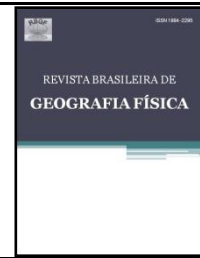




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Socio-environmental Vulnerability Analysis of the Piracicaba River Basin as an environmental indicator for the management of water resources

Lucas Cunha Guerra¹, Eliane Maria Vieira²

¹ Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (Unfei). Instituto de Ciências Puras e Aplicadas (ICPA), Rua Irmã Ivone Dromond, 200, CEP: 35903-087, Itabira (MG), Brasil, Tel.: (+55 31) 998777764, lguerra91@gmail.com (autor correspondente). ² Doutorando Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Instituto de Ciências Puras e Aplicadas (ICPA), Rua Irmã Ivone Dromond, 200, CEP: 35903-087, Itabira (MG), Brasil, Tel.: (+55 31) 38390855, elianevieira@unifei.edu.br.

Artigo recebido em 06/12/2021 e aceito em 06/06/2022

ABSTRACT

The demographic growth makes the demand for spatial and for natural resources to increase exponentially, the lack of planning potentializes urban problems and puts at risk areas of great environmental importance. Studies of socio-environmental vulnerability consider natural and anthropic aspects, are preceded by a classification and organization of elements that make up the portion of space to be analyzed. The Piracicaba River sub-basin is fully inserted in the territory of Minas Gerais. They highlight in their region economic activities such as mining, steel and forestry. Such a development has been causing impacts on the quantity and quality of water in the basin. Due to the economic importance of the region, it is necessary to analyze multivariate and qualitative parameters demonstrating the situation of the area, providing subsidies for proposing actions that minimize impacts and protect places with a high degree of conservation. In this context, this work aims, through GIS tools, to use a methodology that correlates environmental and social parameters, classifying the socio-environmental vulnerability of the Piracicaba River watershed. The methodology used allowed to identify areas with similar vulnerability, the region of the source of the Piracicaba River had the greatest environmental vulnerabilities, the municipalities Timóteo and Ipatinga had the greatest social and socio-environmental vulnerabilities. Keywords: Fragility; Sustainability; Geoprocessing.

Análise de Vulnerabilidade Socioambiental da bacia do rio Piracicaba como indicador ambiental para a gestão dos recursos hídricos

RESUMO

O crescimento demográfico faz com que a demanda espacial e por recursos aumente de forma exponencial, a falta de planejamento potencializa os problemas urbanos e põem em risco áreas de grande importância ambiental. Estudos de vulnerabilidade socioambiental consideram diversos aspectos naturais e antrópicos, são precedidos por uma classificação e organização de elementos que compõem a porção do espaço a ser analisada. A sub-bacia do rio Piracicaba, afluente do Rio Doce, objeto deste estudo, está totalmente inserida no território de Minas Gerais. Se destacam em sua região atividades econômicas de extrema importância para a economia mineira e do país, podendo destacar a extração de recursos minerais, as indústrias siderúrgicas, e a silvicultura associada à indústria de carvão e celulose. Tamanho desenvolvimento da região vem acarretando impactos na quantidade e qualidade de água na bacia. Sendo assim devido à importância econômica da região e sua riqueza de recursos naturais, se faz necessário realizar análises multivariáveis e em parâmetros qualitativos demonstrando a real situação da área, e fornecer subsídios para a proposição de ações que possam minimizar tais impactos bem como proteger os locais que ainda se encontram em alto grau de conservação. Neste contexto este trabalho tem como objetivo através das ferramentas em SIG, utilizar uma metodologia que correlacione diversos parâmetros ambientais e sociais, e assim classificar a vulnerabilidade socioambiental da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba. A metodologia empregada permitiu identificar áreas com vulnerabilidade semelhante, a região da nascente do rio Piracicaba apresentou as maiores vulnerabilidades ambientais e os municípios Timóteo e Ipatinga apresentaram as maiores vulnerabilidade social e socioambiental.

Palavras-chave: Fragilidade; Sustentabilidade; Geoprocessamento.

Introdução

As questões relacionadas às ocupações urbanas têm chamado atenção e pesquisas em diferentes áreas do conhecimento. No entanto, dado o grande número e complexidade das variáveis envolvidas, essas questões devem ser abordadas de forma integrada (Sokoloski, 2020).

Diversas formas de produção geoespacial desempenham fortes pressões sobre os espaços naturais, na maioria das ocasiões sem levar em conta a vulnerabilidade de grupos sociais e sistemas naturais, por vezes majorando as condições de risco enfrentadas por parcelas da população. Nesse sentido, as bacias hidrográficas urbanas são palco de muitas dificuldades socioambientais que impactam negativamente na qualidade de vida da população que nelas vive (Sokoloski, 2020).

Segundo Barcelos e Oliveira (2008) na maioria das regiões brasileiras, a ocupação urbana aconteceu de forma acelerada e desordenada, devido a carência de planejamento. O crescimento demográfico faz com que a demanda espacial e por recursos naturais aumente de forma exponencial, a falta de planejamento potencializa grandes problemas urbanos e põem em riscos áreas de grande interesse ambiental. Essa falta de planejamento ao uso e ocupação do solo é um fator agravante ao processo de fragmentação florestal de um ambiente (Magalhaes et al., 2020).

No que tange as bacias hidrográficas, pode-se compreendê-las como unidades espaciais para o planejamento e gestão ambiental, pois apresenta os sistemas ecológicos e hidrológicos de forma integrada, sendo os cursos d'água são um dos principais elementos da paisagem, responsáveis pela conformação da superfície terrestre (Silva et al., 2021).

Nesse sentido, uma bacia hidrográfica é construída como um sistema em que as relações entre os diferentes componentes formam uma paisagem única, marcada por dinâmicas específicas. Ressalta-se que esses componentes não se limitam aos elementos naturais, mas também envolvem a sociedade, por meio de suas ações (processos produtivos, relações intangíveis e condições sociais, econômicas e institucionais) o reflexo da dinâmica hidrológica e outros processos relacionados (Sokoloski, 2020).

Assim, uma bacia hidrográfica é a unidade mais apropriada para se estudar o comportamento de um sistema em que as variáveis naturais e antrópicas estão sempre interagindo. Tal interação

requer uma visão sistêmica e integradora que seja capaz de interrelacionar os diferentes elementos (naturais, econômicos, sociais e culturais) (Teixeira et. al, 2021).

As bacias hidrográficas urbanas brasileiras, em sua maioria sofreram com a falta de um delineamento capaz de preservar fatores do meio ambiente importantes, contribuindo assim para o aumento da fragilidade ambiental e escassez de recursos (Teixeira et al., 2009). Os impactos causados pela exploração dos recursos naturais, variam conforme o grau de resistência a modificações que cada ambiente possui, assim, a vulnerabilidade ambiental pode variar em função das características do meio (Dalla-Corte et al., 2015).

Os estudos em bacias hidrográficas são de extrema importância para o entendimento da dinâmica da água e suas consequências ambientais, em razão de que proporcionam uma visão completa do comportamento do ambiente do solo, água e vegetação, além dos efeitos do uso e manejo do solo, na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico (Avazani, 2005). A importância do planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é fundamental para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo assim, sua integridade e equilíbrio ambiental (Gardiman Junior et al., 2012).

A falta de planejamento exploratório para as diferentes formas de posse territorial é a não consideração das potencialidades e limitações naturais de determinado ambiente levando à perda de serviços sócio sistêmicos (Almeida et al., 2020).

Estudos de fragilidade ambiental consideram aspectos naturais e antrópicos e são precedidos por uma classificação ou organização dos elementos que compõem a porção do espaço a ser estudada, considerando aspectos naturais e antrópicos. Sendo assim, o estudo de vulnerabilidade dos ambientes, passa pela análise de seus componentes, como o substrato rochoso, solo, relevo, vegetação e grau de uso antrópico (Cruz et al., 2010).

Já os estudos socioambientais, além dos aspectos abordados nos estudos ambientais, incorporam aspectos sociais, a fim de se identificar as regiões com distintas vulnerabilidades sociais.

Tais estudos se baseiam na estruturação de um índice que segundo Malta et al. (2017), podem ser definidos como uma medida, na maioria das vezes quantitativa, que é utilizada para substituir,

quantificar ou operacionalizar um conceito abstrato, tornando-se ferramentas bastante eficazes para subsidiar atividades de planejamento e formulação de políticas públicas.

A utilização de tecnologias como Sistemas de Informações Geográficas-SIG, se torna muito eficaz para os estudos de cunho ambiental, possibilitando uma análise fácil e ágil, podendo mensurar a vulnerabilidade do local mediante ação humana ou até mesmo diante mudanças naturais, de forma confiável. Desta forma, a utilização da ferramenta permite um planejamento adequado em áreas de risco ambiental (Costa et al. 2006, Martins et al., 2019; Pagan et al., 2020).

Diversos estudos vêm empregando os SIG's para o desenvolvimento de estudos de Vulnerabilidade sócio-ambiental, definindo os indicadores mais representativos para cada região, como os desenvolvidos por Reis et al. (2020), desenvolvido para a bacia do rio Mané Dendê, em Salvador - Bahia, Vasconcelos et al. (2019), desenvolvido para a cidade de Natal/RN, Carreço e Castiglioni (2018), para o município de Vitória-ES e em nível internacional podemos citar os trabalhos de Long e Steel (2020) realizado para uma bacia hidrográfica na província de Phetchaburi/Tailândia, Gupta et al. (2019), na Índia, Alves et. al (2022) no município do Cadaval em Portugal.

De acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997) a bacia hidrográfica é a unidade de planejamento e de gestão dos recursos hídricos. Em uma gestão efetiva deve ser considerada de extrema importância a identificação e prevenção das principais fontes de poluição, e a obtenção de dados para subsidiar as tomadas de decisões.

Assim, entender o grau de vulnerabilidade de uma bacia é requisito necessário para realizar um planejamento ambiental eficiente a fim de se minimizar os impactos no meio ambiente (Nascimento et al., 2016; Ribeiro et al. 2016) e associando à vulnerabilidade social, pode-se concentrar os esforços em regiões onde há uma maior fragilidade da população.

A sub-bacia do rio Piracicaba, afluente do Rio Doce, local de estudo deste trabalho, está totalmente inserida no território de Minas Gerais, abrange uma área de 5.465,38 Km² e pode ser caracterizada pelas atividades econômicas de extração de recursos minerais, siderurgia e silvicultura associada a indústria de carvão e celulose, em seu território abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina e é uma das importantes regiões para a economia mineira

(CBH-DOCE, 2010).

Esta sub-bacia abrange 21 municípios, total ou parcialmente inseridos em seus limites, sendo a área total da bacia do rio Piracicaba igual a seis mil km² (Silva et al., 2017).

Desta forma devido a importância econômica da região e sua riqueza de recursos naturais, para a manutenção dos ciclos ambientais, se faz necessário realizar análises multivariáveis e em parâmetros qualitativos tanto ambientais como sociais, demonstrando assim a real situação da área.

