâmetros a serem analisados para definição da fragilidade variaram entre os artigos de, no mínimo, três (por exemplo, uso ocupação do solo, declividade e o clima), enquanto os alguns outros artigos usaram no máximo ou mais que cinco parâmetros associados (declividade, clima, uso ocupação do solo, tipo do solo e a precipitação).

Cereda Junior (2011) cita alguns trabalhos, como de Donha et al. (2006), Calijuri et al. (2007), Fierz (2008) e Nascimento (2009), que avançam na discussão e utilização de novas

técnicas para determinação da fragilidade ambiental, resultando em operacionalizações ou discussões complementares, tendo um viés mais seguro sobre a fragilidade ambiental.

Para os autores Gimenes e Augusto Filho (2013), há uma confusão geral dos termos relacionados à fragilidade ambiental, tanto internacionalmente quanto nacionalmente. Na maioria dos casos em que se procura diferenciar esses termos, os autores acabam sendo incoerentes com as definições. Um exemplo é denominar de fragilidade ambiental algo que considera apenas os aspectos físicos do meio ambiente. Na perspectiva observada por Gimenes e Augusto Filho (2013), nas primeiras definições do termo fragilidade encontradas na literatura científica internacional verifica-se um consenso que a fragilidade de um ambiente se traduz pela desestabilização de um equilíbrio dinâmico preexistente. As divergências entre as definições se encontram nos fatores que causam este desequilíbrio.

A análise da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas está inserida em um contexto muito peculiar, porque se trata de uma região com limites definidos e que apresenta uma dinâmica intensa de uso e ocupação da terra, sendo que a água superficial é o principal indicador de qualidade do sistema (SANTOS; VITTE, 1998).

Segundo Gonçalves (2011), a bacia hidrográfica, considerada como uma unidade de manejo ambiental, apresenta características intrínsecas, como relevo, tipo de solo e geologia que, em conjunto, convertem se em um atributo denominado vulnerabilidade natural. Inserindo-se nessa unidade a ação humana, ou seja, introduzindo-se fatores externos de ocorrência não natural, é possível avaliar o nível de degradação que produzem. Surge assim a possibilidade de aplicação de estudos de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, constituindo-se numa importante ferramenta para o planejamento ambiental estratégico.

Sendo assim, o conhecimento de uma área natural é essencial para definir o uso de seus recursos, o levantamento dos componentes do estrato geográfico (solo, relevo, clima, rocha e vegetação) torna-se possível estabelecer um sistema integrado de informações para que o profissional seja capaz de gerir e diagnosticar o uso do meio ambiente, além disso servir como ferramenta de gestão para o poder público para tomada de decisões.

### 3.4 Análise Multicritério

Segundo Gomes et al. (2009), tomar decisões em problemas complexos constitui tarefa difícil, uma vez que se deve atender múltiplos objetivos e critérios e, além disso, nem sempre as consequências dessas decisões podem ser previstas. Para atender a essa demanda tem sido utilizada a análise multicritério, que é um instrumento de apoio ao processo de tomada de decisão e uma opção para que critérios diversos e, por vezes, conflitantes, sejam integrados (VILAS BOAS, 2004).

Segundo Almeida e Costa (2005), a análise multicritério pode ser definida como um conjunto de técnicas aplicadas para auxiliar ou apoiar o processo de tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas. A análise multicritério tem sido amplamente utilizada com objetivo de descomplicar determinados processos de tomadas de decisão (FRANCO et al., 2013).

A utilização de métodos de análise multicritério é uma temática amplamente encontrada na literatura especializada. Contudo, para zoneamentos ambientais, ainda é um tema a ser explorado, não só de maneira quantitativa, mas qualitativa, uma vez que diversos trabalhos afirmam trabalhar com análise multicritério, mas sua operacionalização continua se dando por meio de simples procedimentos de sobreposição.

A modelagem de dados geográficos cada vez mais se transforma em um recurso de suma importância para o planejamento territorial em múltiplas escalas espaciais e temporais, possibilitando o manuseio, análise, edição, interpolação e confecção de produtos cartográficos, que ponderam as singularidades teóricas e metodológicas do fenômeno estudado (MELO et al., 2018).

#### 3.4.1 Etapas da Análise Multicritério

Segundo Soares (2003), de maneira geral, uma análise multicritério é executada em etapas que podem ser resumidas do seguinte modo:

- 1) **Definição do problema:** de modo simplificado, definir o problema é chegar a uma situação que necessita de uma decisão.

- 2) **Estabelecimento de critérios:** definição de critérios que permitam ponderar os efeitos que a decisão pode acarretar ao meio ambiente. Essa etapa envolve os objetivos, os recursos financeiros disponíveis para gerar um banco de dados coerentes ao objetivo, conhecimentos específicos e tempo disponíveis.
- 3) **Determinação de alternativas para o problema:** tanto os gestores quanto os especialistas envolvidos devem gerar um montante de alternativas (possíveis soluções ou caminhos a seguir) para que se possa atender ao problema encontrado.
- 4) **Avaliação dos critérios gerados:** nessa etapa busca-se relacionar os critérios gerados na etapa anterior e as alternativas propostas (analisando os prós e contras, para chegar a resultados satisfatórios), através de matrizes de avaliação ou tabelas que mostram o desempenho dos critérios quando relacionados às alternativas sugeridas ao processo decisório.
- 5) **Ponderação/discriminação dos critérios:** os pesos são uma forma de exprimir quantitativamente o quão importante são cada um dos critérios se comparados aos demais. Tal ponderação pode ser executada por diferentes métodos, de acordo com a finalidade e disposição de dados, tais como: distribuição de pesos, hierarquização de critérios, notação, regressão múltipla, e taxa de substituição.
- 6) **Associação dos critérios e avaliação das alternativas:** basicamente, é executada uma associação entre o resultado das avaliações dos critérios para cada uma das alternativas. Em seguida, as alternativas são comparadas umas às outras através de um julgamento relativo de seus valores.

Segundo Salomão (2020), para definição dos pesos da análise multicritério (AMC), que irá orientar a formulação da análise final, uma das principais técnicas utilizadas é o Processo Analítico Hierárquico (AHP), no qual os pesos são atribuídos de acordo com a sua importância relativa. De acordo com Souza et al. (2013), essa técnica se baseia na identificação de um problema de decisão e na sua decomposição em “subproblemas”, onde cada um pode ser analisado de forma independente (SILVA JÚNIOR, 2015).

Para a integração dos fatores com base na abordagem de análise de multicritério, alguns métodos vêm sendo utilizados, como a Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC) e a Média Ponderada Ordenada (*Ordered Weighted Averaging* – OWA).

### **3.4.2 Combinação Linear Ponderada – WLC**

O WLC (Combinação Linear Ponderada) é um dos procedimentos mais comuns para a agregação de dados, através do qual os fatores homogeneizados são multiplicados pelos seus respectivos pesos, em seguida são somados e o resultado é dividido pelo número de fatores. Essa técnica é muito conservadora, ou seja, fica situada entre o risco extremo e a compensação extrema (CALIJURI et al., 2002).

### **3.4.3 Média Ponderada Ordenada - OWA**

A Média Ponderada Ordenada - OWA pondera os fatores de acordo com sua importância relativa e mantém as restrições como máscaras booleanas que multiplicam o resultado da integração dos fatores (ZAMBON et al. 2005).

Segundo Calijuri et al. (2002), esse método de agregação permite ao usuário controlar a relação risco e compensação durante a análise, de forma a conhecer o nível do risco assumido na decisão e o grau em que a ponderação dos fatores terá influência sobre o mapa de aptidão. Assim o OWA permite várias soluções possíveis, fazendo esse controle do risco e compensação via um grupo de pesos ordenados em diferentes posições, que modificam inicialmente o grau que os fatores afetarão o processo de agregação e, desse modo, o nível total compensação. (SILVA, 2010).

## **3.5 Método Delphi**

Os serviços ambientais praticados nas bacias hidrográficas são cada vez mais pesquisados nos dias atuais, logo, as discussões sobre sustentabilidade têm a finalidade de analisar as múltiplas relações, causas e impactos de um problema complexo relacionado ao meio ambiente

e, deste modo, buscar uma solução estratégica através da elaboração de opções apropriadas de gestão para o problema em questão (ROTMANS, 2006).

Segundo Freitas Filho (2010), para uma melhor compreensão da dinâmica hidrográfica, os indicadores ambientais são parâmetros chaves que podem auxiliar a identificação dos processos de degradação e as possíveis tomadas de decisões referentes à proteção do meio ambiente. Nos dias atuais a utilização de ferramentas, por exemplo, o método Delphi, que auxiliam na compreensão dessa dinâmica vem sendo de grande importância para estudos.

Desde então, o método Delphi tem sido visto como uma das ferramentas mais utilizadas em previsões e como suporte à tomada de decisões, além de ser empregado como um mecanismo eficiente para discussão em grupo estruturado com foco na resolução de problemas futuros (SPICKERMANN, 2014; LANDETA, 2006).

Segundo Turoff e Listone (1975), a técnica Delphi é um método que permite elaborar um processo de comunicação em grupo de modo que o mesmo seja efetivo a um grupo de indivíduos, a lidar com um problema complexo. Em outras palavras, o método Delphi é uma ferramenta de pesquisa qualitativa que objetiva uma igualdade de opiniões de um grupo de especialistas a respeito de cenários futuros.

Mirailh (2018) cita que o método Delphi permite uma abordagem mais ampla e enriquecedora, tanto geograficamente como na captação de ideias e conhecimento. Este método surgiu dentro dos conhecidos Métodos de Especialistas, que são aqueles que utilizam como fonte de informação um grupo de pessoas que se pressupõe terem elevado conhecimento sobre determinado assunto em que se irá abordar.

Para Wright e Giovanazzo (2000), a escolha da técnica Delphi se deve em função das características do estudo, tais como a inexistência de dados históricos, a necessidade de abordagem interdisciplinar ou mesmo as perspectivas de mudanças estruturais no meio estudado. Em outras palavras, baseia-se no uso estruturado do conhecimento, da experiência e da criatividade de um conjunto de especialistas, ponderando-se julgamento coletivo e se organizado de maneira adequada, sendo considerado melhor que a opinião individual.

Partindo dessas ideias, o método Delphi é bastante simples, pois é um questionário considerado interativo, já que circula de forma repetida por este grupo de especialistas, sempre

preservando o anonimato deles e suas respostas individuais. No entanto, apesar de simples, este questionário deve ser bem elaborado, com informações precisas a respeito do assunto e visando sempre o futuro, de maneira que a linguagem seja homogênea, permitindo com que o respondente tenha um raciocínio orientado para o futuro (WRIGHT E GIOVANAZZO, 2000).

Santos (1995) propõe os seguintes cuidados na sua aplicação:

- as questões devem ser objetivas;
- o consultado deve ser bem informado sobre perguntas e objetivos a serem discutidos;
- devem-se garantir respostas curtas, se possível na forma de árvore dicotômica;
- as questões devem ser organizadas de forma a facilitar a organização de um banco de respostas;
- a linguagem deve ser acessível;
- aconselha-se a existência de mais de um avaliador;
- devem-se criar meios para garantir a devolução dos questionários;
- deve-se garantir um percentual representativo de cada grupo envolvido (para representar as diversas opiniões ou interesses);
- deve-se garantir o anonimato dos consultados e
- deve-se decidir previamente a proporção de consenso desejado.

Aparicio et al. (2017) citam que a seleção do grupo de especialistas é uma etapa crítica do método, uma vez que a qualidade dos participantes pode determinar a riqueza das informações recolhidas para explorar o problema particular e pode, portanto, afetar a confiabilidade dos resultados. Além disso, é necessário um número suficiente de integrantes no processo de pesquisa Delphi (GNATZY, 2012).

Por outro lado, Pohlmann (2017) diz que o método Delphi apresenta várias vantagens quando comparado com entrevistas, grupos focais ou *workshops*: em vez de destacar perspectivas individuais, promove o consenso da comunidade, além de permitir que os especialistas anonimamente sugiram e forneçam *feedback* mediado pelas respostas uns dos outros, exibindo uma compreensão completa dos indicadores analisados.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a bacia do rio Piracicaba localizada entre as latitudes 19°19'S e 20°15'S, e longitudes 42°30'W e 43°42'W no estado de Minas Gerais (MG). Esta bacia faz parte das Unidades de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos (UPGRH's) da bacia do Rio Doce e se denomina como DO2.