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de quantificar a vulnerabilidade socioambiental da região da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba, utilizando ferramentas de SIG, definindo índices que relacionam os fatores Ambientais e sociais com a atual situação da bacia hidrográfica.

Métodos

Área de Estudo

De acordo com o instituto mineiro de Gestão de Águas (IGAM, 2020), a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba possui uma população estimada em 687.851 habitantes, e uma área de drenagem de 5.706 km². Sua área abrange 21 municípios e destes 17 tem sua sede administrativa localizada na área da bacia (figura 1).

Está inserida totalmente no estado de Minas Gerais, na Bacia do Médio Doce, e é composta pelas sub-bacias do rio do Peixe e do rio Santa Bárbara em sua margem esquerda, e pela sub-bacia do rio da Prata em sua margem direita. O principal curso d'água da região é o rio Piracicaba, sua nascente se localiza no município de Ouro Preto, a 1680 metros de altitude, e percorre uma extensão de 241 Km até a divisa dos municípios de Timóteo e Ipatinga, onde se junta ao rio Doce.

Quanto à vegetação, a bacia desenvolve-se predominantemente sobre o bioma da Mata Atlântica, e possui parte de sua área sobre o bioma cerrado. Segundo o Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão da Bacia do Rio Piracicaba (2010) 36% da área total da bacia são ocupadas por florestas naturais e 8% da área está destinada a culturas de reflorestamento, dando destaque ao plantio de eucalipto e pinus suprimindo a alta demanda industrial na região. O plano também destaca que 60% da área da bacia consiste em sistemas antropizados e 40% em estágio natural.

Em relação ao clima da bacia do Rio Piracicaba, é considerado de transição, encontra-se

na bacia três variações climáticas: Clima AW ou tropical, clima Cwa ou mesotérmico de verões quentes e o clima Cwb ou mesotérmico de verões brandos (Maciel et al., 2019).

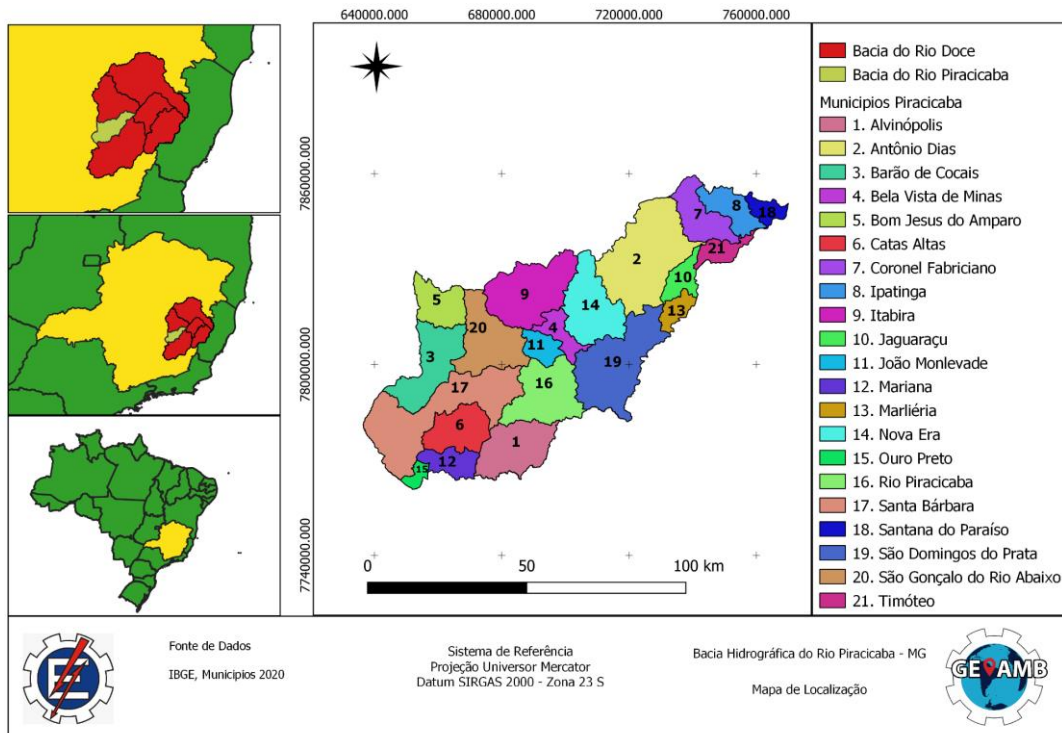


Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Piracicaba.

Na região da bacia são encontrados predominantemente, os tipos de solos: Argissolo, Cambissolo e Latossolos, com grande potencial de erodibilidade, o tipo de solo Argissolo apresenta o maior risco e os Latossolos apresentam o menor risco. O relevo é caracterizado por ser acidentado nas partes mais altas da bacia e apresenta vales encaixados e vertentes ravinadas (CBH-DOCE, 2010; IGAM, 2020).

A bacia encontra-se na área de influência do Parque Estadual do Rio Doce, e apresenta um conjunto expressivo de atividades econômicas, podendo destacar a produção de carvão e celulose, a indústria de siderurgia e a extração de recursos minerais. Atividades com alto potencial de impactos ambientais. As áreas urbanas são de expressivas concentrações e pouco planejadas. Possui um massivo reflorestamento de monocultura de eucaliptos. Abriga o maior complexo siderúrgico da América Latina. Grandes empresas de mineração atuam na bacia. Além disto as indústrias de carvão e celulose são favorecidas pela matéria prima fornecida por empresas de reflorestamento que cultivam Eucalipto na região (CBH-DOCE, 2010).

Em relação ao enquadramento de acordo com a DN-COPAM 9/1994 (COPAM, 1994), a bacia do rio Piracicaba está totalmente enquadrada na classe 2. Assim, na bacia as águas destinadas ao abastecimento doméstico são fornecidas após tratamento convencional, podendo ser empregadas para recreação de contato primário (esqui-aquático, natação e mergulho), irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Contudo, considerando os dados resultantes da simulação feita por Silva, Faria e Moura (2017), a situação de qualidade da bacia do Rio Piracicaba, encontra-se em situação crítica, uma vez que a maioria dos cursos d'água constituintes da bacia apresentam a qualidade da água compatíveis com a classe 4, as concentrações simuladas de acordo com os lançamentos difusos e pontuais estão acima do que seria ideal para a bacia (Silva et al, 2017).

Assim, estudos que apresentem uma visão mais integrada desta bacia são de fundamental importância para que a gestão possa ser realizada de forma efetiva e com sustentabilidade.

Procedimentos metodológicos

Em relação ao conceito de vulnerabilidade, é necessário ressaltar que este é um termo utilizado em diversas áreas do conhecimento. Vulnerabilidade natural, ambiental, social e socioambiental são expressões deparadas nas mais diversas literaturas. Em contrapartida, vulnerabilidade ambiental, especificamente, é entendida pela capacidade de resposta do meio aos efeitos incitados pelas ações humanas. Variando, apenas, conforme suas características dessas incursões que afetam diretamente o equilíbrio do meio, assim como sua qualidade ambiental (Sokoloski, 2020).

Pensando nisso, neste trabalho foram empregadas duas metodologias abordando aspectos ambientais, tendo como foco a vulnerabilidade à erosão, que se constitui como um grande problema na bacia, já constatado em diversos estudos como os de Aires et al. (2017), CBH-DOCE (2010), IGAM (2020). E outra abordando os aspectos sociais a fim de, com a integração destas chegar-se ao levantamento da vulnerabilidade socioambiental da bacia.

Os processos erosivos podem sofrer influências de fatores naturais como declividade, cobertura vegetal, tipo do solo, comprimento da vertente, precipitação, entre outros, ou de fatores antrópicos, como o uso do solo (Reis et al. (2020), Reis et al., 2017; Silva et al., 2017).

Assim, foi elaborado o mapa de fragilidade ambiental, tendo por base a metodologia de Crepani et al. (2001). Características pedológicas, geomorfológicas, climáticas, geológicas e vegetativas representam os fatores de vulnerabilidade e a análise baseia-se em processamento, classificação e integração destas características. Os valores dos índices para a suscetibilidade à erosão são obtidos por meio de álgebra de mapas, e a partir do equacionamento pela média aritmética dos fatores.

Para a avaliação de características vegetativas, foi utilizado como fator de análise a cobertura vegetal de cada uso da área da bacia. Sendo neste trabalho empregado o mapa de uso e ocupação do solo do mapeamento da coleção 5.0 do MapBiomas do ano de 2019, o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica, foi classificado seguindo a metodologia, a partir de índices embasado na potencialidade a perda de solo do uso avaliado.

Para o índice de vulnerabilidade à erosão ao fator Geomorfológico, faz-se necessário analisar individualmente três fatores sendo divididos em 4

índices: dissecação do relevo, densidade de drenagem declividade, e amplitude altimétrica (Crepani et al. 2001).

Para caracterizar a declividade, e quantificar em parâmetros de vulnerabilidade, serão consideradas a angulação do relevo tendo em vista seu limite superior, sendo que angulações superiores a 45° favorecem a morfogênese e ocorre a exposição do material rochoso, portanto os índices serão agrupados e tabelados seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001).

A declividade da área foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), Alos Palsar, com resolução espacial de 12.2 metros. Utilizando a ferramenta '*native.slop*'. Os intervalos de classes utilizados são apresentados na tabela 01, se relacionam principalmente, aos processos erosivos e movimentos de massa.

Tabela 01 - Classes de declividades e respectivos graus de vulnerabilidade

Vulnerabilidade	Angulação	Classificação	Índice
Alta	>75°	Escarpado	3,0
Média Alta	45° - 75°	Montanhoso	2,5
Média	20° - 45°	Forte Ondulado	2,0
Média Baixa	8° - 20°	Ondulado	1,5
Baixa	0° - 3°	Escarpado	1,0

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001)

A representação da amplitude altimétrica, é definida através da diferença entre os pixels de maior e menor valor em cada sub-bacia. A classificação dos valores é feita quantitativamente, tendo em vista a energia potencial disponível em cada região. Nas regiões com maiores amplitudes, as precipitações pluviais, sofrerão um maior deslocamento devido a maior diferença altimétrica, isto faz com que em seu percurso entre o ponto mais alto e o mais baixo, sofra mais interferências da energia cinética, e consequentemente apresentarão um maior potencial em erodir o solo.

Através de uma intercessão de camadas vetoriais entre as sub-bacias geradas, e a linha que representa os corpos hídricos, é possível obter a densidade de drenagem. A relação entre a área de drenagem e o comprimento do canal é estipulada através do cálculo SIG na ferramenta *Calculadora Raster*. Os valores calculados são relacionados com o valor de índice adaptado com base na

classificação qualitativa de Florenzano (2008), que classifica a densidade de drenagem como muito baixa (menor que 0,5 km), baixa (entre 0,5 e 3,0 km), média (entre 3,0 e 6,0 km) alta (entre 6,0 a 10 km) e muito alta (maior que 10 km). Os índices para o subfator de densidade de drenagem, foram reclassificados através da ferramenta ‘*native.reclassifybytable*’ e seguem uma relação qualitativa conforme a Tabela 02.

Tabela 02: - Índices de suscetibilidade à erosão para o fator densidade de drenagem.

Densidade de Drenagem (Km)	Índice de Vulnerabilidade
<0,125	1,0
0,125 - 1,75	1,5
1,75- 4,8	2,0
4,8 - 10	2,5
>10	3,0

Fonte: Adaptada de Florenzano (2008).

Por fim, para relacionar os três itens e classificar o fator geomorfológico, por meio de álgebra de mapas em SIG, é calculado o índice de suscetibilidade a erosão seguindo a equação 1:

$$G = \frac{(Gd+A+D)}{3} \quad (1)$$

Onde:

- G: Vulnerabilidade Geomorfológica;
- Gd: Índice dissecação do relevo;
- A: Amplitude Altimétrica;
- D: Declividade;

Para a análise da vulnerabilidade em relação ao tipo de solo foi editado um mapa pedológico utilizando os dados disponibilizados pela EMBRAPA fornecidos na escala de 1:500.000, recortado para a área da bacia. A metodologia de Crepani et al. (2001), prevê que a vulnerabilidade à erosão varia de acordo com o nível de maturidade do solo, considerando o grau de desenvolvimento do mesmo. Para quantificar em uma escala crescente o grau de vulnerabilidade de 1 a 3. Sendo que solos mais desenvolvidos e profundos são considerados menos suscetíveis a

erosão, enquanto solos mais jovens e pouco desenvolvidos sofrem um maior risco de sofrer o processo erosivo.

Para a análise da vulnerabilidade correspondente à geologia existente na bacia, seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001), o nível de ligação molecular (coesão) de cada tipo de rocha define as suas características para o processo erosivo. Em rochas pouco coesas prevalecem os processos erosivos (morfogênese) enquanto em rochas bastante coesas permanecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese). Características como a resistência das rochas, grau de coesão das partículas constituintes da mesma e sua denudação permitem atribuir valores empíricos para analisar o fator geológico.

Em uma escala numeral, valores de 1 a 3 caracterizam a vulnerabilidade à erosão pelo fator geológico, sendo que valores próximos a 3 caracterizam rochas com maior propensão ao processo de morfogênese, enquanto valores mais próximos a 1 indicam rochas com maiores potenciais de pedogênese.

Para a obtenção do mapa geológico foram utilizados os dados obtidos através do site IDE-SISEMA na aba de Geologia e Recursos Minerais e posteriormente recortado para a área da bacia e atribuindo os valores de vulnerabilidade.

O fator climático foi caracterizado através do mapa de erosividade causada pela chuva, gerado a partir de uma série histórica de trinta anos de dados pluviométricos (de 01/01/1990 à 31/12/2020) obtidos junto ao portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), foram analisadas 05 estações distribuídas na área da bacia.

Após a coleta de todos os dados disponíveis, foi calculado a média mensal e anual de pluviosidade para cada estação, posteriormente foi empregado o coeficiente de chuvas proposto por Founier (1956, apud Gomes et al., 2019) e modificado por Lombardi Neto e Moldenhauer (1977, apud Gomes et al., 2019). (Equação 02)

$$EI = \frac{p^2}{P} \quad (2)$$

Onde:

- EI: média mensal do índice de erosão ou coeficiente de chuva,
- p: precipitação média mensal, mm,
- P: precipitação média anual, mm.

A erosividade média mensal, dada em MJ ha⁻¹ h⁻¹, foi obtida por meio da Equação 3, proposta por Silva (1997, apud Gomes et al., 2019).

$$EI30 = 216,15 + 30,69EI \quad (3)$$

Onde: EI30 é a média mensal do índice de chuva obtido através da Equação 2.

Por fim, o índice de erosividade anual das chuvas (R) expressa o potencial da chuva em causar erosão em um solo sem cobertura vegetal é representado a partir do somatório dos valores obtidos de EI30, demonstrado na Equação 4 (Martins et al., 2018).

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI30 \quad (4)$$

Onde: “i” e “j” indicam os doze meses do ano.

Posteriormente, os valores obtidos foram interpolados para a bacia em estudo por meio do método *Inverse Distance Weighting* (IDW), que, segundo Ajaj et al. (2018) é um dos métodos mais comuns de interpolação, trabalhando com a previsão de valores desconhecidos de um local por meio da medição de valores próximos. Posteriormente por meio da ferramenta ‘*native.reclassifybytable*’ os valores foram reclassificados de acordo com o grau de vulnerabilidade apresentado na Tabela 3.

Tabela 03 - Grau de vulnerabilidade atribuído à erosividade pluviométrica

Erosividade (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Grau de Vulnerabilidade
R < 2450	1
2450 < R < 4900	1,2
4900 < R < 7350	1,8
7350 < R < 9810	2,4
R > 4900	3

Fonte: Adaptado de Martins et al. (2018) e Ross (1994).

O mapa de fragilidade ambiental foi elaborado a partir da integração dos valores de vulnerabilidade atribuídos às variáveis analisadas e calculado uma média aritmética entre elas, por intermédio da ferramenta “*raster.Calculator*”, considerando o mesmo peso para cada uma. O mapa foi desenvolvido em formato matricial e este

foi integrado com o mapa de fragilidade social desenvolvido seguindo a metodologia de Fritzsche et al. (2014), descrita a seguir.

O Índice de Vulnerabilidade Social, foi obtido através de oito parâmetros agrupados em seis indicadores que foram extraídos do Censo Demográfico de 2010 - (IBGE), permitindo definir setores censitários como unidades de área para o mapeamento deste índice (Marques et al., 2017).

Para padronizar os dados censitários, os indicadores de vulnerabilidade foram reescalados de 0 a 1, correspondendo a mínima e máxima vulnerabilidade para cada parâmetro, os resultados, conforme mostra a equação 5, foram ponderados pelo Índice de Desenvolvimento Humano de cada município na área da bacia, caracterizando assim a vulnerabilidade social (Fritzsche et al., 2014).

$$IS = \frac{Dd+Nm+Mn+Txdp+TxA+Txrc}{IDMH_{municipal}} \quad (5)$$

Onde:

- IS: Índice de vulnerabilidade social;
- Dd: Densidade demográfica;
- Nm: Número de moradores por domicílio;
- Mn: Média de moradores por domicílio;
- Txdp: Soma da proporção da população de pessoas de até 12 anos e de 65 anos em diante;
- TxA: Proporção de pessoas analfabetas acima de 12 anos;
- Txrc: Soma da proporção dos responsáveis sem rendimento e com rendimento de até 1 salário mínimo.

Pela técnica dos *Quantis*, o índice de vulnerabilidade obtido foi classificado em cinco classes sendo elas baixa, média baixa, média, média alta e alta (Marques et al., 2017).

Os parâmetros de vulnerabilidade social, são escolhidos tendo por base o Capítulo II, Art. 6º da constituição da República Federativa do Brasil (CF) de 5 de outubro de 1988, que destaca os direitos sociais e apoiados na Declaração Universal de Direitos Humanos (DUDH), adotada e proclamada pela Assembleia Geral das Nações Unidas, que destaca direitos sociais conforme observados na tabela 04 que os relaciona com os resultados da pesquisa do IBGE.

Tabela 04 - Parâmetros Sociais semelhantes entre CF e a DUDH relacionados com os resultados do Censo Demográfico

CF	DUDH	Parâmetro Social
Educação	Educação	Proporção de pessoas analfabetas acima de 12 anos;
Saúde	Saúde	Soma da proporção da população de pessoas de até 12 anos e de 65 anos em diante;
Moradia	Propriedade	Número de moradores por domicílio; Média de moradores por domicílio;

Foi realizada uma compilação dos critérios semelhantes destacados pelas duas diretrizes, e a seleção dos critérios abordados foi realizada pela análise da disponibilidade de dados confiáveis. O objetivo foi considerar os atributos presentes e considerá-los como essencial para a análise social da bacia.

Resultados e discussões

A figura 02 mostra os resultados obtidos para o mapeamento das temáticas dos fatores pedológicos, geomorfológicos e climáticos encontrados no território da bacia do Rio Piracicaba - MG.

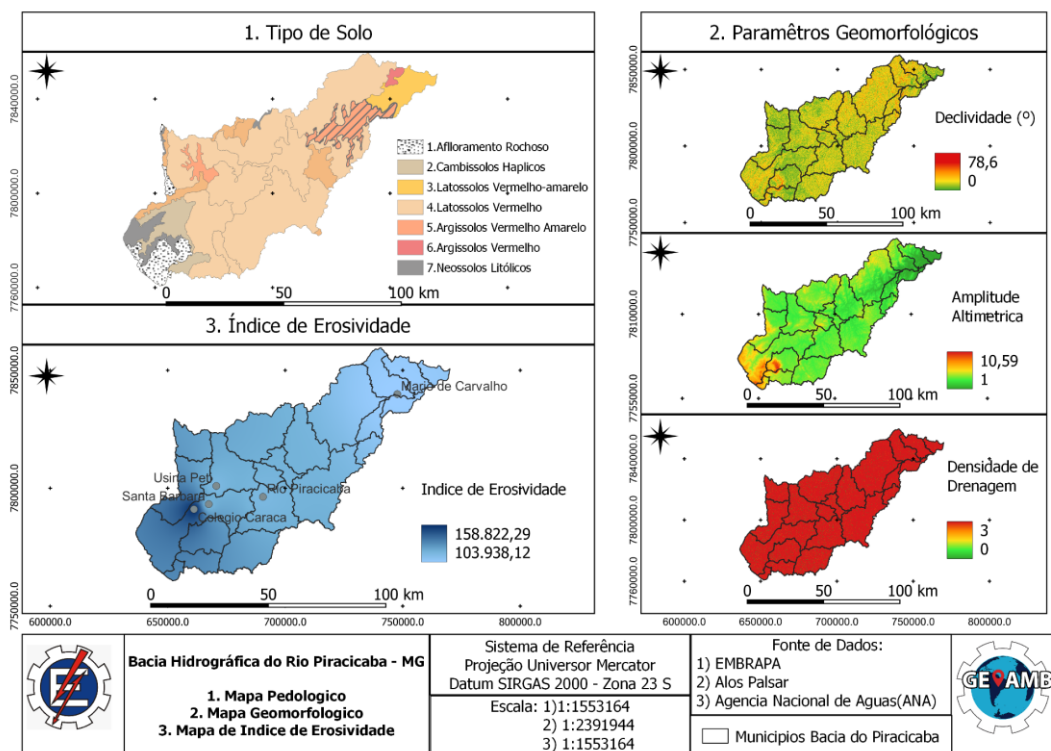


Figura 02 – Mapas Pedológico, geomorfológicos e de Índice de Erosividade.

Tipo de Solo

Ao analisar os tipos de solos presente na bacia, foi possível observar a presença das seguintes classes de solos: Latossolos Vermelho e Vermelho Amarelo (LVAd e LAd), Argissolos Vermelho e Vermelho Amarelo (PVAe, PVd e PVAd), Cambissolos Háplicos (CXbd e CXbdf), Neossolos Litólicos (RLd) e Afloramento Rochoso (AR).