Para o geoprocessamento usou-se o *software* QGIS 3.10 GRASS, as confecções de mapas e outros dados foram projetados em sistema de coordenadas SIRGAS 2000 - Zone 23S.

Com o uso do método Delphi foi desenvolvido uma consulta de opinião aos especialistas com as principais variáveis usadas na literatura para definição da fragilidade ambiental, Tabela 5. Os especialistas ponderaram valores de 0 a 100, onde 0 implica em potencial nulo da variável analisada na bacia hidrográfica e 100 no qual implica em potencial máximo, Apêndice A.

Utilizando o método AHP, foi realizado também uma consulta aos especialistas no qual determinou a prioridade de cada fator por meio de comparação par a par entre as variáveis, os valores usados foram de 1 a 9, onde valores baixos tem a mesma importância e quanto maior o valor mais importante, Apêndice A.

### 4.2 Dados Gerais da Bacia do Rio Piracicaba

Com dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) de altitude do Topodata, delimitou-se a bacia hidrográfica com uso de ferramentas do GRASS, através da ferramenta "r.watershed" criaram-se linhas de fluxo simulando um modelo de escoamento. Após estabelecer as direções de escoamento, delimitaram-se as regiões de fluxo acumulado, gerando a imagem de uma bacia hidrográfica. Com a bacia delimitada foram calculados: O Coeficiente de compacidade, o fator de forma, o índice de circularidade, altitudes, declividades, amplitude altimétrica, densidade de drenagem, área, perímetro e comprimento do curso d'água O cálculo desses parâmetros visa demonstrar características morfométricas dessa bacia.

#### 4.2.1 Coeficiente de compacidade

Coeficiente de compacidade ( $K_c$ ): é a relação entre o perímetro da bacia ( $P$ ) e o perímetro de um círculo de mesma área ( $A$ ) que a bacia. O  $K_c$  é sempre um valor  $> 1$  (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto menor o  $K_c$  (mais próximo da unidade), mais circular é a bacia, menor o  $t_c$  (tempo de concentração) e maior a tendência de haver picos de enchente, dado por:

$$K_c \cong (P/\sqrt{A}) * 0,28 \text{ (adimensional)}$$

#### 4.2.2 Fator de forma

Corresponde à razão entre a área de bacia e o quadrado de seu comprimento axial medido ao longo do curso d'água principal, do exutório à cabeceira mais distante (VILLELA e MATTOS, 1975), ou seja, o fator de forma ( $K_f$ ): é a razão entre a largura média da bacia ( $l$ ) e o comprimento do eixo da bacia ( $L$ ) (da foz ao ponto mais longínquo da foz). Dado por:

$$K_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2}$$

$$\text{Em que } A = l * L$$

Bacias alongadas apresentam pequenos valores do fator de forma e são menos susceptíveis às inundações, uma vez que se torna menos provável que uma chuva intensa cubra toda a sua extensão.

#### 4.2.3 Densidade de drenagem

Horton (1932) definiu densidade de drenagem como sendo a razão entre o comprimento total dos canais ( $\Sigma L_i$ ) e a área da bacia hidrográfica. É um índice importante, pois reflete a influência da geologia, topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. Dada por:

$$DD = \frac{\Sigma L_i}{A}$$

$$DD = \text{densidade de drenagem (km/km}^2\text{)}$$

$\Sigma L_i$  = comprimento total de todos os canais (km)

A = área da bacia hidrográfica (km<sup>2</sup>).

Este índice permite avaliar a eficácia de drenagem de uma bacia, ou seja, a eficiência na concentração do escoamento superficial no exutório da bacia (TUCCI, 2004). Os valores deste índice para as bacias naturais encontram-se, geralmente, compreendidos na faixa de 0,5 km<sup>-1</sup> a 3,5 km<sup>-1</sup>, sendo que o limite inferior caracteriza as bacias com drenagem pobre e o limite superior aplica-se a bacias excepcionalmente bem drenadas.

#### 4.2.4 Comprimento do rio principal

Comprimento do rio principal (L): é determinado a partir do perfil longitudinal do curso d'água medindo-se o comprimento do trecho entre a nascente mais distante e o ponto de interesse ou exutório (TUCCI, 2004, p.48)

#### 4.2.5 Amplitude altimétrica da bacia

A diferença entre a altitude máxima e a altitude mínima define a chamada “amplitude altimétrica” da bacia. Cabe ressaltar a importância do uso da amplitude altimétrica para definição de unidades de relevo em detrimento ao emprego da altitude. O uso desses dados, acabam por ocultar ou homogeneizar irregularidades topográficas que se definiriam como feições geomorfológicas diferentes.

#### 4.2.6 Índice de circularidade

Tonello (2005) cita que o índice de circularidade é outro parâmetro utilizado. Ele tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada. Dado por:

$$Ic = 12,57 * \frac{A}{P^2}$$

IC = índice de circularidade < 1      A = área da bacia      P = perímetro da bacia

Quanto mais próximo de 1, mais próxima da forma circular será a bacia hidrográfica.

### 4.3 Geologia e solos

Dados sobre geologia foram utilizadas informações de mapeamento geológico obtidos no IDE-SISEMA (Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>), onde se baseiam em informações do Serviço Geológico do Brasil - CPRM para mapeamento geológico, e dos trabalhos de amostragem da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Já os dados sobre solos foram utilizados dados da Embrapa (Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104)).

### 4.4 Altitude, declividade e clima

Com dados do Topodata de MDE, com resolução 30m x 30m (disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), foram processados e gerados dados de altitude e declividade.

Os dados climáticos analisados foram os da classificação Köppen (Disponível em: <https://www2.ipef.br/geodatabase/>), desenvolvida para o Brasil por Alvares (2013) com de resolução de (10.000 m).

A partir dos dados de altimetria, foi produzido o mapa de declividade (em graus) da região que posteriormente foi reclassificado seguindo a Embrapa (1979) e para uso da determinação da fragilidade ambiental da bacia segundo Ross (1994), a declividade foi novamente reclassificada para seus respectivos pesos conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Reclassificação Declividade para uso da Fragilidade.

Classes de Declividade		Reclassificação	Peso Fragilidade	Fragilidade
0-3	Plano	1	1	Muito Baixa
3-8	Suave Ondulado	2	2	Baixa
8-20	Ondulado	3	3	Intermediária
20-45	Forte Ondulado	4	4	Alta
45-75	Montanhoso	5	5	Muito Alta
>75	Forte Montanhoso	6	5	Muito Alta

Fonte: Adaptado (Franco et.al 2012).

#### 4.5 Uso e ocupação do Solos

Afim de obter dados mais detalhados sobre os usos do solo foi utilizado o mapa de uso do solo do Mapbiomas Coleção 5 (disponível em <https://mapbiomas.org/>, com resolução de 30 m x 30 m) para o ano de 1985 a 2019. Para a análise, os dados do Mapbiomas foram reclassificados conforme descritos na Tabela 2, formando classes mais semelhantes aquelas usadas para se ter uma melhor visualização da área de estudo. Assim, além de ter uma análise mais detalhada do uso do solo, foi possível comparar (e validar) a classificação feita nesse estudo.

**Tabela 2 – Reclassificação Mapbiomas**

Classe no Mapbiomas	Reclassificação
1.1. Floresta Natural	Vegetação densa
1.1.1. Formação Florestal	
1.1.2. Formação Savânica	
1.1.3. Mangue	
1.2. Floresta Plantada	Outras formações não florestais
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	
2.2. Formação Campestre	
2.3. Apicum	
2.4. Afloramento Rochoso	
2.5. Outras Formações não Florestais	Agropecuária
3.1. Pastagem	
3.2. Agricultura	
3.2.1. Lavoura Temporária	
3.2.1.1. Soja	

Fonte: Autor, 2021

## Continuação da Tabela 3 – Reclassificação Mapbiomas

Classe no Mapbiomas	Reclassificação
3.2.1.2. Cana	Agropecuária
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias	
3.2.2. Lavoura Perene	
3.3 Mosaico de Agricultura e Pastagem	Outras áreas não vegetadas
4.1. Praia e Duna	
4.4. Outras Áreas Não Vegetadas	
4.2. Infraestrutura Urbana	
4.3. Mineração	
5.1. Rio, Lago e Oceano	Rios
5.2. Aquicultura	

Fonte: Autor, 2021.

Para determinação da fragilidade ambiental segundo Ross (1994), o arquivo raster passou por uma nova reclassificação, onde foi possível definir os pesos para cada tipo de uso conforme Souza, Costa e Carvalho (2011). Observa-se que o peso 3 não se encontra inserido na Tabela 3. No trabalho citado, os autores deram peso 3 para a classe específica, (“Associação de vegetação secundária com área cultivada”), que para a área de estudo da bacia rio Piracicaba não foi analisada separadamente.

**Tabela 4** – Reclassificação de dados de Uso e Ocupação do solo de acordo com sua Fragilidade

Uso do Solo	Reclassificação	Peso Fragilidade	Fragilidade
1.1. Floresta Natural	1	1	Muito Baixa
1.1.1. Formação Florestal			
1.1.2. Formação Savânica			
1.1.3. Mangue			
1.2. Floresta Plantada	2	2	Baixa
<b>2. Formação Natural não Florestal</b>			
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa			
2.2. Formação Campestre			
2.3. Apicum			
2.4. Afloramento Rochoso			
2.5. Outras Formações não Florestais			

Fonte: Adaptado de Souza, Costa e Carvalho, 2011.

Continuação da tabela 3 - Reclassificação de dados de Uso e Ocupação do solo de acordo com sua Fragilidade

Uso do Solo	Reclassificação	Peso Fragilidade	Fragilidade
<b>3. Agropecuária</b>	3	4	Alta
3.1. Pastagem			
3.2. Agricultura			
3.2.1. Lavoura Temporária			
3.2.1.1. Soja			
3.2.1.2. Cana			
3.2.1.3. Outras Lavouras Temporárias			
3.2.2. Lavoura Perene			
3.3 Mosaico de Agricultura e Pastagem			
<b>4. Área não Vegetada</b>	4	5	Muito Alta
4.1. Praia e Duna			
4.2. Infraestrutura Urbana			
4.3. Mineração			
4.4. Outras Áreas não Vegetadas			
<b>5. Corpos D'água</b>	5	5	Muito Alta
5.1. Rio, Lago e Oceano			
5.2. Aquicultura			

Fonte: Adaptado de Souza, Costa e Carvalho, 2011.

#### 4.6 Quantificação na alteração do uso e ocupação do Solo

Utilizando os dados de uso e ocupação de solos do Mapbiomas reclassificados conforme Tabela 2, foi feita uma análise na mudança de uso do solo entre os anos de 1985 a 2019. O

processamento foi feito no software QGIS 3.10 com o *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), com uso da ferramenta “Land cover change” (mudança da cobertura do solo), sendo analisado dados onde houve supressão da vegetação e reflorestamento.

#### 4.7 Fragilidade Ambiental

Sutil (2020) afirma que os estudos de fragilidade ambiental são evidentes ferramentas para a construção de cenários que podem ser constantemente revistos e adequados e, também, para a sugestão de ações a serem implementadas no zoneamento ambiental, provendo subsídios à gestão territorial e ao gerenciamento da biodiversidade.

Na literatura, a fragilidade ambiental é analisada de diversas formas e operações diferentes. Por isso, a fim de determinar quais critérios são mais utilizados na análise de fragilidade ambiental 11 artigos foram analisados. Ficou evidenciados que a temáticas e os atributos são semelhantes (Tabela 4).

**Tabela 5** – Dados de levantamentos de critérios utilizados em cada artigo.

<b>Fonte/Autores Artigos</b>	<b>Ano</b>	<b>Crítérios Utilizados</b>
ABIMAEEL CEREDA JUNIOR	2011	Declividade
		Tipo de Solos
		Uso Ocupação solos
		Pluviometria
CARLOS HENRIQUE CRESPO DA SILVA	2010	Declividade
		Tipo de Solos
		Uso Ocupação solos
		Fluxo acumulado
		Distância da Fonte de Poluição
LUIZ FERNANDO LOSSARDO E REINALDO LORANDI	2010	Declividade
		Tipo de solos
		Uso Ocupação solos
FERNANDA A. OLIVEIRA, ELOY L. MELLO, ED CARLO R. PAIVA, MARIA LÚCIA CALIJURI, ANDRÉ O. GUIMARÃES	2006	Declividade
		Tipo de Solos
		Tipos de Rochas

Continuação tabela 4 - Dados de levantamentos de critérios utilizados em cada artigo.