As classes de Latossolos, são predominantes em toda área da bacia, representam 77,52% de todo território da bacia. Este tipo de solo tem como características, o estado avançado de

intemperização, são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e a capacidade de troca de cátions baixa em sua fração de argila. Geralmente os Latossolos são bem profundos, ácidos e variam de fortemente a bem drenados. São normalmente encontrados em relevo plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2018).

Devido as características favoráveis dos Latossolos, Ker (1997, apud Nascimento, 2016) afirma que esta é a classe de solo de maior utilização agrícola no país, fator que contribui extensivamente no processo erosivo, sendo

necessários para uma melhor conservação melhores tecnologias e conscientização por parte dos produtores rurais.

É de extrema importância um bom manejo do solo utilizado para agropecuária, sendo que feito de forma inadequada favorece no aumento da vulnerabilidade ambiental do solo. Segundo Ayer et al. (2015), os latossolos mesmo que em seu estado natural possuem uma alta estabilidade e resistência à erosão as atividades agropecuárias com manejo inadequado ao longo dos anos vêm favorecendo a ação da erosão hídrica neste tipo de solo.

Em seguida, ocupando 7,9% do território da bacia, se encontram as classes de solos Argissolos, que apresentam uma área de aproximadamente 451,42 Km². Algumas características dos Argissolos são o evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial ao horizonte B. Sua profundidade varia entre forte e imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou acinzentadas, enquanto sua textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt. (EMBRAPA, 2018).

Os Cambissolos Háplicos segundo a EMBRAPA (2018), variam muito de um local para o outro devido a fatores como a heterogeneidade do material de origem, as condições climáticas e as formas de relevo. Sua profundidade pode variar entre fortemente ou imperfeitamente drenados e sua profundidade pode ser baixa ou alta. Este tipo de solo apresenta uma alta suscetibilidade à erosão e está presente em 5,77% do território da bacia.

A classe dos Neossolos Litólicos representa uma área de 210 m², correspondente a 3,7% do território da bacia. A presença desta classe de solos necessita de técnicas assertivas quanto ao manejo, uma vez que apresentam um alto grau de vulnerabilidade devido às suas características, pois são considerados pouco evoluídos constituídos por menos de 20 cm de espessura sobre seus materiais minerais ou orgânicos, cascalhento e com frequentes afloramentos de rocha, melhor dizendo, um solo de extrema suscetibilidade erosiva (Francisco et al., 2019). A subclasse dos Litólicos ainda se caracteriza pela pouca profundidade, presença de rochas e pelos declives acentuados em suas áreas de ocorrência, sendo assim a velocidade de erosão é igual ou maior do que a velocidade de transformação da rocha em solo. (EMBRAPA, 2018; LIMA e SILVA, 2018).

Por fim os Afloramentos Rochosos, estão presentes em 5,06% do território da bacia em uma área de 288 Km². Os afloramentos rochosos

representam a exposição de uma rocha na superfície da terra (Sutil, 2020).

Geomorfológico

O resultado do fator de vulnerabilidade geomorfológica foi extraído através da elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de dados altimétricos da imagem ALOS PALSAR.

A classificação dos valores de classes de declividade foi embasada na divisão da EMBRAPA (2018), sendo que as mais expressivas na bacia são de relevo ondulado e forte ondulado representando 49,41% e 30,97%, respectivamente. Os relevos com elevação superior à 75° considerados mais abruptos, são classificados como escarpados e representam uma pequena parcela, inferior a 1%, do território.

Considerando as outras classes distribuídas no território da bacia que representaram uma área inferior a 20%, os locais de relevo Suaves Ondulados e Planos representaram 14,72% e 4,37% do território total respectivamente.

Por meio da utilização das ferramentas no QGIS foi possível extrair os parâmetros para o resultado de vulnerabilidade do fator de geomorfologia. O parâmetro de amplitude altimétrica, foi obtido considerando os valores de pixels máximos e mínimos que representam a altitude no MDE dentro de cada sub-bacia.

Para o cálculo de densidade de drenagem foram considerados a área da bacia e a extensão dos corpos hídricos obtido através do shapefile da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), recortados para a área da bacia. Sendo assim foi possível calcular o índice de vulnerabilidade seguindo a metodologia proposta por Crepani et al. (2001).

Clima

Quanto aos valores de erosividade da chuva foi obtido por meio da manipulação de dados disponibilizados das seguintes estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA: Usina Peti, Santa Bárbara, Colégio Caraça, Rio Piracicaba e Mário de Carvalho. De acordo com a média pluviométrica foi obtido o Fator de Erosividade (IE). Sendo que a estação do Colégio Caraça apresentou o maior índice e a estação de Mário de Carvalho o menor índice. Os resultados para todas as estações ficaram acima do considerado de alta vulnerabilidade aproximadamente entre 103938,12 a 158822,29 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹. Relacionando este fator a declividade por exemplo, em áreas com o relevo

mais abrupto um alto valor de IE significa um alto risco de erosão.

Os valores de erosividade, determinam a capacidade da chuva de provocar erosão e, para a bacia do rio Piracicaba, se mostraram altos em toda a sua extensão, o que caracteriza uma

probabilidade elevada de ocorrência de erosão hídrica (Sutil et al., 2020).

A figura 03 mostra os resultados obtidos para o mapeamento da temática do Uso e Ocupação do Solo encontrados no território da bacia do Rio Piracicaba - MG.

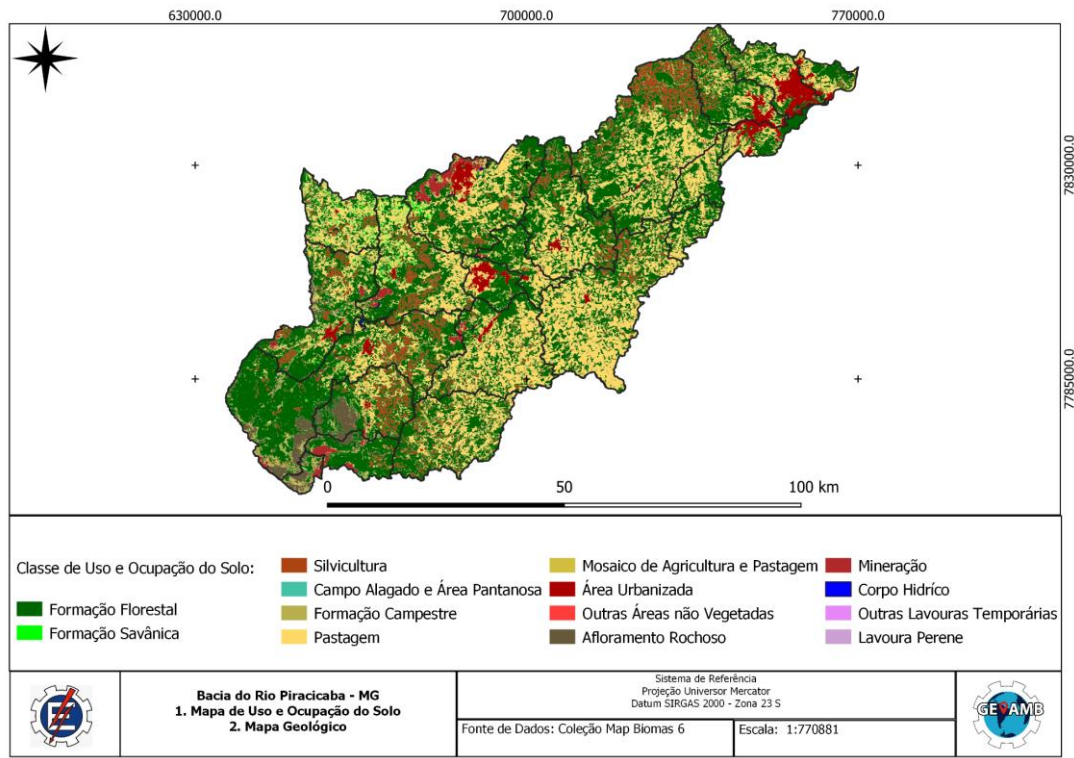


Figura 03 – Mapas de Uso e Ocupação do solo

Uso e Ocupação

Em relação ao uso e ocupação do solo a área de estudo possui em sua região uma condição favorável com a presença de matas em cerca de 50% do seu território. Segundo Bellato e Serrão (2019), quanto maior a densidade da vegetação de um determinado ambiente menor será o impacto externo no solo.

As atividades de agropecuária e silvicultura na região se tornam fatores importantes de serem observados, já que representam cerca de 42%. Tais áreas podem apresentar um bom grau de conservação ou um alto grau de degradação. Assim, para analisar este fator de forma pertinente e acurada seria necessária uma intensa pesquisa de campo, não abordado neste estudo.

As outras classes de uso e ocupação do solo analisadas, dividem o restante do território da bacia. As áreas urbanas e de afloramentos rochosos representam cerca de 3% e 2% do território da bacia respectivamente. As áreas de mineração estão presentes em aproximadamente 1,15% da área. O restante da área da bacia se divide em corpos hídricos e outras áreas não vegetadas, dentre elas os solos expostos que em contrapartida a sua baixa representatividade em área podem ser considerados pontos críticos para a vulnerabilidade ambiental devido ao carreamento de sedimentos aos corpos hídricos.

A figura 04 mostra os resultados obtidos para o mapeamento da temática de Unidades Geológicas encontrados no território da bacia do Rio Piracicaba - MG.

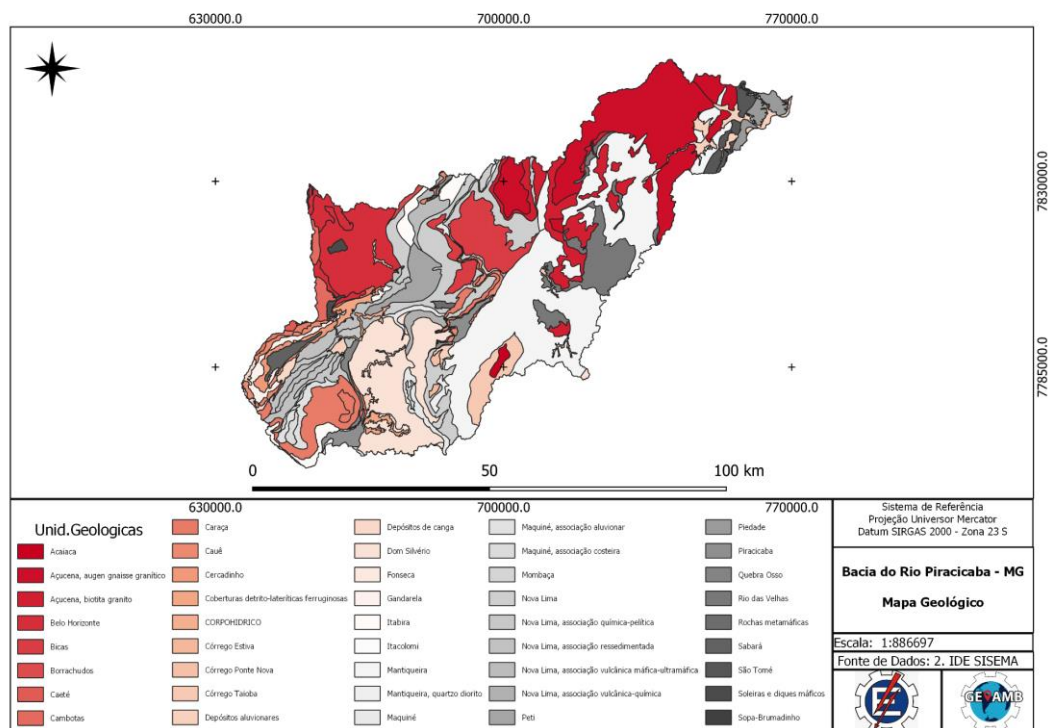


Figura 04 – Mapa geológico

A tabela 05 mostra as unidades geológicas de maiores áreas presentes na bacia, destacando as unidades Grupo Nova Lima, Grupo Sabará e Formação Gandarela, com 19,9%, 13,1% e 7,5% do território da bacia do Rio Piracicaba respectivamente. As demais classes apresentaram áreas inferiores a 0,5% do território da bacia.