		Uso Ocupação solos
		Distância da Fratura
		Distância aos cursos d'água
GUSTAVO BARRETO FRANCO, LUIZA SILVA BETIM, EDUARDO ANTONIO GOMES MARQUES, RONALDO LIMA GOMES, CÉSAR DA SILVA CHAGAS	2012	Declividade
		Tipo de Solos
		Pluviometria
		Uso Ocupação solos
		Substrato Rochoso
VANESSA INGRID SARAIVA PEREIRA CALDAS, ANTÔNIO SOARES DA SILVA, JEFFERSON PEREIRA CALDAS DOS SANTOS	2019	Erodibilidade dos solos
		Erosividade
		Declividade
		Relevo
		Uso Ocupação solos
MOURA, M. M, ARAÚJO, M. M. F., CASTRO, T. A. D., LEANDRO D..	2019	Declividade
		Altitude
		Tipo de Solos
		Uso Ocupação solos
PAULA REGINA RISSI, LETÍCIA CANDIDO DE ASSIS, MAYARA HERRMANN RUGGIERO & LUIZ EDUARDO MOSCHINI	2021	Declividade
		Tipo de Solos
		Tipos de Rochas
		Uso Ocupação solos
		Pluviometria
CARLOS WILMER COSTA, FABIOLA GEOVANNA PIGA, MAYRA CRISTINA PRADO DE MORAES, MARIANA DORICI, EVANDRO DE CASTRO SANGUINETTO, JOSÉ AUGUSTO DE LOLLO, LUIZ EDUARDO MOSCHINI, REINALDO LORANDI E LEANDRO JOSÉ OLIVEIRA	2015	Declividade
		Geologia
		Geomorfologia
		Pluviometria
		Tipo de Solos
		Uso Ocupação solos
ISABEL CRISTINA MOROZ-CACCIA GOUVEIA, JURANDYR LUCIANO SANCHES ROSS	2019	Formas de Relevo
		Declividade
		Tipo de Solos
		Uso Ocupação solos

Fonte: Auto, 2021

Após os levantamentos dos critérios mais utilizados na literatura, foi feita uma reclassificação desses dados, agrupando-os em tópicos que se correlacionavam entre si (Tabela

5). Sendo assim, observou que critérios uso e ocupação do solo e declividade estava presente em 11 de 11 estudos analisados, os tipos de solos em 9 de 11 estudos, a pluviometria 4 de 11 estudos e tipos de rochas 2 de 11 estudos. Os demais critérios foram citados apenas uma vez em uns dos estudos.

**Tabela 6 – Correlação dos Tópicos Simplificados**

Tópicos Correlacionados	Tópico Geral
Uso Ocupação Solos/Distancia da Fonte de Poluição/Distancia aos Cursos d'água	Uso Ocupação Solos
Declividade/Altitude	Declividade
Tipos de solos, erodibilidade dos solos	Solos
Erosividade/Pluviometria/Fluxo acumulado	Pluviometria
Geologia/tipos de rochas/ substrato rochoso/Distância da Fratura	Geologia
Geomorfologia/Relevo/Formas de Relevo	Geomorfologia

Fonte: Auto, 2021

Com base nesse levantamento de dados, o mapa de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica Rio Piracicaba foi obtido a partir de cruzamento dos critérios de pluviometria, declividade, uso e ocupação do solo e tipos de solos utilizando a metodologia de Ross (1994):

$$FA = ([P] + [D] + [UO] + [S]) / 4$$

Em que:

FA: fragilidade ambiental

P: pluviometria

D: declividade

UO: uso e ocupação do solo

S: Solos

Um segundo mapa de fragilidade ambiental foi calculado utilizando análise multicritério. Para isso, o primeiro passo foi a homogeneização dos critérios. Na Tabela 6 está

apresentado o resultado da homogeneização dos critérios sugeridos por especialistas após uma rodada do Método Delphi. Devido a impossibilidade de repetir mais uma rodada de consulta, os valores de homogeneização empregados foram os mais citados pelos especialistas nessa única consulta feita. Foram consultados 30 especialistas, dos quais foram obtidas respostas de 7 deles.

**Tabela 7** - Homogeneização dos critérios

<b>Uso e ocupação do solo</b>	
Vegetação densa	1,0
Outras formações não florestais	1,0
Agropecuária	0,8
Outras áreas não vegetadas	0,8
Áreas urbana	1,0
Mineração	1,0
Rios	1,0
<b>Declividade do terreno</b>	
Plano	0,1
Suave-ondulado	0,3
Ondulado	0,4
Forte- ondulado	0,8
Montanhoso	0,8
Forte Montanhoso	
<b>Tipo de solo</b>	
Cambissolo	0,8
Latossolo	0,4
Argissolo	0,6

Fonte: Auto, 2021.

Para a pluviometria, considerou-se que a fragilidade ambiental é maior quanto maior a pluviometria, uma vez que eventos de chuva podem causar escorregamentos, enchentes e outros desastres tanto áreas naturais quanto áreas antropizadas.

Para calcular os pesos de cada critério foi utilizado o processo de tomada de decisão conhecido como AHP (SAATY, 1977). Para diferenciar a importância de cada critério, foi utilizada a Escala Fundamental de Julgamento de Saaty (1977) para julgar os critérios par a par. Nesse julgamento, especialistas consultados atribuem números ímpares entre 1 e 9 para a comparação entre cada par de critérios, sendo que o valor 1 representa que dois critérios têm a mesma importância e, no outro extremo, o valor 9 representa que um critério tem importância absoluta sobre o outro. A partir da matriz de comparação gerada, calcula-se o Índice de Consistência que, quando dividido pelo Índice Randômico, dá origem a Razão de Consistência (RC), que deve ser menor que 0,10 para indicar que os julgamentos foram consistentes segundo a propriedade transitiva da matemática. O Índice Randômico varia de acordo com o número de critérios analisados (o valor tabelado para cinco fatores é 1,12). Na Tabela 7 está apresentada a matriz pareada obtida para a bacia do rio Piracicaba empregando-se uma rodada do Método Delphi e utilizando os valores mais citados pelos especialistas.

**Tabela 8** – Matriz de comparação par a par para a bacia do rio do Peixe sendo P = peso dos fatores. O julgamento foi realizado de acordo com a Escala Fundamental de Julgamento de Saaty (1997). Razão de Consistência (RC) = 8,3 %.

	Uso do solo	Declividade	Tipo de solo	Pluviometria	P
Uso do solo	1	3	6	8	0,580
Declividade	0,33	1	3	5	0,248
Tipo de solo	0,16	0,33	1	5	0,126
Pluviometria	0,12	0,20	0,20	1	0,046

Fonte: Autor, 2021.

Por fim, foi conduzida a associação dos critérios pela Combinação Linear Ponderada (WLC), onde é feito o somatório de cada critério já homogeneizado multiplicado pelos seus respectivos pesos. Esses cálculos foram realizados pixel a pixel, resultando um mapa final quanto a fragilidade ambiental com resolução espacial de 30 m x 30 m.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Dados Morfométricos

A Tabela 8 sintetiza os dados morfométricos calculados para a bacia do rio Piracicaba. O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) calculado foi de 2,614 mostrando que a bacia não é de forma circular, valor próximo de 1 refere-se a modelo circular. Fator de Forma ( $K_f$ ), calculado foi de 0,097, quanto menor o  $K_f$ , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente. A densidade de drenagem da bacia é de 1.150 km.km<sup>2</sup> considerada muito alta, conforme classificação de Sthraler (1957), no qual o autor cita que valores de densidade acima de 155,5 km/km<sup>2</sup> representa muita alta.

**Tabela 9 - Características morfométricas da bacia do Rio Piracicaba**

<b>Características da Bacia Rio Piracicaba</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Área Total (A)	5431,3	km <sup>2</sup>
Perímetro Total (P)	688,1	km
Comprimento Axial da Bacia (L <sub>a</sub> )	139,2	km
Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ) $K_c = (P/\sqrt{A}) * 0,28$	2,614	-
Fator de Forma ( $K_f$ ) $K_f = A/L^2$	0,097	-
Índice de Circularidade (IC) $I_c = (12,57 * A) / P^2$	0,144	-

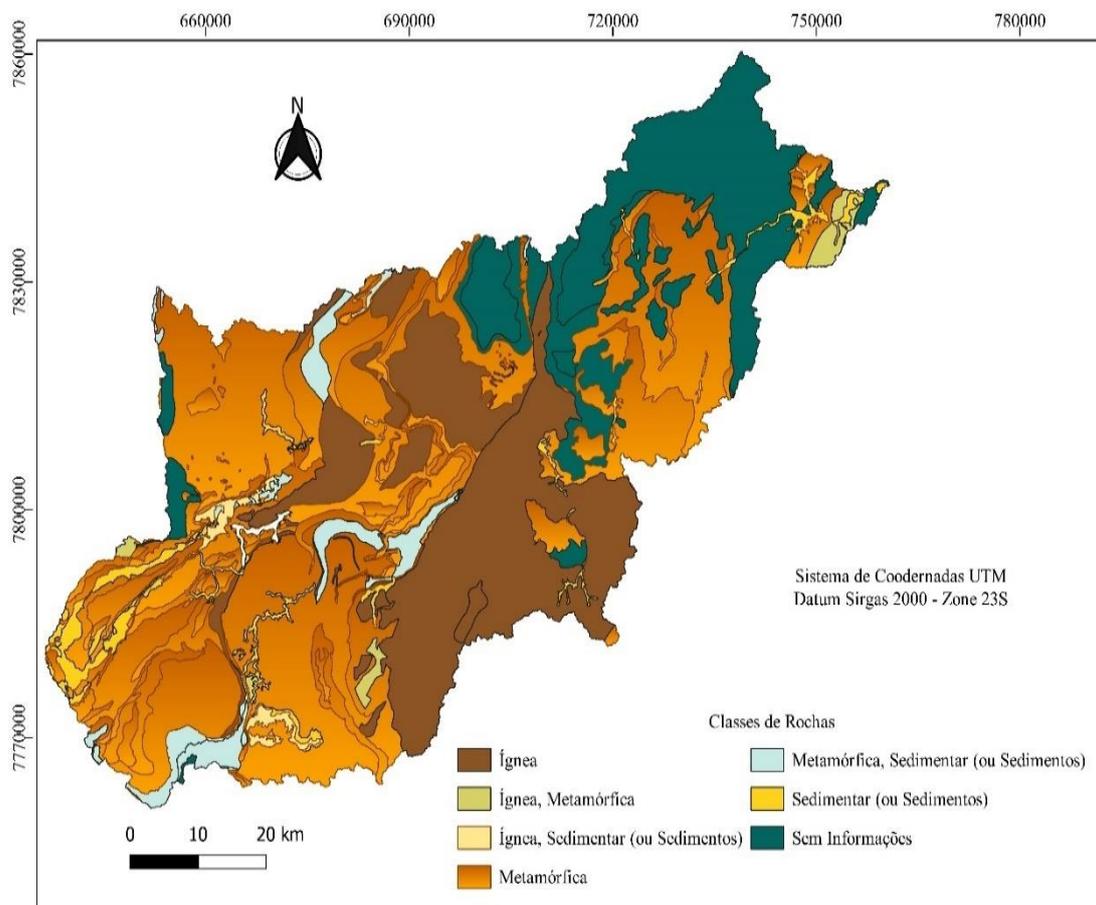
Altitude Mínima	228,784	m
Altitude Média	805,280	m
Altitude Máxima	2076,340	m
Declividade Mínima	0,0014	%
Declividade média	26,160	%
Declividade Máxima	455,030	%
Amplitude Altimétrica da Bacia	1847,557	m
Ordem dos Curso d'água (Hierarquia Fluvial)	8	-
Comprimento do Curso d'água	236,1	km
Comprimento total dos cursos d'água	6248,41	km
Densidade de Drenagem (DD)	1,150	km.km <sup>-2</sup>

Fonte: Autor, 2021.