Tabela 05 - Unidades Geológicas presentes na bacia do Rio Piracicaba.

Hierarquia	Unidade Geológica	Area Km ²
Grupo	Nova Lima	1127,93
Grupo	Sabará	744,16
Formação	Gandarela	425,12
Grupo	Quebra Osso	379,88
Formação	Cercadinho	26,01
Formação	Cauê	238,86

Formação	São Tomé	130,08
Não definida	Depósitos de canga	103,82
Grupo	Caraça	97,69
Complexo	Mantiqueira	72,33
Complexo	Belo Horizonte	60,94
Complexo	Acaia	55,20
Grupo	Dom Silvério	50,86
Grupo	Itabira	49,87
Grupo	Maquiné	45,77
Complexo	Piedade	43,20
Grupo	Itacolomi	35,37
Suíte	Borrachudos	25,07
Não definida	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	20,08
Complexo	Córrego Taioaba	18,23
Formação	Cambotas	14,03

Para cada temática dos parâmetros ambientais analisados, foi gerado um mapa com índices de vulnerabilidade quantificados de 1 a 3, e divididos em cinco classes de vulnerabilidade, conforme demonstrado na figura 05.

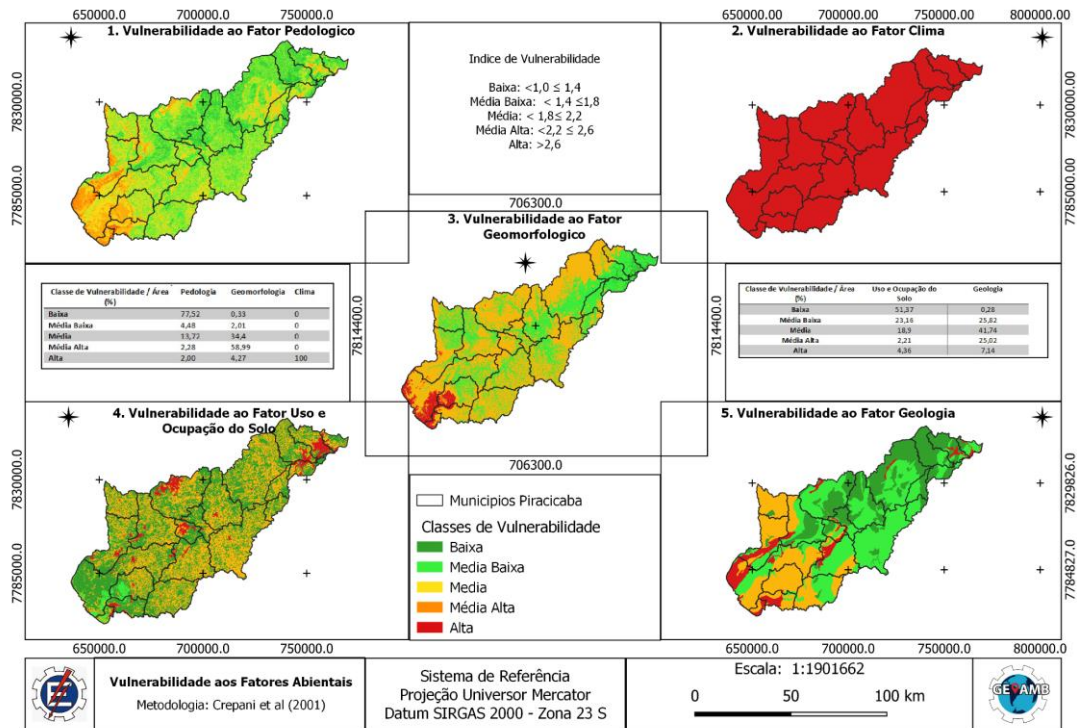


Figura 05 – Vulnerabilidade aos fatores ambientais

Os índices de vulnerabilidade ambiental para cada fator, foram inseridos no software, no sistema de coordenadas SIRGAS 2000, e os dados em formato de vetor foram convertidos para o formato *raster* (matricial). Em seguida, os índices de vulnerabilidade obtidos para cada temática dos fatores ambientais foram integrados por meio da ferramenta “*calculador raster*”, tendo como resultado uma camada *raster* com valores de

índices de 1 a 3, possibilitando analisar quais são os locais com maior ou menor vulnerabilidade ambiental.

Os valores do índice obtidos foram divididos em cinco classes de vulnerabilidade sendo elas: Baixa, Média Baixa, Média, Média Alta e Alta. A figura 04 destaca o resultado do Índice de Vulnerabilidade Ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.

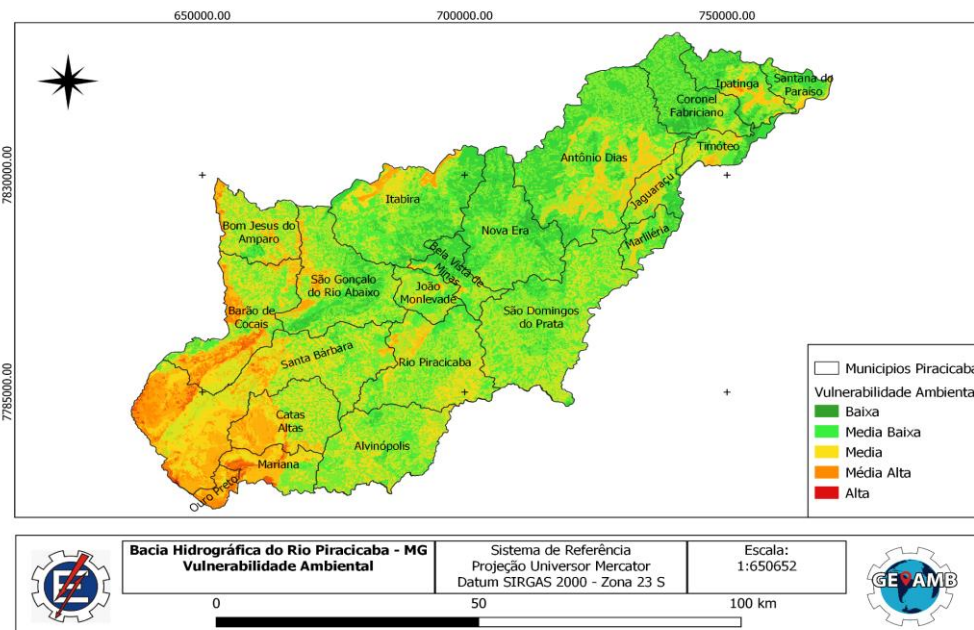


Figura 06 – Vulnerabilidade Ambiental

Em relação a vulnerabilidade ambiental da bacia do Rio Piracicaba-MG em sua área, as classes de vulnerabilidade Média Baixa e Média predominam com 38,08% e 21,7% respectivamente, em seguida com 19,01% e 17,88% do território da bacia a vulnerabilidade é classificada como Média Alta e Baixa, por fim em 3,2% da área da bacia a vulnerabilidade é classificada como Alta.

É possível observar que as áreas com maior vulnerabilidade ambiental se encontram nos municípios de Ouro Preto, Santa Bárbara, Catas Altas e Mariana, na cabeceira da bacia. Esta região é considerada pelo CBH-Doce (2010) como a área mais crítica, uma vez que possui uma elevada suscetibilidade erosiva, o que corrobora com o resultado encontrado.

Constata-se ao longo de toda a bacia regiões com vulnerabilidade média e média alta, muitas destas em regiões ocupadas por pastagens, monoculturas de Eucalyptus e solos expostos. Tais áreas merecem destaque visto que um manejo inadequado pode contribuir para o carreamento de sedimentos e contribuir para a deterioração da qualidade das águas na bacia, que já apresenta sinais de alerta, como constatado no trabalho de Queiroz et al. (2017), onde foram encontradas altas concentrações de Potássio nas amostras coletadas ao longo desta bacia.

Ainda corroborando com a necessidade de um olhar mais cauteloso para estas áreas há o estudo de Nascimento et al. (2020) que constatou a tendência de aumento na concentração de fósforo nas águas, explicada pelo autor, como uma decorrência da predominância de solos com forte suscetibilidade à erosão e as características de uso e ocupação do solo que intensificam essa condição, configurando um cenário de aporte de fósforo nas águas do rio através do transporte de sedimentos.

É importante destacar que estas regiões da bacia identificadas com um maior índice de vulnerabilidade, devem ser consideradas como prioritárias para a conservação da biodiversidade

sendo que a principal delas são as regiões mais próximas da nascente do rio Piracicaba.

Assim, de acordo com Sokoloski et al. (2020), é necessário que haja um planejamento incisivo sobre quais intervenções devem ser realizadas na bacia, que envolvam ações preservacionistas relacionadas à preservação dos recursos hídricos.

Vulnerabilidade Social

Diante de um ponto de vista sistêmico, em que a premissa fundamental se constitui no fato de que o todo é mais complexo que a soma das partes, a metodologia teórico-metodológica empregada deve demonstrar as condições de vida da população (Marques et al., 2017).

De antemão, é necessário destacar que a vulnerabilidade socioambiental é a soma da vulnerabilidade ambiental com a vulnerabilidade social. Portanto, compreende-se que as populações em circunstância de vulnerabilidade social alta convivem com espaços naturais entendidos como mais suscetíveis aos eventos naturais antagônicos. Essas áreas, em sua grande maioria, são habitadas por pessoas que não possuem grandes recursos de qualquer natureza para lidarem apropriadamente com a ocorrência de um evento natural crítico (Sokoloski, 2020).

Desta forma visando a análise das condições em que as pessoas vivem no território da bacia, foram utilizados como unidades territoriais os setores censitários presentes, os parâmetros sociais obtidos através dos resultados da pesquisa do Censo Demográfico (IBGE).