## 5.2 Geologia e Solos

Grande parte da bacia, está localizada em rocha metamórfica e ígnea (Figura 2). O metamorfismo (mudança de forma), ocorre devido ao calor, pressão e fluidos químicos, tornando a rocha já existente naquele local, (sedimentar, ígnea ou metamórfica) em uma rocha denominada metamórfica. Já a rocha ígnea, ocorre por influência direta do magma, este quando atinge determinadas altura na crosta terrestre se cristaliza, gerando uma rocha ígnea.

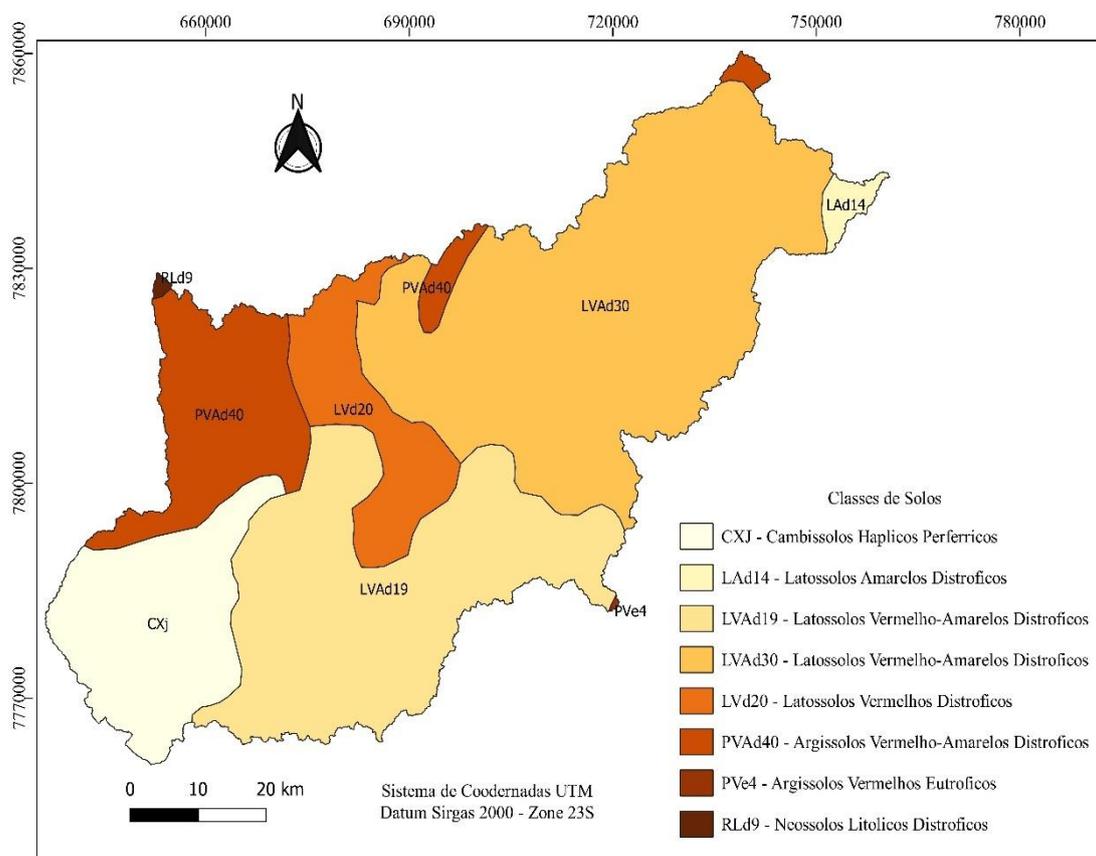
**Figura 2 - Classes de Rochas Presente na Bacia do Rio Piracicaba.**



Fonte: Autor, 2021.

Os solos possuem relação direta entre os processos erosão, qualidade e a quantidade de água superficial. Na bacia do Rio Piracicaba, há predominância de solos das classes Latossolos, Argilossolos e Cambissolos (Figura 3). Os Latossolos Vermelho-Amarelos são em abundância e tem como característica em serem profundos e drenados (SIBS - EMPRABA, 2018). Os Latossolos Amarelos são de menores quantidade localizando-se na região do “Vale do Aço” foz do rio Piracicaba.

**Figura 3 - Classes de Solos Presente na Bacia do Rio Piracicaba.**



Fonte: Autor, 2021.

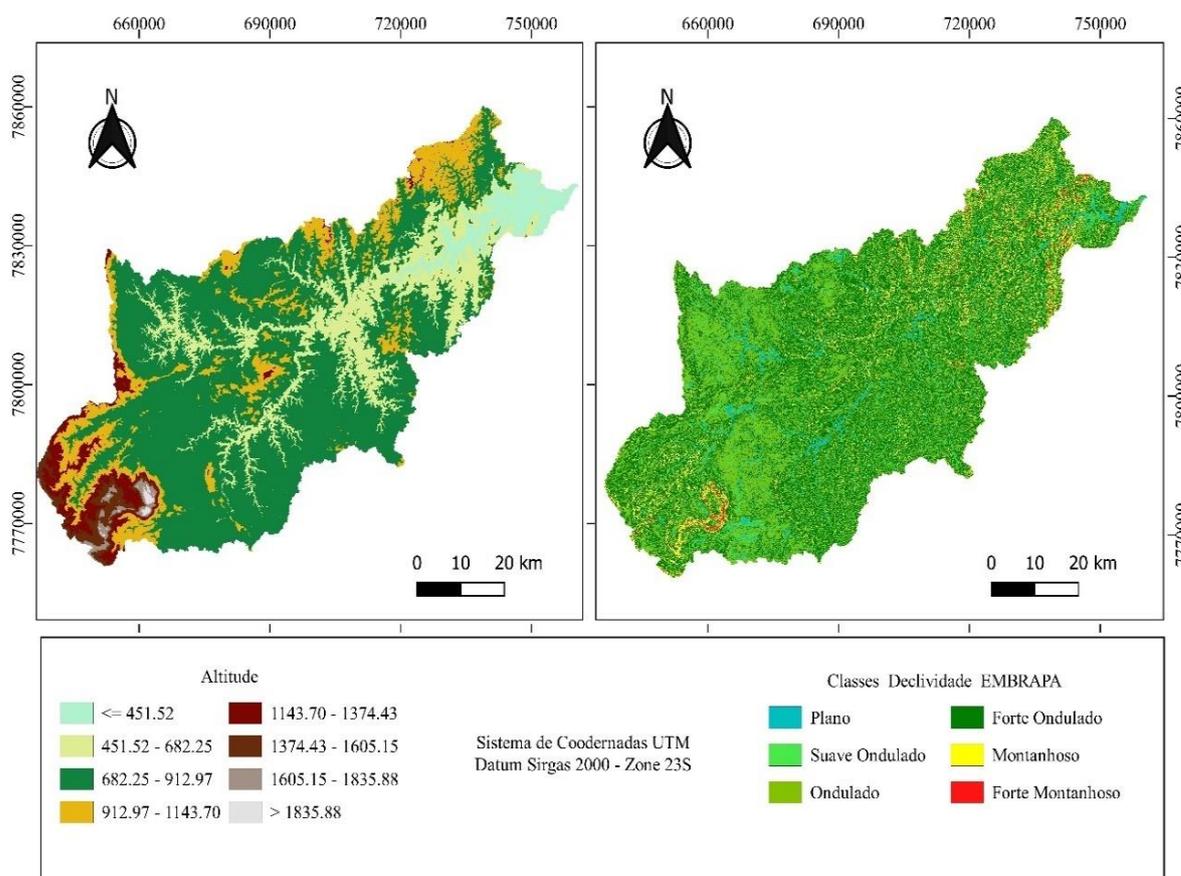
### 5.3 Altitude, Declividade e Clima

A bacia possui em sua área de atuação, altitudes bem elevadas na região de sua nascente com altitudes que supera os 1470 metros, sua maior abrangência em elevações que varia de 682 metros a 912 metros. Suas declividades variam basicamente de suave ondulado a forte montanhoso (Figura 4), característica de regiões com grande presença de relevo montanhosos.

A declividade de uma bacia hidrográfica tem relação importante com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo, etc. É, além disto, um dos fatores principais que regulam o tempo de duração do escoamento superficial e

de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. (PAIVA e PAIVA, 2001). Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, conseqüentemente o tempo de concentração é menor e maior será picos de enchentes.

**Figura 4 – Mapa de Altitude e Classes de Declividade**

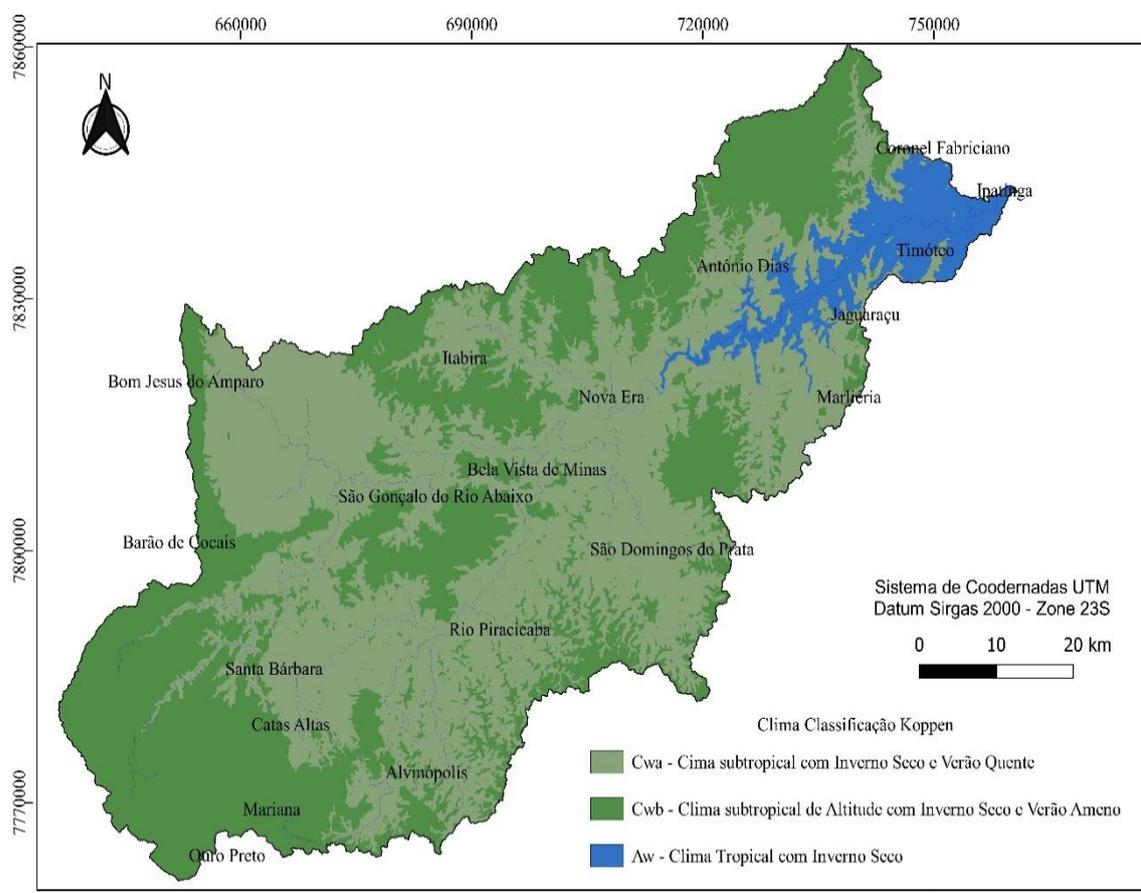


Fonte: Autor, 2021

Já a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia, influenciando diretamente no clima da região (Figura 5). Na região do Vale do Aço o clima predomina é o clima tropical com inverno seco onde a temperatura média do mês mais frio é cerca de 18°C. Nas demais regiões da bacia há o clima Cwb -Clima subtropical de altitude, com inverno seco e verão ameno, a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22° C e

o Clima subtropical de inverno seco - Cwa (com temperaturas inferiores a 18°C) e verão quente (com temperaturas superiores a 22°C).

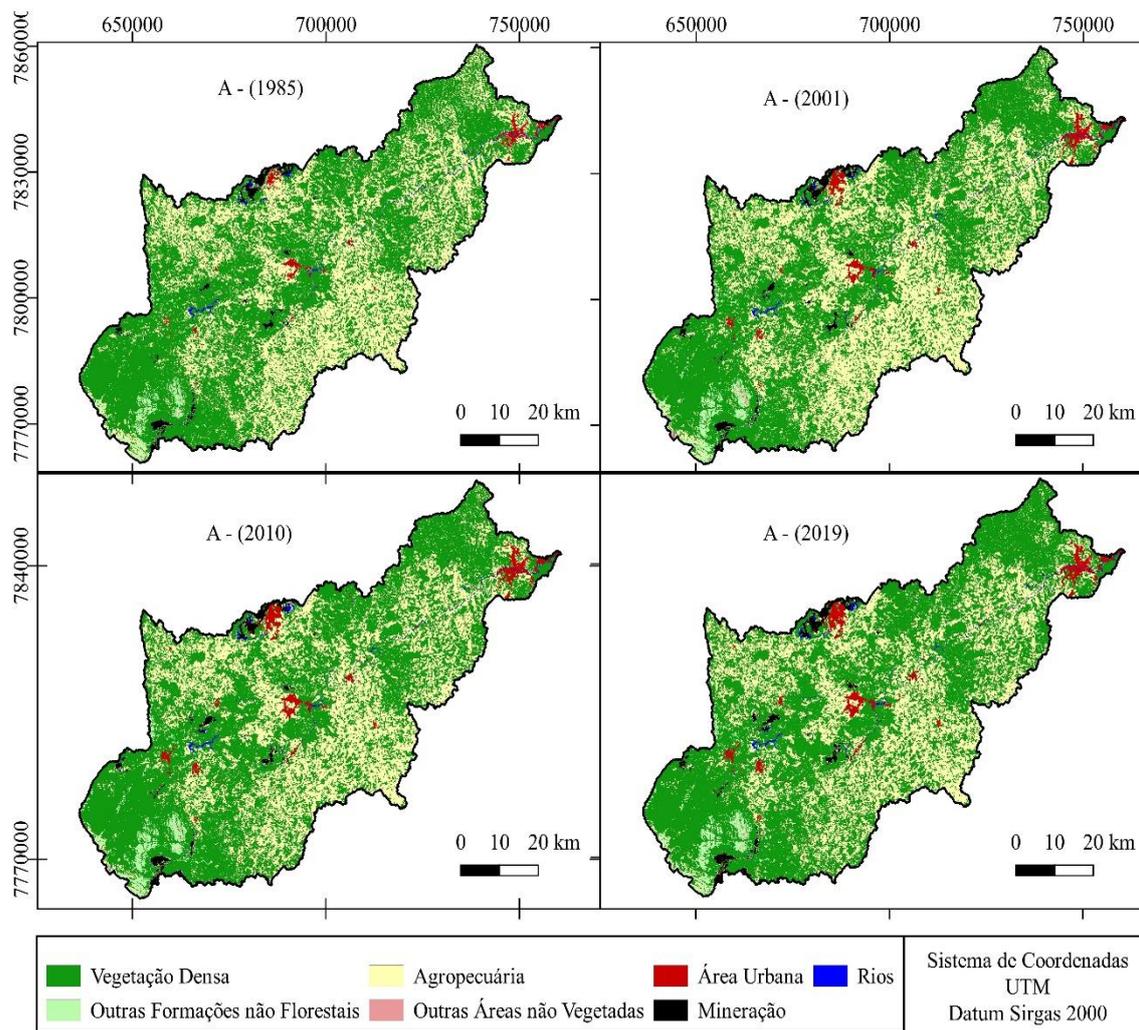
**Figura 5 – Classificação do Clima Bacia Rio Piracicaba**



Fonte: Autor, 2021.

#### 5.4 Uso e Ocupação do Solo

A transformação temporal no uso e ocupação é visivelmente observado na Figura 6, o crescimento da mancha urbana pela bacia ocupa áreas cada vez maiores juntamente com a mineração, esse crescimento está diretamente correlacionado com grandes empreendimentos tanto do setor mineral quanto do setor siderúrgico presente na bacia hidrográfica, aumentando as manchas de uso e ocupação do solo.

**Figura 6 - Uso e Ocupação do Solo – Mapbiomas**

Fonte: Autor, 2021.

### 5.5 Quantificação mudança do uso e ocupação do solo

O uso da ferramenta Land cover change, do SCP, a ferramenta analisa a classificação realizada no raster de 1985 (Figura 6) e compara com a classificação do raster de 2019. Esses cruzamentos geram um novo raster, onde é informado sobre as alterações de cada classe do uso do solo (Tabela 9). Sendo assim o resultado mostra que houve grande mudança no uso do solo da bacia, cerca de 724,69 km<sup>2</sup> de vegetação foi desmatada durante esse período, enquanto

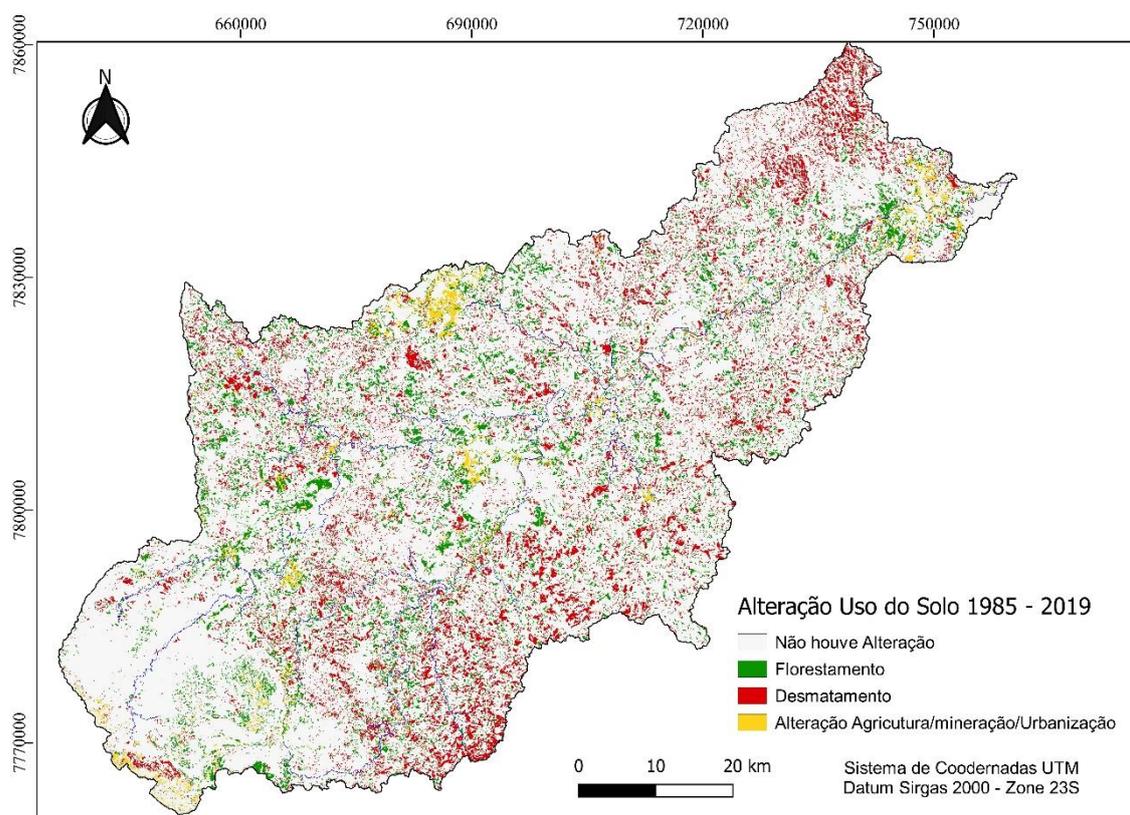
414,9 km<sup>2</sup> tornou-se vegetação de alguma forma (Figura 7), ou seja, ao longo do período de 34 anos, há um déficit de 310,2 km<sup>2</sup> na perda da vegetação.

**Tabela 10** - Exemplo na mudança do Uso e Ocupação do solo

Uso do Solo em 1985	Uso do Solo em 2019	Resultado
1 - Vegetação	3 - Agropecuária	Desmatamento
1 - Vegetação	4 - Área Urbana	Desmatamento
3 - Agropecuária	1 - Vegetação	Reflorestamento
3 - Agropecuária	4 - Área Urbana	Mudança no Uso

Fonte: Autor, 2021.

**Figura 7** – Representação da Mudança do Uso Ocupação do Solo 1985 a 2019

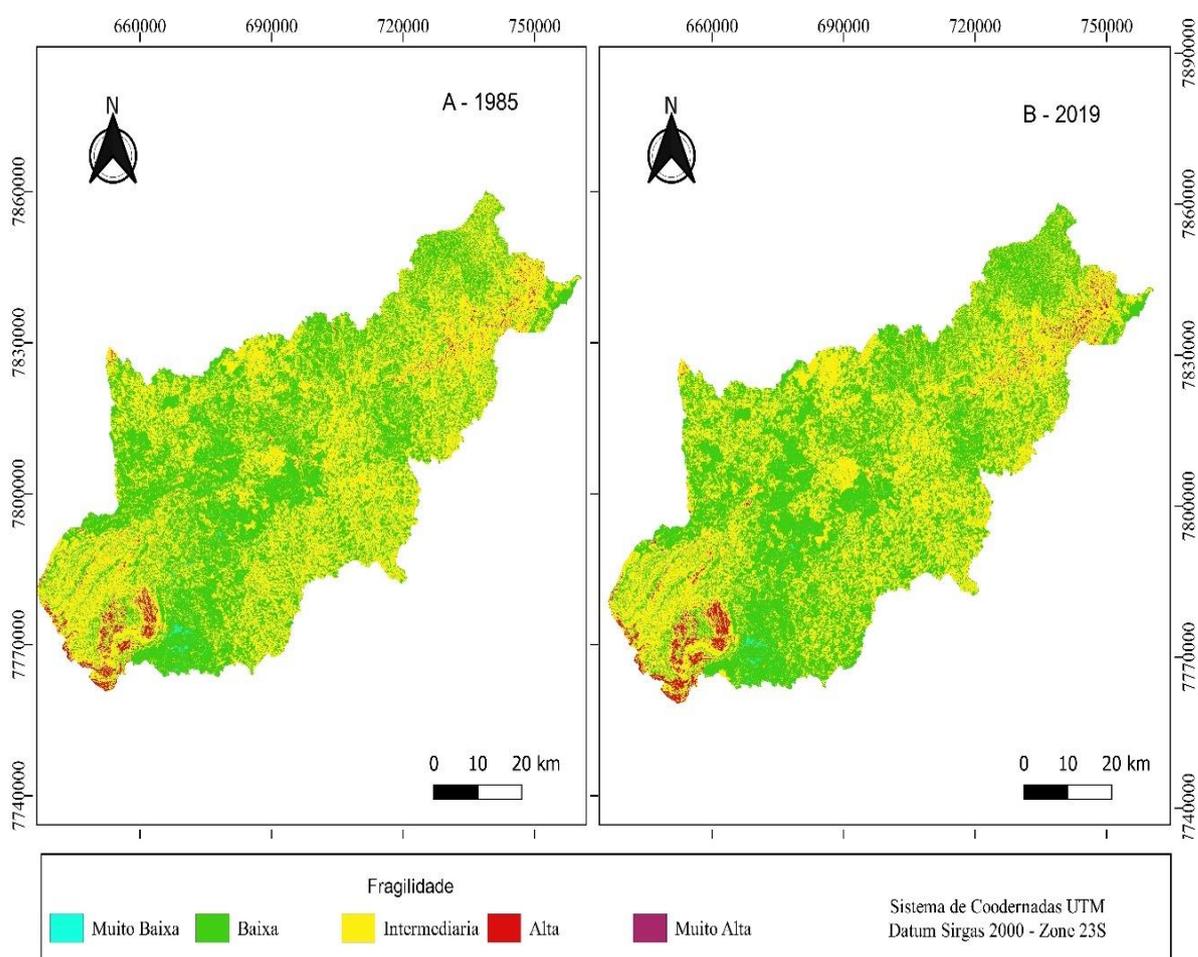


Fonte: Autor, 2021.