A figura 05, mostra o levantamento dos resultados das pesquisas do IBGE, destacando cada parâmetro sendo eles moradia, educação, saúde, e economia, analisado para o território da bacia hidrográfica do rio Piracicaba-MG

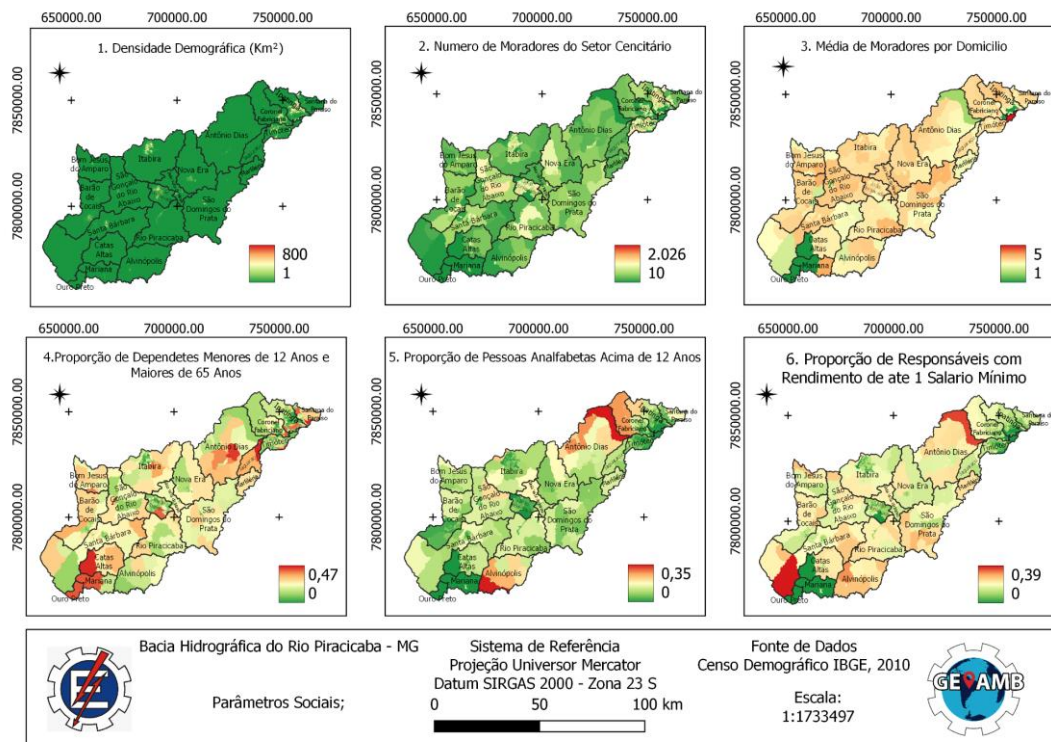


Figura 07 – Parâmetros Sociais

O índice de vulnerabilidade social, é obtido através de uma análise populacional, relacionando com as condições de moradia, educação, saúde e econômica das pessoas. Os parâmetros encontrados na pesquisa do IBGE permitem caracterizar cada um deles.

O intuito de compreender a vulnerabilidade socioambiental é indispensável o entendimento inicial, de forma apartada, dos elementos, processos e influência mútua que conduzem as dinâmicas socioespaciais e socioambientais. Sendo assim, a obtenção da vulnerabilidade socioambiental ocorre em três momentos: (1) quando se constitui a determinação da vulnerabilidade social, o (2) na análise da vulnerabilidade ambiental (3) na identificação da integração das primeiras etapas para a definição da vulnerabilidade socioambiental da bacia (Sokoloski, 2020).

A densidade demográfica é obtida por meio dos dados de número de pessoas, número de domicílios, média de moradores por domicílio em cada setor censitário, dividido por sua área.

Dentre os setores censitários, presentes na região da bacia destaca-se os presentes em regiões rurais. Nestes apresentam o parâmetro de densidade demográfica foi majoritariamente baixo, o que acarretou valores baixos, diante do exposto

para estas áreas este trabalho não caracteriza as condições do município como um todo, e sim, apenas aquela parcela que se encontra dentro do território da bacia hidrográfica analisada.

Os valores maiores de densidade demográfica correspondem à área urbanas, sendo na bacia os mais populosos: Ipatinga, Coronel Fabriciano, e Itabira, apresentando assim os maiores valores de densidade demográfica. E os municípios de Ouro Preto, Mariana e Jaguarau apresentaram os menores índices de densidade demográfica dentro do território da bacia.

Para analisar o parâmetro de saúde da população foi considerada a soma da proporção de pessoas acima de 65 anos e abaixo dos 12 anos, sendo assim foi quantificada a variável Txdp, sendo que quanto maior este índice maior a expectativa de vida e menor a mortalidade infantil naquela região. Novamente os municípios de Ipatinga, Coronel Fabriciano e Itabira apresentaram os melhores índices da bacia hidrográfica, enquanto Ouro Preto, Mariana e Marliéria apresentaram os piores índices.

Considerando os parâmetros analisados para qualificar o nível de educação, foram consideradas a proporção de pessoas analfabetas acima de 12 anos em relação a população total de cada setor censitário. No resultado geral as menores taxas de analfabetismo se concentraram nas zonas urbanas dos municípios. Os maiores

índices de analfabetismo foram encontrados em setores censitários nos distritos de Barra Alegre no município de Ipatinga e Fonseca no município de Alvinópolis com 51,8% e 26,9% de taxa de analfabetismo.

Ao analisar a proporção de responsáveis por domicílios com renda de até 01 salário mínimo. Considerando os setores com uma população mínima de 10 moradores, os menores índices caracterizam uma menor taxa de população de baixa renda, e foram observados nos municípios de João Monlevade, Timóteo e nas áreas urbanas de Ipatinga, Coronel Fabriciano e Itabira.

Por fim foi obtido através do site do IBGE o IDHM de cada município presente na bacia, os maiores valores foram observados nos municípios de Ipatinga, Timóteo e João Monlevade. E os valores mais baixos estão nos municípios de Antônio Dias, Marliéria e São Gonçalo.

Os atributos sociais foram inseridos no software, no sistema de coordenadas SIRGAS 2000, e convertidos para o formato *raster* (matricial). Em seguida, os critérios sociais foram adicionados na ferramenta ‘*Fuzzy Overlay*’, que é a sobreposição difusa, com intuito de unir todos os critérios sociais, reescalando os valores de 0 a 1. Os valores obtidos foram ponderados pelo valor IDHM de cada municípios possibilitando analisar quais são os locais com maior ou menor vulnerabilidade social.

Os valores do índice obtido foram reclassificados e divididos, tendo como base os *quantis*, em cinco classes de vulnerabilidade sendo elas: Baixa, Média Baixa, Média, Média Alta e Alta. A figura 06 destaca o resultado do Índice de Vulnerabilidade Social da bacia hidrográfica do Rio Piracicaba.

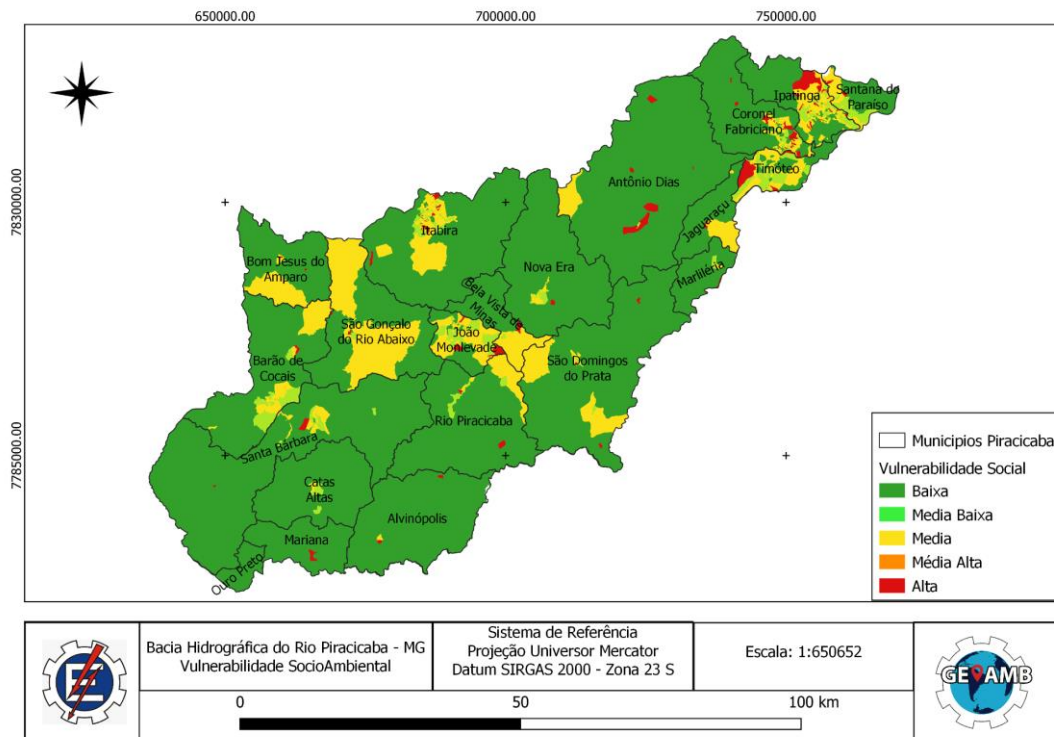


Figura 08 – Vulnerabilidade Social.

Em relação à vulnerabilidade social no território da bacia do Rio Piracicaba, em sua maioria foi classificada como baixa e média baixa, com 58,3%, tal fato se deve pela maioria dos setores censitários analisados estarem localizados em zonas rurais, onde a população na área é menor levando os índices a valores baixos. Em seguida tem-se as classes de vulnerabilidade social média baixa e média com 09,25% e 2,05% de

predominância no território da bacia respectivamente, por fim é importante destacar as áreas classificadas com média alta com 1,78% e 1,11% a classe alta vulnerabilidade social, observada em sua maioria nas zonas de periferias urbanas, estas regiões devem ser consideradas na gestão social dos municípios, pois apresentam uma alta concentração populacional e condições de saúde, educação e econômica baixas.

Por fim para relacionar os fatores de vulnerabilidade ambiental e vulnerabilidade social, os dois mapas foram integrados através da álgebra de mapas, utilizando a “calculadora raster”, o

resultado foi dado em formato *raster* com *pixels* classificados de acordo com a vulnerabilidade, os valores foram divididos em 5 classes de baixa a alta vulnerabilidade e estão demonstrados na figura 07.

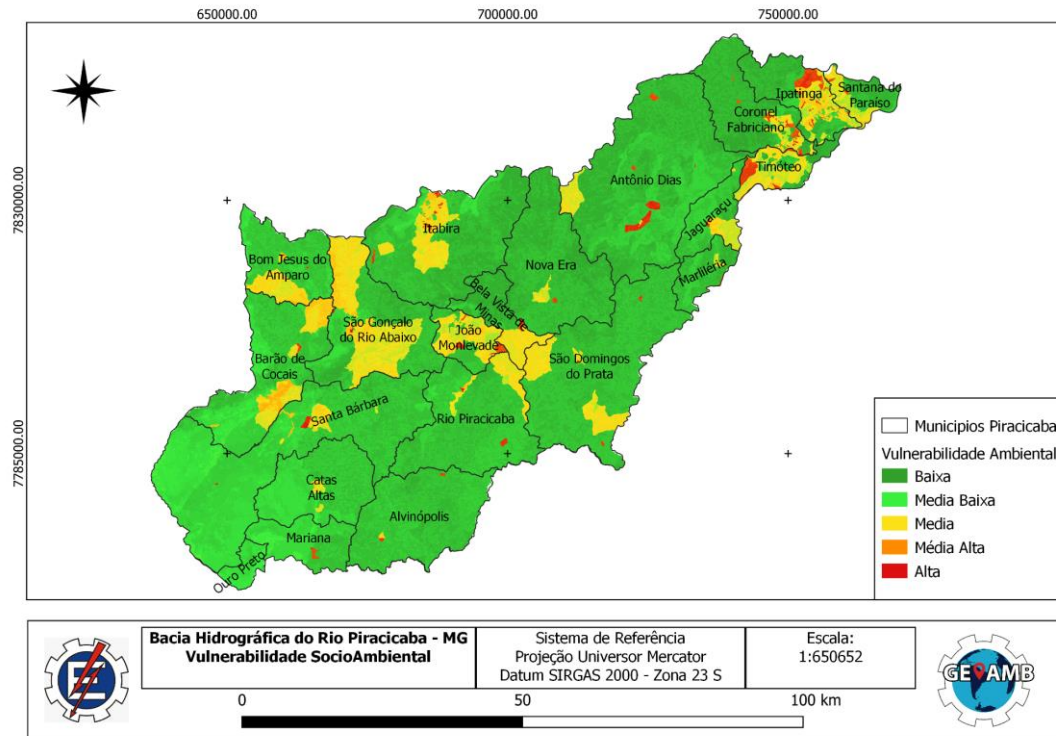


Figura 09 – Vulnerabilidade Socioambiental.

Percebe-se que a análise socioambiental apresentou um padrão de baixos valores em áreas rurais e valores mais altos ou mais variados em regiões urbanas e mais populosas nos municípios presentes da bacia. A análise multicritérios levou em consideração a integração de dados sociais e ambientais.

Em regiões menos populosas os fatores sociais são mais constantes enquanto em áreas urbanas mais populosas os fatores sociais são mais discrepantes, este fato justifica a variabilidade do índice de vulnerabilidade social nestas áreas, em uma pequena parcela territorial, estruturas sociais podem ser absurdamente desiguais, e a qualidade de condição de vida das pessoas proporcionalmente.

Relacionando o resultado aos fatores ambientais, os valores mais baixos de vulnerabilidade em áreas rurais se justificam principalmente pela cobertura vegetal nestas regiões. Contudo cabe ressaltar que o emprego de técnicas conservacionistas e mais sustentáveis são muito importantes nesta bacia, como já discutido em relação aos tipos de solos e usos do solo presentes nestas regiões. Segundo Cuiabano et al. (2017) o emprego de técnicas não

conservacionistas pode trazer inúmeros impactos negativos ao ambiente, envolvendo redução da biodiversidade, degradação dos solos, assoreamento dos cursos hídricos, entre outros.

Dentre as classes de vulnerabilidade socioambiental dos municípios em relação ao seu território, os que apresentaram uma maior proporção de alta vulnerabilidade foram: Timóteo e Ipatinga com 10,2% e 8,6% de sua área classificada como alta vulnerabilidade socioambiental. Tais municípios também são os mais populosos da bacia, contando com a presença de áreas ocupadas por pessoas de menor poder aquisitivo, fator que contribui diretamente com a vulnerabilidade social. Este resultado é corroborado pelo estudo de Alves (2021), que obteve as maiores vulnerabilidades socioambiental nas regiões que possuíam condições socioeconômicas significativamente piores.

O resultado também é semelhante ao encontrado por Belato et. al (2021) em seu estudo realizado no município de Belém, Pará, Brasil, onde as regiões de maiores vulnerabilidades foram, em sua maioria, as regiões de ocupação irregular de locais de alta vulnerabilidade ambiental pela

população em situação desfavorável à renda per capita, educação e moradia.

Outro fator que contribui para a vulnerabilidade socioambiental é a proximidade dos rios, que quando sujeito a transbordamento do seu leito principal acabam atingindo as moradias, como já ocorrido em Ipatinga e Coronel Fabriciano. Cenário também demonstrado por Dias (2021) para a cidade de Mossoró/RN.

Os municípios de Itabira e João Monlevade apresentaram a maior proporção territorial classificada com valores de vulnerabilidade socioambiental média e média alta, sendo que em Itabira 24,4% do território foi classificado com média vulnerabilidade e em 28,9% com vulnerabilidade média alta. Em João Monlevade 20,39% e 15,76% de sua área respectivamente.

Os demais municípios apresentaram em grande maioria de seus territórios valores de vulnerabilidade socioambiental baixa e média. É importante destacar o município de Antônio Dias, que apesar de em grande parte do seu território ter entrado na classificação de baixa vulnerabilidade, grande parte de sua área urbana foi classificada como de alta vulnerabilidade, neste caso se faz necessário uma minuciosa caracterização social da região a fim de propor estratégias para melhorar a qualidade de vida da população.

Conclusões

Os resultados obtidos por meio deste trabalho permitiram demonstrar as áreas de maior vulnerabilidade na bacia do rio Piracicaba, considerando diferentes aspectos, não se limitando apenas aos fatores ambientais, mas também a fatores sociais.

Por meio de uma análise integrada de paisagens, verificou-se que houve predominância das classes de vulnerabilidade ambiental média baixa e média.

Foi possível constatar também que as regiões do alto curso do Piracicaba, nos municípios de Ouro Preto, Mariana, Catas Altas e Santa Bárbara, apresentaram os maiores índices de vulnerabilidade ambiental. Tal fato pode ser considerado como uma situação crítica uma vez que são áreas prioritárias para a preservação ambiental e conservação dos recursos hídricos, manutenção da biodiversidade e mitigação dos processos erosivos.

A vulnerabilidade social caracterizou a qualidade de vida da população que vive no território da bacia do Rio Piracicaba, os resultados obtidos no trabalho mostram que na maioria do

território da bacia a vulnerabilidade social foi classificada como baixa, sendo que em áreas urbanas principalmente nos municípios com maior concentração populacional, a classificação resultou em uma variação maior de valores sendo que a maioria das áreas classificadas como de alta vulnerabilidade estão situadas nestas regiões.

A classificação da vulnerabilidade socioambiental permitiu classificar a susceptibilidade da região ao sofrer algum impacto ambiental, seja ele por causas naturais ou antrópicas, e da população em se recuperar deste possível impacto negativo, mostrando as regiões mais sensíveis na bacia, que por conseguinte devem receber uma maior atenção pelos gestores.

Como proposta para atenuação da vulnerabilidade socioambiental, o trabalho traz como sugestão uma caracterização social minuciosa nas regiões de maiores vulnerabilidade, identificando, para além dos parâmetros avaliados nesta pesquisa, outros que também possam auxiliar na implementação de políticas públicas sociais.

Da mesma forma, este estudo também pode auxiliar no zoneamento ambiental e tomada de decisões para o planejamento de uso e exploração de recursos naturais na bacia.

É importante destacar que as variáveis analisadas foram utilizadas de forma conjunta, e os métodos foram adaptados, para se relacionarem com o mesmo peso, ou seja todos os fatores foram tratados com a mesma importância podendo atenuar no resultado final. Assim, também sugere-se que outras metodologias com o emprego da valoração destes parâmetros possam ser testadas para a bacia.

As metodologias aplicadas se mostraram eficazes, pois conseguiram analisar uma área extensa tentando abordar os principais fatores considerados essenciais e conseguiu delimitar regiões com vulnerabilidades semelhantes, o que pode contribuir de forma mais efetiva para as futuras tomadas de decisões dos gestores desta bacia.

Agradecimentos

A todas as instituições citadas neste trabalho pela disponibilização de dados imprescindíveis para execução do mesmo. A Universidade Federal de Itajubá por toda estrutura e excelência no ensino.

Referências

Aires, U. R. V., Resende, C. H. S., Silva, J. L. A., Campos, J. A., Santos, C. A., 2017. Capacidade do uso da terra: um estudo de caso em uma

- microbacia do Rio Piracicaba, MG. *Nativa*, Sinop (online), 5, 402-409.
- Almeida, P.F., Silva, J.B.L., Neves, F.M., 2020. Vulnerabilidade Ambiental do Município de Teixeira de Freitas-BA. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13, 1587-1609. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1587-1609>. Acesso em: 09/06/2022.
- Alves, H. P. F., 2021. Vulnerabilidade socioambiental nas três principais regiões metropolitanas da Macrometrópole Paulista: uma análise de indicadores socioambientais. *Ambiente & Sociedade*, v. 24, 1-21. Disponível: <https://www.proquest.com/openview/88a9f8b97b54c68ed10e2e1c4dcc0f66/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035034>. Acesso em: 10/06/2022.
- Alves, J. F. L. S., Alves, M. F. P., Nicolau, P. B., 2022. Percepções sobre as vulnerabilidades socioambientais atuais e futuras face às alterações climáticas no setor agrícola: estudo exploratório no município do Cadaval, Portugal. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, V.3, n. 3, 1 – 27. Disponível: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1248/992>. Acesso em: 10/06/2022.
- Avanzi, J. C., 2005. Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos Tabuleiros Costeiros. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras.
- Barcellos, F. C.; oliveira, S. M. M.C., 2008. "Novas Fontes de Dados sobre Riscos Ambientais e Vulnerabilidade Social", IBGE, Rio de Janeiro, 1-15.
- BRASIL. Lei n.9.433: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: DOU, 1997.
- Belato, L.S., Serrão, S.L.C., 2019. Aplicação da vulnerabilidade ambiental do município de Tomé-Açu, Estado do Pará. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* [online], 10, 131-145. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179->
- vulnerabilidade socioambiental: caso do município de Belém, Pará, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n.3, 554-569. Disponível em: <http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.003.0045/2715>. Acesso em: 10/06/2022.
- Carreço, H.; Castiglioni, A. H., 2018. Análise da vulnerabilidade socioambiental no município de Vitória-ES, com o apoio de um SIG livre. *Caderno de Geografia*, v.28, n.55. Disponível: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/download/17285/13837/0>
- CBH – DOCE, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e Planos de Ação de Recursos Hídricos para Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce - Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba PARH Piracicaba. Belo Horizonte: Consórcio Ecoplan Lume, Maio de 2010.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM. (1994) Deliberação Normativa nº 9, de 19 de abril de 1994. Dispõe sobre o enquadramento da bacia do Rio Piracicaba. Diário Executivo de Minas Gerais. Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM).
- Costa, F. H. S., Petta, R. A., Lima, R. F. S., Medeiros, C. N., 2006. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia Potiguar, região de Macau (rn), utilizando Sistemas De Informações Geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58, 11.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez Filho, Pl, Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. INPE: São José dos Campos. 124 p.
- Cruz, L. M., Pinese Júnior, J. F., Rodrigues, S. C., 2010. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória - MG. *Revista Brasileira de Cartografia*, Uberlandia, v. 3, n. 62, 505-516. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43686/22950>. Acesso em: 03/05/2021
- Cuiabano, M. N., Neves, S. M. A. S., Nunes, M. C. M., Serafim, M. E., Neves, R. J., 2017. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica na sub-bacia do córrego do Guanabara/Reserva do Cabaçal-MT, Brasil. *Geociências*, 36, n. 3, 543