## 5.6 Fragilidade Ambiental

O mapa de fragilidade ambiental gerado a partir da metodologia proposta por Ross (1994) mostrou que a bacia possui setores com fragilidade alta nas regiões do Vale do Aço e nas regiões de Ouro Preto, Caltas Altas e Santa Barbara, nas demais regiões as fragilidades são de baixa e/ou intermedirias (figura 8), a presença de ações antrópicas torna as regiões com potencial de fragilidade maiores em relação as regiões não antropogênicas.

**Figura 8 – Mapa de Fragilidade Ambiental**



Fonte: Autor, 2021

Conforme modelagem aos longos dos anos, as transformações no uso e ocupação do solo da bacia acarretaram também mudança no nível da fragilidade, observa-se que houve aumento de regiões do nível de fragilidade “Alta”, em 1985 tinha cerca de 8,724 hectares, passando para 11,675 hectares aumentando cerca de 33,8% (Tabela 10). Aumento de hectares em locais de baixa fragilidade e diminuição em locais aonde a fragilidade era intermediária.

**Tabela 11** – Área (em hectares) por tipo de fragilidade anos de 1985 e 2019.

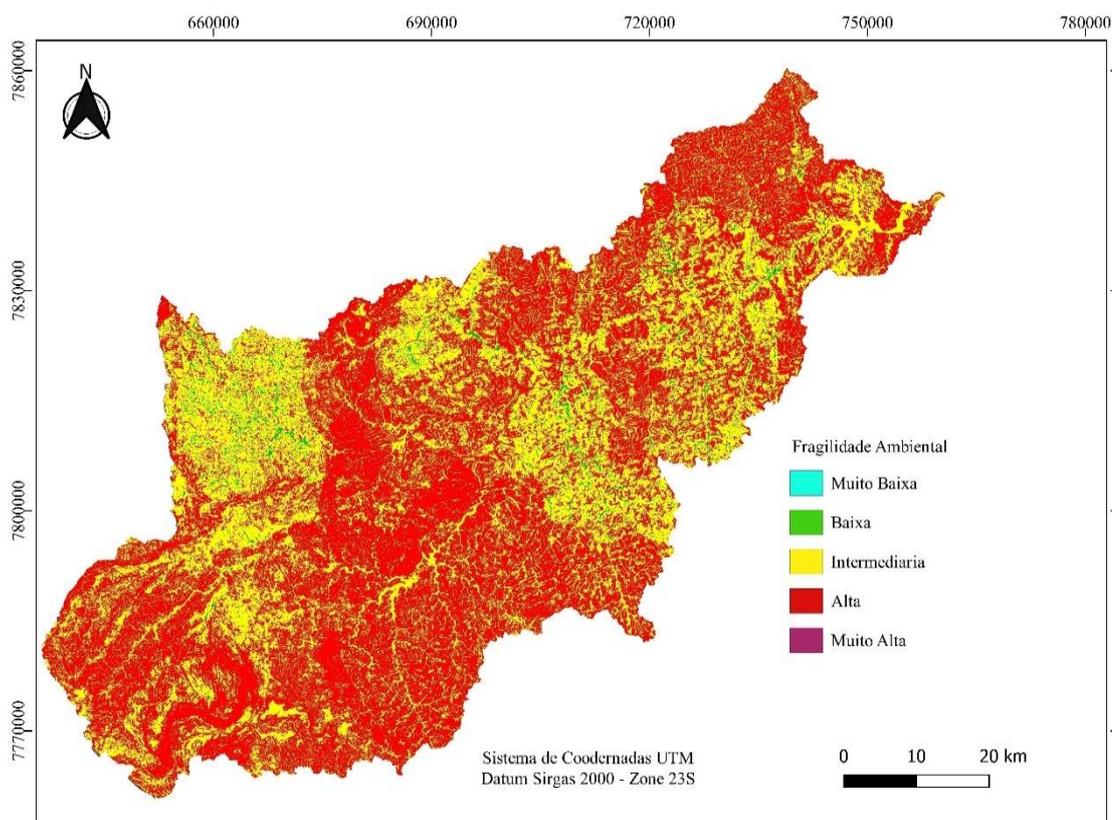
<b>Fragilidade</b>	<b>Ano 1985</b>		<b>Ano 2019</b>	
	<b>Área (hectares)</b>	<b>% Uso</b>	<b>Área (hectares)</b>	<b>% Uso</b>
<b>Muito Baixa</b>	11,791	2,2%	12,129	2,2%
<b>Baixa</b>	346,386	64,1%	354,41	65,5%
<b>Intermediária</b>	173,808	32,1%	162,495	30,1%
<b>Alta</b>	8,724	1,6%	11,675	2,2%
<b>Muito Alta</b>	-	-	-	-

Fonte: Autor, 2021

Após a associação dos critérios pela Combinação Linear Ponderada (WLC), onde é feito com a multiplicação dos respectivos pesos pelos seus respectivos pesos, tem um novo mapa de fragilidade ambiental (figura 9). Observa-se que os níveis de fragilidade tiveram grande alteração, sendo na sua maioria de fragilidade alta com cerca de 310,194 hectares e a fragilidade ambiental intermediária 218,508 hectares. A aplicação da técnica Delphi mostrou que as áreas estão em forte presença de fragilidade alta, logo, uma necessidade de melhor de gestão pública para o uso correto de cada local, orientando o crescimento populacional para locais onde a declividade do terreno seja baixa, evitando assim caso de escorregamento de solos e também desenvolver junto aos empreendimentos ações que visam minimizar os impactos ao meio ambiente.

A diferenciação entre as fragilidades se deu pois foram metodologias diferentes, enquanto na figura 8 usou-se o método da média dos pesos referente a literatura estudada, a figura 9 foi feita com base nos pesos ponderado pelos especialistas na pesquisa realizada, essa alteração acontece que com o passar dos anos, a tecnologia e as metodologias foram aprimoradas, observando que alguns critérios passaram a ter um grau de importância maior comparado com o estudado por Ross, observou-se também que um afinamento das respostas dos especialistas e mais rodadas de perguntas torna os resultados dos mapas com maior confiabilidade e precisos.

**Figura 9 - Mapa de Fragilidade Ambiental após Ponderação**



Fonte: Autor, 2021

## 6 CONCLUSÃO

Conclui-se os dados analisados que a ocupação do solo, tipo de relevo associado ao clima possui interferência direta no meio ambiente e conseqüentemente na bacia hidrográfica analisada. Fragilidade com níveis superiores há grande predominância de ações antropogênicas que transformam esses ambientes, descaracterizando e o tornando em um risco ambiental.

Sutil (2020) utiliza um método diferente para análise de fragilidade da bacia do Rio Piracicaba, sobrepondo diversos mapas (Erosividade, tipos de solos, declividade e uso do solo) a predominância das classes média e fraca, abrangendo cerca de 64,40% e 24,31% respectivamente. Os níveis de fragilidade forte e muito forte se mostraram em menos de 10% da bacia, enquanto não houveram classificações para fragilidade muito fraca.

Conforme estudo comparativo, o uso de critérios e a forma de modelagem é dos fatores primordiais para delineamento da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica, os modelos de análise tipo o Delphi vem sendo aplicado com mais frequência, tornando assim a literatura sobre a fragilidade ambiental padronizada sobre critérios a serem usados.

Sabe-se que para uma melhor definição da fragilidade ambiental é necessário ponderar todas variáveis pertencente ao uma bacia hidrográfica. Uma melhor execução da ferramenta seria utilização de vários mapas de fragilidade ambiental e correlaciona-los entre si, diversificando assim o estudo e obtendo resultados diferentes para analisá-lo e poder critica-lo.

Esses dados são essenciais para um melhor zoneamento ambiental territorial de uma bacia hidrográfica, o uso desses dados pelos poderes públicos e órgãos que gerencia e administra essas bacias, torna-se eficiente e de suma importância, tornando assim o espaço territorial usado da melhor maneira fazendo um uso sustentável dos recursos minerais e do solo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÁNTARA-AYALA, I. Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. *Geomorphology*, v. 47, n. 2-4, p. 107-124, 2002.

- ALVARES, C. A. Mapa de Classificação Climática de Köppen para o Brasil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, pág. 711-728, 2013.
- BELLAVER, E. H; DOS SANTOS, Z. M. Q. impacto do crescimento populacional sobre recursos finitos. *Extensão em Foco* (ISSN: 2317-9791), v. 6, n. 1, 2018.
- BEDUSCHI FILHO, Luiz Carlos.; ABRAMOVAY, Ricardo. Desafios para a gestão territorial do desenvolvimento sustentável no Brasil. In: XLI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural (SOBER). Anais...Juiz de Fora, 2003.
- COELHO, J. M. Indagações e Perspectivas sobre a Educação Ambiental no século XXI *Causas e Consequências*, 2019.
- COSTA, C.W. Mapeamentos Geoambientais, em escala 1:50.000, Aplicados em Análises de Planejamento Territorial de Manancial Periurbano: Bacia do Ribeirão do Feijão, São Carlos, SP. Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos, Tese de Doutorado, 166p. 2018.
- COSTA, C.W.; PIGA, F.G.; MORAES, M.C.P.; DORICI, M.; SANGUINETTO, E.C.S; LOLLO, J. A; MOSCHINI, L.E LORANDI, R. & OLIVEIRA, L.J. Fragilidade Ambiental e Escassez hídrica em Bacias Hidrográficas: Manancial do Rio das Araras – Araras, SP. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4): 946-958. 2015
- CRUZ, Lucas Paiva. Avaliação da Evolução do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba/MG. 2009.
- FRANCO, G. B. Relação Qualidade da Água e Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. *Revista brasileira de geociências*, v. 42, n. suppl. 1, p. 114-127, 2012.
- KOBIYAMA, M. *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos*. Curitiba: Organic Trading, 2006. Disponível em:<https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf> acesso em: 28 fevereiro 2021.
- MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um Modelo de Fragilidade Ambiental Relevante

Solo na Serra da Cantareira, Bacia do Córrego do Bispo, SÃO PAULO-SP. Revista do Departamento de Geografia, [S. l.], v. 24, p. 57-79, 2012. DOI: 10.7154/RDG.2012.0024.0004. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/52754>. Acesso em: 7 abr. 2021.

- OLIVEIRA, Fernanda A. et al. Identificação e Discriminação de Áreas de Risco no entorno Urbano de Ipatinga, Brasil. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, v. 7, n. 1, p. 57-67, 2007.
- PERES, R. B. Uso e Ocupação do Solo e Impactos Ambientais Urbanos. Cadernos do Cescar. São Carlos: Gráfica e Editora Futura, p. 173-183, 2011.
- PIRACICABA, P. A. R. H. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO2. Consórcio EcoPlan–Lume, 2010.
- ECOPLAN - Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio doce volume II, (Consórcio Ecoplan, 2010).
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais Antropizados. Revista do departamento de geografia, v. 8, p. 63-74, 1994.
- SALOMÃO, C. C. S; DE SOUZA P. L. G; TIMBÓ ELMIRO, M. A. Uso da Análise Multicritério para Definição de Áreas Prioritárias para Reflorestamento na Bacia do Rio Piranga, MG, Brasil. Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate, v. 11, n. 2, 2020.
- SANTOS, M. A., CARVALHI, S. M. & ANTONELI, V. Suscetibilidade a Enchentes a partir da Análise de Variáveis Morfométricas, na Bacia Hidrográfica Rio Bonito em Irati -PR Brasil. Universidade federal do Piauí. Revista equador (UFPI). 2016.
- SILVA, Carlos Henrique Crespo da et al. Identificação de Fragilidades Ambientais na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG utilizando Análise Multicritério. 2010.
- SOUZA, M. M; DA COSTA, L. H; DE CARVALHO, D. A. S. Utilização de Ferramentas de

- Geoprocessamento para mapear as Fragilidades Ambientais na Área de Influência Direta da UHE de Belo Monte, no Estado do Pará. Espaço Plural, v. 12, n. 25, p. 73-85, 2011.
- GUERRA, C. B. Expedição Piracicaba: 300 anos depois. Belo Horizonte: SEGRAC., 2001.
- BRAGA, T. Conflito Sócio-Ambiental e Constituição de Agentes Sociais Ambientalistas: um Estudo sobre as Cidades Industriais da Bacia do Rio Piracicaba (MG). Belo Horizonte, 1998.
- GONÇALVES, G. G. G., DANIEL, O., COMUNELLO, É., VITORINO, A. C. T., & ARAI, F. K. Determinação da Fragilidade Ambiental de Bacias Hidrográficas. Floresta, 41, 2011.
- RATCLIFFE, D. A. Criteria for the Selection of Nature Reserves. Advancement of Sciences, 27.pp. 294-296. 1971
- SMITH, P. G. R. e THEBERGE, J. B. A Review of Criteria for Evaluating Natural Areas. Environment Management 10. pp. 715-734. 1986.
- GIMENES, F. B. Q; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de Fragilidade Ambiental Utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP) e Sistema de Informação Geográfica (SIG). simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, v. 16, 2013.
- WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. Sequência (Florianópolis), p. 165-198, 2013.
- RIBEIRO, Cristina Bernardes. A importância dos comitês de bacia na gestão dos recursos hídricos. 2006.
- GUERREIRO, E. M. B. R. Critérios de Uso e Ocupação do Solo em Bacias Hidrográficas Visando a Proteção dos Corpos D'água. 141p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1996.
- ESPÍNDOLA, Evaldo L. Gaeta. et al., A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho. São Carlos: Editora Rima, 188p. 2000.

- CRUZ, L. B. S. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba MG. 2003.
- LATUF, M. O; DE DEUS, F. O. Política Nacional de Recursos Hídricos e a Gestão dos Recursos Hídricos National Water Resources Policy and the Water Resources Management. 2019.
- MOTA, S. Preservação e Conservação de Recursos Hídricos. Rio de Janeiro: ABES, 2ª edição. Editora Rev. e atualizada, 200p. 1995.
- PIO, A. A Água como Fator Crítico ao Desenvolvimento Sustentável. In: THAME, A. C. M. (Org.). A Cobrança pelo Uso da Água. São Paulo: IQUAL, p.227-239. 2000
- FERREIRA, G. L. B. V.; FERREIRA, N B V. Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. XIII SIMPEP-Bauru, SP, Brasil, v. 6, 2006.
- BEDUSCHI FILHO, L. C; ABRAMOVAY, R. Desafios para a gestão territorial do Desenvolvimento Sustentável no Brasil. In: XLI Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural (SOBER). Anais. Juiz de Fora, 2003.
- LORENZI, R. Câmara Técnica do Plano de Bacias. Água 1993-2003 CBH-PCJ. São Paulo, p.113-116. 2003.
- SANTOS, R. F. Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 184 p. 2004.
- FRANCO, G. B; SOUZA, C. M. P.; BETIM, L. S; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA). Geografia (Londrina), Londrina, v. 20, n. 3, p. 071-094. 2011.
- CASTRO, L. I. S. Sistema de Informação Geográfica na Formulação de Indicadores Ambientais para Sustentabilidade dos Recursos Hídricos. Irriga, v. 19, n. 4, p. 655-674, 2014.
- COSTA N, J. F. Elaboração de Mapas de Vulnerabilidade Natural à Erosão como subsídio ao Zoneamento Ambiental em Bacias Hidrográficas com o Uso de Geoprocessamento. Revista Brasileira de Espeleologia, Brasília, v.1, n.1, p.52-60, 2010.

KOBIYAMA, Masato et al. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba:

Organic Trading, 2006. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>  
acesso em: 28 fevereiro 2021.

CRUZ, L. B. S.; Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Uberaba – MG. Tese: Doutorado em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. 2003.

Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce volume II,  
(Consórcio Ecoplan, 2010).

PARH PIRACICABA, 2010. Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO2. (CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME).

Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica do Rio Doce e Planos de Ações para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio doce. Belo Horizonte: IGAM, 2010b. (Consórcio ECOPLAN/LUME. Contrato nº 043/2011).

PEREIRA, E. M. Análise de Conflitos pelo uso da Água Relacionados à Oferta e à Demanda: Bacia do Rio Piracicaba - MG. 2012.

QUEIROZ, J E, N. Técnicas de Geoprocessamento Aplicadas ao Estudo de Bacias Hidrográficas – O caso da Bacia do Rio Piracicaba, 2000.

ROTMANS, J. Tools for Integrated Sustainability Assessment: a two-track approach. The Integrated Assessment Journal, Vancouver, v. 6, n. 4, p. 35–57. 2006.

LANDETA, J. “Current validity of the Delphi method in social sciences,” Technol. Forecast. Soc. Change, vol. 73, no. 5, pp. 467–482. 2006.

CERVO, A. L. e SILVA, R. Metodologia Científica. 6.ed. Prentice Hall, 2006.

GONÇALVES, H. A. Manual de Metodologia da Pesquisa Científica. 2.ed. Avercamp, 2014.

- APARICIO, G. e BASCO, R.; Iturralde, T.; Maseda, A. “An exploratory Study of Firm goals in the Context of Family Firms: An institutional logics perspective,” *J. Fam. Bus. Strateg.*, vol. 8, no. 3, pp. 157–169. 2017.
- MIRAILH, R; e ALBANO, C. S. Estudo Comparativo entre Grupo focal e Delphi para Pesquisas Exploratórias. anais do salão internacional de ensino, pesquisa e extensão, v. 10, n. 2, 2018.
- SANTOS, R. F. Planejamento Ambiental. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil-Unicamp, (Apostila da disciplina IC-755 Planejamento Ambiental). 1995.
- GNATZY, T.; MOSER, R. “Scenario Development for an Evolving Health Insurance Industry in Rural India: INPUT for business model innovation,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 79, no. 4, pp. 688–699. 2012.
- FREITAS F, M. D. Indicadores de Degradação de Cursos d’água em áreas urbanas. 2010. 125 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) UFSC, Florianópolis, 2011.
- POHLMANN, A. e KAARTEMO, V. “Research Trajectories of Service-Dominant Logic: Emergent Themes of a Unifying Paradigm in Business and Management,” *Ind. Mark. Manag.*, vol. 63, pp. 53–68. 2017.
- WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. Delphi: uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo. Cadernos de Pesquisa em Administração, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 54-65. 2000.
- TUROFF, M. e LINSTONE, H. A. The Delphi Method. New York: Addison Wesley Publishing Company Inc., 1975.
- HORTON, R. E. Drainage Basin Characteristics. Trans. American Geophysical Union, 13: 350-361. 1932.
- LIMA, W. P. Análise Física da Bacia Hidrográfica. Disponível em:

[http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%201/Caracteristicas%20fisicas%20da%20bacia\\_foto%20Piracicamirim.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%201/Caracteristicas%20fisicas%20da%20bacia_foto%20Piracicamirim.pdf) >Notas de Aulas: Acesso em julho, 2021.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 943 p. 2004.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 245p. 1975.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia Aplicada á gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 625 pp. 2001.

SUTIL, S. C; GONÇALVES, J, A. C; VIEIRA, E. M. Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental da Bacia do Rio Piracicaba a partir da Aplicação de dois Modelos Metodológicos: Suporte para o Estabelecimento e Proposição de Corredores Ecológicos. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 06, p. 3060-3077, 2020.

STHALER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Trans. American Geophysical Union, 38: 913-920. 1957.

VON SPERLING, E. Afinal, quanta Água temos no Planeta. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 11, n. 4, p. 189-199, 2006.

TUCCI, C. E. M; CLARKE, R. T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: revisão. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

MINELLA, J. P.G; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. Análise Qualitativa e Quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, p. 1306-1313, 2011.

TRICART, J. ecodinâmica. Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambient, 1977.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA); MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE.

Encarte Especial Sobre a Bacia do Rio Doce, Rompimento da Barragem em Mariana/MG (2016). Disponível em < [http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce\\_22\\_03\\_2016v2.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf)>, acessado em agosto de 2021.

CEREDA JUNIOR, A. Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério-críticas e proposta metodológica. 2011.

## 8 APÊNDICE A

# Consulta a especialistas sobre os critérios de fragilidade ambiental da bacia do Rio Piracicaba - MG

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Desenvolvimento: Juliano Marcos da Rocha

Disciplina TCC - Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental

Orientação:

Profa. Livia Cristina Pinto Dias - Departamento de Engenharia Ambiental - Escola de Minas/UFOP

### APRESENTAÇÃO

Esse trabalho tem como objetivo levantar a situação atual das condições ambientais da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba e, assim, contribuir para o planejamento ambiental, à sua recuperação, conservação e preservação com o uso de ferramentas de geoprocessamento.

Situada no estado de Minas Gerais, mais precisamente na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e vale do Rio doce, a bacia hidrográfica do Rio Piracicaba tem o rio Piracicaba como um dos principais cursos d'água da bacia. Esse rio tem a sua nascente localizada no município de Ouro Preto e percorre 241 km até encontrar o rio Doce, na divisa dos municípios de Ipatinga e Timóteo.

Como parte da pesquisa, faz-se necessário a realização de uma consulta à opinião de especialistas sobre a importância de algumas variáveis relacionadas a definição dos critérios que permitam ponderar os efeitos que a decisão pode acarretar a bacia hidrográfica. A ponderação dessas variáveis será desenvolvida a partir da atribuição de valores que representem o grau de importância de cada uma, dentro de seu grupo específico, e de sua relação com as demais variáveis.

O questionário foi desenvolvido de forma que o especialista não disponibilize muito tempo para responde-lo.

Enfatizo que as informações aqui reunidas serão utilizadas unicamente para fins acadêmicos e esclareço que todas as informações serão tratadas e, eventualmente, divulgadas apenas de forma agregada. Ressalta-se que o especialista poderá se abster de julgamento, bem como tecer comentários em campo específico.

Solicitamos que a resposta desse questionário seja enviada até o dia 20/08/2021 às 23h.

Agradeço a sua colaboração e me coloco a disposição para quaisquer esclarecimentos que se façam necessários. Ressalto a importância de sua participação para a continuidade dos trabalhos e enriquecimento da pesquisa.

Juliano Rocha - [juliano.rocha@aluno.ufop.edu.br](mailto:juliano.rocha@aluno.ufop.edu.br)

---

\*Obrigatório

## 1. Email address \*

Definição  
dos critério  
interferentes  
na  
fragilidade  
ambiental da  
bacia do Rio  
Piracicaba

Ross (1994) propôs uma metodologia denominada Fragilidade Empírica dos Ambientes. Nesse contexto, fragilidade corresponde as situações que possam levar a introdução de 'perigos' ou a efeitos adversos. Assim, o meio ambiente possui maior ou menor fragilidade relacionada às modificações inseridas pelo ser humano (Spör e Ross, 2004).

A bacia hidrográfica é influenciada diretamente por diversos fatores naturais e antrópicos. Para esse estudo, considerou-se os seguintes critérios: (i) Uso e ocupação do solo; (ii) Declividade do terreno; (iii) Tipo de solo; (iv) Pluviometria e (v) Litologia.

Para a realização de análises multicritério procurou-se agrupar todos os valores em uma escala comum, para que possam ser ponderados. Neste trabalho, optou-se pela atribuição dos valores em uma escala variando de 0 a 100, sendo que o valor 0 implica em importância nula da classe e o valor 100 implica em uma importância máxima da classe, ou seja, a classe com máxima importância possui maior potencial numa bacia hidrográfica enquanto que a classe com importância nula não possui potencial direto ou seu potencial é desprezível.

Assim, pede-se para avaliar as diferentes classes estabelecidas em cada critério, atribuindo valores que variam de 0 a 100, onde:

- \* 0 - Implica em potencial nulo na bacia hidrográfica
- \* 100 - Implica em potencial máximo na bacia hidrográfica

Os critérios devem possuir classes com valores máximos e classes com valores próximos ao mínimo, não sendo necessariamente zero, visto que classes com valores nulos indicariam ausência dessa classe na análise.