- 556. Disponível: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEO/SP/article/view/12490/12050>. Acesso em: 03/05/2021.
- Dalla Corte, A.P., Hentz, A.M.K., Doubrawa, B., Sanquetta, C.R., 2015. Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. Bosque (Valdivia) [online], 32, 287-297. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717>. Acesso em: 03/05/2021.
- DEODORO, S. C., 2013. Análise da bacia do rio Santa Bárbara (MG) baseada em análises morfométrica e multicriterial. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/IGC/M9FNMBB/1/monografia_sandradeodoro_2013.pdf. Acesso em: 03/05/2021.
- Dias, G. H., Silva, M. R. F., Grigio, A. M., 2021. Vulnerabilidade Ambiental: uma abordagem sobre a exposição ao risco e a degradação ambiental em Mossoró/RN – Brasil. Brazilian Journal of Development, v.7, n.2, 17199-17216. Disponível: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/B-RJD/article/view/24936/19884>. Acesso em: 10/06/2022.
- FAN, F. M., Collischonn, W., Sorribas, M. V., Pontes, P. R. M., 2013. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 18, 241-257.
- Florenzano, T. G., organizador. Geomorfologia: conceitos tecnologias atuais. Oficina de textos, 2008.
- Francisco, P. R. M.; Chaves, I. B., Oliveira, F. P., Santos, D., 2019. Vulnerabilidade dos solos à desertificação na bacia hidrográfica do alto rio paraíba. Caderno de pesquisa, ciência e inovação, 78.
- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M. & Kahlenborn, W., 2014. Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Bonn and Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Gardiman Júnior, B.S., Couto, D. R., Souza, F. B. C.; Santos Junior, G. N., Santos, A. R., 2012. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre, Espírito Santo. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.9, 21-34.
- Gomes, I., Vieira, E. M., Machado, M. L., Simão, M. L. R., Ferreira, A. C., 2019. Delineamento de áreas com potencial erosivo para a bacia hidrográfica. Revista Geonomos [online], 27, 60-72. Disponível: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v27i1.23744>. Acesso: 23/09/2021
- Gupta, A. K., Nandy, S. Alatalo, J. M., Singh, V., Pandey, R., 2019. Assessing the Vulnerability of socio-environmental systems to climate change along an altitude gradient in the Indian Himalayas. Ecological Indicators, V 106.
- IGAM, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Bacia hidrográfica do Rio Doce: Bacia Hidrográfica do rio Piracicaba (DO2). Portal Meio Ambiente. MG. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/155?task=view>. Acesso em: 03/05/2021.
- Júnior, J. F. P., Rodrigues, S. C., 2012. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). Geography Department, University Of Sao Paulo, [S.L.], p. 4-26, Geography Department, University of Sao Paulo. <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2012.0023.0001>.
- Kawakubo, F. S., Morato, R. G., Campos, K. C., Luchiar, A., Ross, J. L. S., 2005. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto :Goiania.n.7, 16-21.
- LEAL, A. C., 2012. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos. Entre-lugar, v. 3, n. 6, 65-84. Disponível em: <<https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/viewFile/2447/1398>>. Acesso em 28/04/2020
- Lima, M. M. P., Silva, L., 2018. Análise da Vulnerabilidade Natural da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú, com Apoio de Geotecnologia. Revista Brasileira de Geografia Física [online], 11, 1442-1457. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442->
- Long, J. W., Steel, E. A., 2020. Shifting Perspectives in Assessing Socio-Environmental Vulnerability. Sustainability, 12, 2625. Disponível: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/7/2625>.
- Maciel, A. L., Vieira, E. M., Monte Mor, R. C., Vasques, A. C., 2019. Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba - MG. Revista Brasileira de Climatologia [online], 24, 114-133. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.58420>. Acesso: 10 nov 2021.
- Magalhães, I. A. L., Thiago, C. R. L., Dos Santos,

- A.R., 2020. Identificação de Fragmentos Florestais Potenciais para a delimitação de Corredores Ecológicos na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES por meio técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 13, 595–612. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p595-612>.
- Malta, F. S., Costa, E. M., Magrini, A., 2017. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22 (12). Disponível: <https://www.scielo.br/j/csc/a/rMHFrJ7w7pWgVpsvFT5Tyjn/?lang=pt&format=html>.
- MARQUES, M. L., SILVA, M. C., CAMARGO, D. M., 2017. Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no município de Campinas, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 9, 1711-1723.
- Martins, A., Santos, B. Z., Fuchs, J. P. S., Koga, L. Pascoal, M. L. L., Santos, M. S., 2018. A Precipitação e a importância de conhecer sua grandeza. *Anais do 10º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA: Salão de Ensino*, V.10, n.1.
- Martins, J. J. F., Soares, A. M., Azeiteiro, U. M., Correia, M. L. T., 2019. Anthropic action effects caused by soybean farmers in a watershed of tocantins-brazil and its connections with climate change. In: *climate change-resilient agriculture and agroforestry*. Springer, cham, 257-281. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0_15. Acesso: 28 de nov. 2021.
- MELLO, C. R., 2003. Estudo hidrológico em microbacia hidrográfica com regime de escoamento efêmero. 133p. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2003
- Miara, M. A., Oka-Fiori, C., 2007. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – Um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. *Revista Ra'eGa* 13, 85-98.
- Nascimento, T. R. S, Baumgratz, S. S., Marques, P. A. M., 2020. Duas Décadas de Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Piracicaba, Estado de Minas Gerais. *RMRH -Revista Mineira de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, v.1, n.1, 1 - 19.
- Nascimento, N. S., Vieira, E. M., Gonçalves, J. A. C., Cunha, G. D. P. Q., 2016. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(03), 897-916.
- Pagán, J. I, López, I., Bañón, L., E Aragonés, L., 2020. Consequences of anthropic actions in cullera bay (spain). *Journal of marine science and engineering*, 8, 240. Disponível: <https://doi.org/10.3390/jmse8040240>. Acesso: 28 de nov. 2021.
- Queiroz, M. T. A., Sabará, M. G., Queiroz, C. A., Leão M. M. D., Amorim, C. C., Lima, L. R. P., 2017. Estudo sobre os teores de Tório, Urânio e Potássio nas águas superficiais e sedimentos marginal do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil. *Eng Sanit Ambient*. v.22, n.2, 371-380.
- Reis, G. A., Ribeiro, A. J., Silva, C. A. U., 2020. Diagnóstico de Vulnerabilidade Socioambiental em Áreas Urbanas Utilizando Inteligência Geográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.02, 767-781. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/241398/34955>.
- Reis, T. E., Costa, V. C., 2017. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca -(MG), com o uso de SIG. *Geosul*, 32, 77-96.
- Ribeiro, A.S., Mincato, R.L., Curi, N., Kawakubo, F.S., 2016. Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. *Revista Brasileira de Geografia Física* 09, 016-031.
- Ross, J. L. S., 1994. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia (USP)* [online], 8, 63-74. Disponível: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.
- Santos, J. R. U., Marchioro, E., 2020. Análise empírica da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Duas Bocas, Espírito Santo, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia* [online], 39, 72-87. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v39i0.160946>. Acesso: 28/10/2021
- Santos, M. F. S., 2014. Geoprocessamento aplicado ao estudo da vulnerabilidade ambiental da Serra da Calçada - MG. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Especialização em Geoprocessamento, Cartografia do Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: http://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/UFGM_30a117eca86082bb0e6e66936b3e8dd7. Acesso em: 03/05/2020.
- Silva, F. L., Fushita, A. T., Cunha-Santino, M. B., Bianchini Júnior, I., Veneziani Júnior, J. C. T., 2021. Gestão de recursos hídricos e manejo de

- bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. *Revista Brasileira de Geografia Física*, V.14, N.3, 1626-1653. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>. Acesso em 10/06/2022.
- Silva, M. M.A. P. M., Faria, S. D., Moura, P. M., 2017. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). *Eng Sanit Ambient*, v.22, n.1, 133-143. Disponível:<https://www.scielo.br/j/esa/a/nMcMQbZwQpVVFf8DDhw3GdS/?format=pdf&lang=pt> Acesso em 28/11/2021.
- Silva, P. L., Andrade, L. N. P. S., Leandro, G. R. S., Souza, A. S., 2017. Evolução dos processos erosivos e aspectos granulométricos em um sistema de voçoroca no Distrito de Vila Aparecida, município de Cáceres – Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 627-640.
- Sokoloski, L. J. F., Ferreira, M. R. A., Viterbo, G. A., Belotti, F. M., Vieira, E. M., 2020. Estudo da vulnerabilidade natural da sub-bacia do Rio Piracicaba/MG utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG). *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais* [online], 10, 211-222. Disponível: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0018>.
- Sutil, S. C.; Gonçalves, J. A. C., Vieira, E. M., 2020. 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*, 13, 3060-3077.
- Teixeira, I. C., Filho, H. S., Santos, S. L. C., 2019. Análise da ocupação e crescimento urbano na bacia hidrográfica do igarapé da Fortaleza entre 1985 e 2015 utilizando imagens dos satélites LANDSAT 5/TM e LANDSAT 8/ OLI. In: *Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento REMOTO*. Santos. Anais 63 eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em:<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-da-ocupacao-e-crescimento-urbano-na-bacia-hidrografica-do-igarape-da-fortaleza-entre-1985-e-2015-utilizando-imag#> ; Acesso em 29/04/2021.
- Teixeira, N. F. F., Moura, P. E. F., Lima, I. B. O. V., Silva, E. V., 2021. Subsídios teórico-metodológicos da geoecologia das paisagens ao planejamento ambiental. *Revista Eletrônica do PRODEMA*, v. 15, n. 2, 62-71. Disponível: www.revistarede.ufc.br. Acesso em: 10/06/2022.
- Vasconcelos, A. C. F., Freire, E. M. X., Cândido, G. A., 2019. Vulnerabilidade socioambiental: uma análise dos indicadores na cidade de Natal/RN. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 10, n. 1. Disponível: <http://www.sustenere.co/index.php/rica/article/view/2850>.
- for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution* 1, 1-3.
- Strydom, T., Riddell, E.S., Rowe, T., Govender, N., Lorentz, S.A., le Roux, P.A.L., Wigley-Coetsee, C., 2019. The effect of experimental fires on soil hydrology and nutrients in an African savanna. *Geoderma* 345, 114-122.
- Vilarinho, M.K.C., Koetz, M., Schlichting, A.F., Silva, M.D.C., Bonfim-Silva, E.M., 2013. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* 7, 17-26.
- Zhang, Z.-H., Li, X.-Y., Jiang, Z.-Y., Peng, H.-Y., Li, L., Zhao, G.-Q., 2013. Changes in some soil properties induced by re-conversion of cropland into grassland in the semiarid steppe zone of Inner Mongolia, China. *Plant and Soil* 373, 89-106.