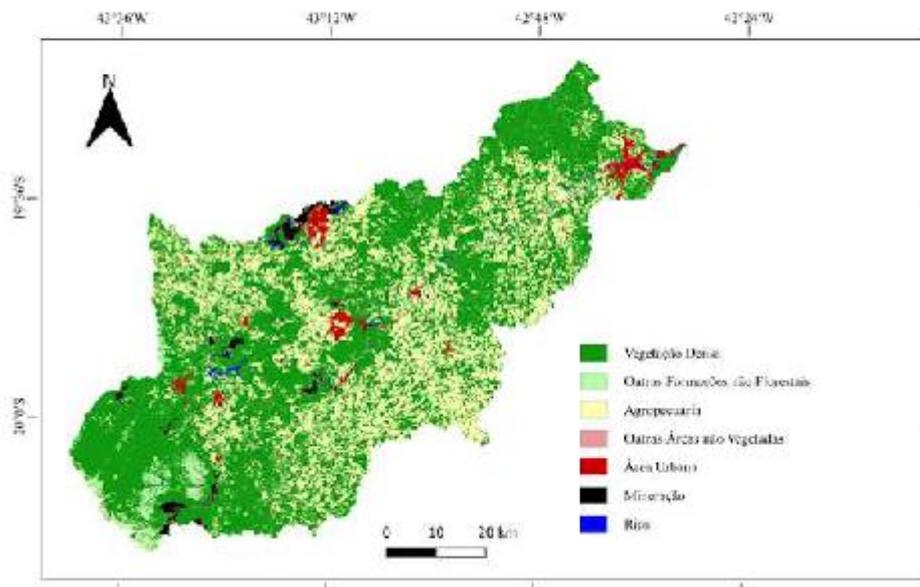
SPOR, C; ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. GEOUSP - Espaço e Tempo, n 15, p. 39-49, 2004.

ROSS, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, p. 24 - 30, 1994.

Uso e  
Ocupação do  
Solo

O uso do solo é indicador de áreas que sofreram com interferência humana e/ou tem importância econômica, social e ambiental.

Figura 1 - Uso e Ocupação do Solo na Bacia do Rio Piranga de acordo com Mapbiomas coleção 5. O mapa foi reclassificados levando em consideração áreas em comuns.



Caso você fosse atribuir valores que indicam a interferência do uso do solo na fragilidade ambiental, qual valor entre 0 e 100 você atribuiria a cada uma das seguintes classes?

2. Vegetação densa - (Floresta Natural, Formação Florestal e Savânica, Mangue e Floresta Plantada). \*

---

3. Outras formações não florestais - (Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre e Apicum). \*

---

4. Agropecuária - (Pastagem, Agricultura, Lavouras Temporárias, Perene e Mosaico de Agricultura e Pastagem). \*

---

5. Outras áreas não vegetadas - (Praia, Duna e Outras Áreas Não Vegetadas). \*
- 

6. Área Urbana \*
- 

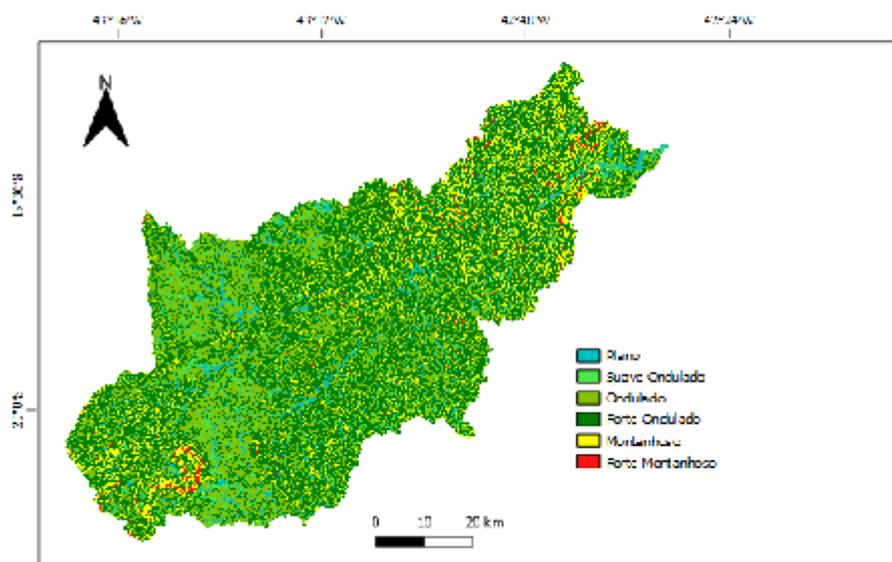
7. Mineração \*
- 

8. Rios - (Aquicultura, Rio, Lago e Oceano). \*
- 

#### Declividade do Terreno

A declividade é importante porque quanto maior seu índice, maior o risco de erosão e menor a propensão para o uso e ocupação.

Figura 2 - Declividade na bacia do Rio Piracicaba de acordo com Embrapa (1979)



9. Caso você fosse atribuir valores que indicam a interferência da declividade do solo na fragilidade ambiental, qual valor entre 0 e 100 você atribuiria a cada uma das seguintes classes?

---

10. Plano (0-3%) \*

---

11. Suave Ondulado (3-8%) \*

---

12. Ondulado (8-20%) \*

---

13. Forte Ondulado (20-45%) \*

---

14. Montanhoso (45-75%) \*

---

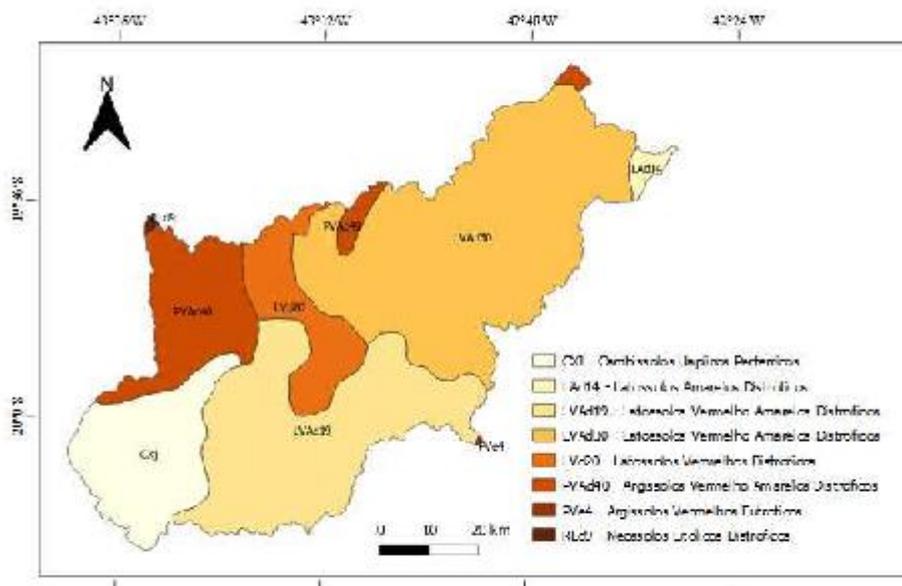
15. Forte Montanhoso (>75%) \*

---

Tipo de solo

O tipo de solo está relacionado ao movimento da água, a suscetibilidade a erosão e a fragilidade ambiental.

Figura 3 - Tipo de solo de acordo com Embrapa (2011)



16. Caso você fosse atribuir valores que indicam a interferência do tipo de solo na fragilidade ambiental, qual valor entre 0 e 100 você atribuiria a cada uma das seguintes classes?

---



---



---



---



---

17. Cambissolos \*

---

18. Latossolos \*

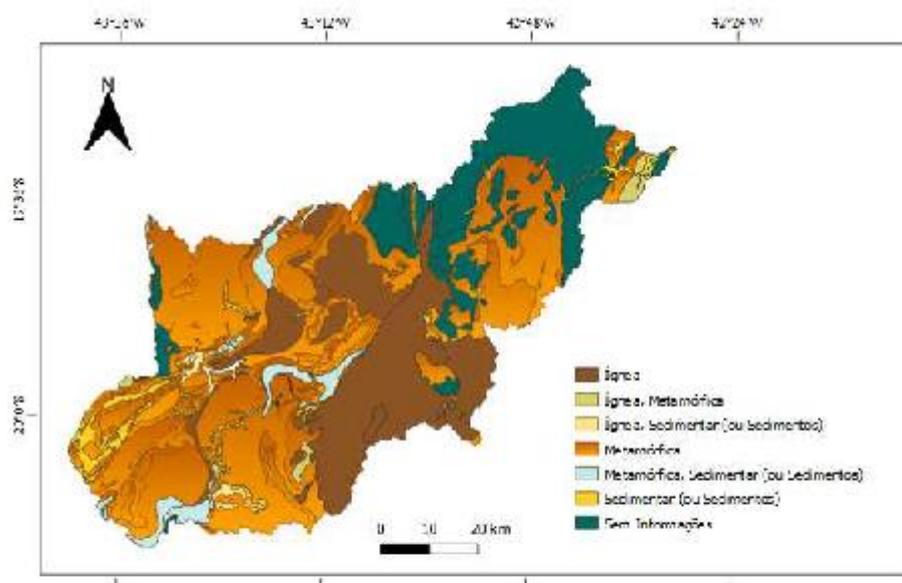
---

## 19. Argissolos \*

## Litologia

A Litologia está relacionado com os tipos de rochas, que possui influência direta no escoamento superficial e na composição do solo.

Figura 4 - Tipos de Rochas de acordo com CPRM/UFV.



20. Caso você fosse atribuir valores que indicam a interferência do tipos de rochas na fragilidade ambiental, qual valor entre 0 e 100 você atribuiria a cada uma das seguintes classes?

---



---



---



---



---

21. Ígneas \*

---

22. Metamórficas \*

---

23. Sedimentares \*

---

#### Pluviometria

Os índices pluviométricos são considerados representativos da energia potencial, ou seja, que quanto maior o valor da intensidade pluviométrica maior será as condições para fragilidade, e menores intensidade pluviométrica menor será as condições para fragilidade.

A região possui climas bem uniforme com representatividade de clima subtropical em quase todas as regiões, ou seja, inverno bem secos e com menor intensidade de chuvas, enquanto no verão maior intensidade de chuvas.

#### Ponderação do Critérios

24. Dentre os critérios adotados como intervenientes na fragilidade ambiental, indique, caso haja, o(s) critério(s) que você NÃO considera relevantes para a análise.

*Marque todas que se aplicam.*

- Uso e Ocupação do Solo
- Declividade do Terreno
- Tipo de Solo
- Pluviometria
- Litologia

25. Caso tenha removido algum critério, justifique.

---

---

---

---

---

26. Você acrescentaria algum critério que não foi incluído nesse estudo no qual você acha que é importante?

---



---



---



---

Após colocar todos os critérios na mesma escala, é realizada a determinação dos pesos de cada um.

Utilizando o método AHP, o qual determina a prioridade de cada fator por meio de comparação par a par, defina, segundo a Tabela 1, a relação entre os critérios.

Tabela 1 - Escala de julgamento de importância do método AHP.

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
extrema- mente	bastante	muito	pouco	igual	pouco	muito	bastante	extrema- mente
<b>MENOS IMPORTANTE</b>					<b>MAIS IMPORTANTE</b>			

Atribua a cada critério um valor de importância sendo que quanto maior o valor, mais importante. Dois critérios com o mesmo valor significa que eles tem a mesma importância um em relação ao outro.

Exemplo de aplicação da escala de julgamento de importância. Caso você considere o uso do solo tem a mesma importância que a declividade do terreno, marque o peso 1. Caso você considere o tipo de solo é um fator muito mais importante que declividade do terreno, marque o peso 5. E assim por diante... Números pares (2, 4, 6 e 8) representam importâncias intermediárias entre os números pares.

27. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, o USO E O OCUPAÇÃO DO SOLO possui \_\_\_\_\_ do que a DECLIVIDADE. \*

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5	6	7	8	9			
mesma importância		<input type="radio"/>	importância absoluta								



32. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, a DECLIVIDADE possui \_\_\_\_\_ do que a PLUVIOMETRIA. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
mesma importância	<input type="radio"/>	importância absoluta								

33. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, a DECLIVIDADE possui \_\_\_\_\_ do que a LITOLOGIA. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
mesma importância	<input type="radio"/>	importância absoluta								

34. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, o TIPO DO SOLO possui \_\_\_\_\_ do que a PLUVIOMETRIA. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
mesma importância	<input type="radio"/>	importância absoluta								

35. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, o TIPO DE SOLO possui \_\_\_\_\_ do que a LITOLOGIA. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
mesma importância	<input type="radio"/>	importância absoluta								

36. Diante do objetivo de estabelecer o efeito sobre a bacia hidrográfica, a PLUVIOMETRIA possui \_\_\_\_\_ do que a LITOLOGIA. \*

*Marcar apenas uma oval.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
mesma importância	<input type="radio"/>	importância absoluta								