

Área: Sustentabilidade | Tema: Temas Emergentes em Sustentabilidade

Análise de vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho - RS

Analysis of environmental vulnerability of the Jaguarizinho hydrographic basin - BR

Helen Louise Colin Heinen e Damaris Gonçalves Padilha

RESUMO

A análise de vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o estudo da suscetibilidade do ambiente a sofrer impactos causados por ações antrópicas diversas, identificando regiões mais propensas a danos ambientais, norteando a ocupação territorial e aliando necessidades sociais de crescimento com a manutenção da qualidade ambiental. O presente estudo visou avaliar a vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho, considerando características bióticas, físicas e antrópicas, a partir de análise multicritério e técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG. Foram selecionadas onze variáveis, cujo cruzamento de informações originou o mapa de Vulnerabilidade Ambiental Integrada. A área de estudo localiza-se no centro-oeste do Rio Grande do Sul e pertence à bacia do rio Ibicuí, tendo características rurais e 1325 km² de extensão. Apresentou vulnerabilidade baixa em 10,79% da área, em razão da reduzida criticidade para a biodiversidade, menor suscetibilidade à erosão e interferência antrópica pré-existente na região. Vulnerabilidade média foi encontrada em 65,86%, dado à suscetibilidade moderada para erosão ou movimentação de massas e características de condição de vida da população nesses locais. Em 23,35% da bacia identificou-se alta vulnerabilidade, relacionada às condições mais sensíveis dos meios Biótico, Físico e Antrópico simultaneamente. As classes de vulnerabilidade muito baixa e muito alta não foram identificadas na bacia. A região central e parte da porção sul do território foram as áreas mais vulneráveis às atividades humanas, tendo o maior potencial de apresentar danos frente à incidência de uma nova ação antrópica. Os resultados podem contribuir para o planejamento ambiental local, potencializando o desenvolvimento e minimizando impactos ambientais.

Palavras-Chave: Planejamento Ambiental. Geoprocessamento. Análise Multicritério. Mapa de

vulnerabilidade.

ABSTRACT

The analysis of environmental vulnerability can be understood as the study of the susceptibility of the environment to suffer impacts caused by different human actions, identifying regions more prone to environmental damage, guiding territorial occupation and combining social needs for growth with the maintenance of environmental quality. The objective of this study was to evaluate the environmental vulnerability of the Jaguarizinho river watershed, considering biotic, physical and anthropic characteristics, based on multi-criteria analysis and geoprocessing technologies. Eleven variables were selected, whose crossing of information gave rise to the Integrated Environmental Vulnerability map. The study area is located in the center-west of Rio Grande do Sul (Brazil), and belongs to the Ibicuí river basin, having rural characteristics and 1325 km² in length. It presented low vulnerability in 10.79% of the area, due to the low criticality for biodiversity, less susceptibility to erosion and pre-existing anthropic interference in the region. Middle vulnerability was found in 65.86%, given the moderate susceptibility to erosion or mass movement and characteristics of the population's living conditions. In 23.35% of the basin, high vulnerability was identified, related to the most sensitive conditions of the Biotic, Physical and Anthropic means simultaneously. The very low and very high vulnerability classes were not identified in the basin. The central region and part of the southern portion of the territory were the areas most vulnerable to human activities, having the greatest potential to present damage in view of the incidence of a new anthropic action. The results can contribute to local environmental planning, enhancing development and minimizing environmental impacts.

Keywords: Environmental Planning. Geoprocessing. Multi-criteria Analysis. Vulnerability map.

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIZINHO – RS

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano, social ou econômico, é essencial e inerente à sociedade. Entretanto, quando baseado em práticas predatórias dos recursos naturais, pode trazer prejuízos ao ambiente e à população. O equilíbrio entre essas duas faces do desenvolvimento pode ser dado através do ordenamento do espaço no qual ele ocorre ou irá ocorrer, respeitando suas restrições e aproveitando-se de suas potencialidades. Uma das maneiras de se realizar esse ordenamento é por meio de estudos de planejamento ambiental, que consistem na reunião e análise de informações ambientais visando o melhor aproveitamento dos recursos naturais (SANTOS, 2004), que, cada vez mais, se valem da análise de vulnerabilidade ambiental (AQUINO, *et. al.*, 2017).

Tendo em vista um potencial desenvolvimento desordenado e prejuízos ao ambiente, objetiva-se desenvolver uma metodologia para a análise de vulnerabilidade ambiental para a bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho, de forma a identificar as regiões que se apresentam mais sensíveis às ações antrópicas, fornecendo diretrizes para o planejamento ambiental e territorial local.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como a suscetibilidade de um sistema natural a sofrer impactos potenciais causados por ações antrópicas diversas (TAGLIANI, 2003; AQUINO *et al.*, 2017). Seu mapeamento busca identificar regiões mais ou menos propensas a impactos ambientais decorrentes dessas ações (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2010), considerando que a resposta do meio pode variar em função das características locais naturais e humanas (BRASIL, 2007).

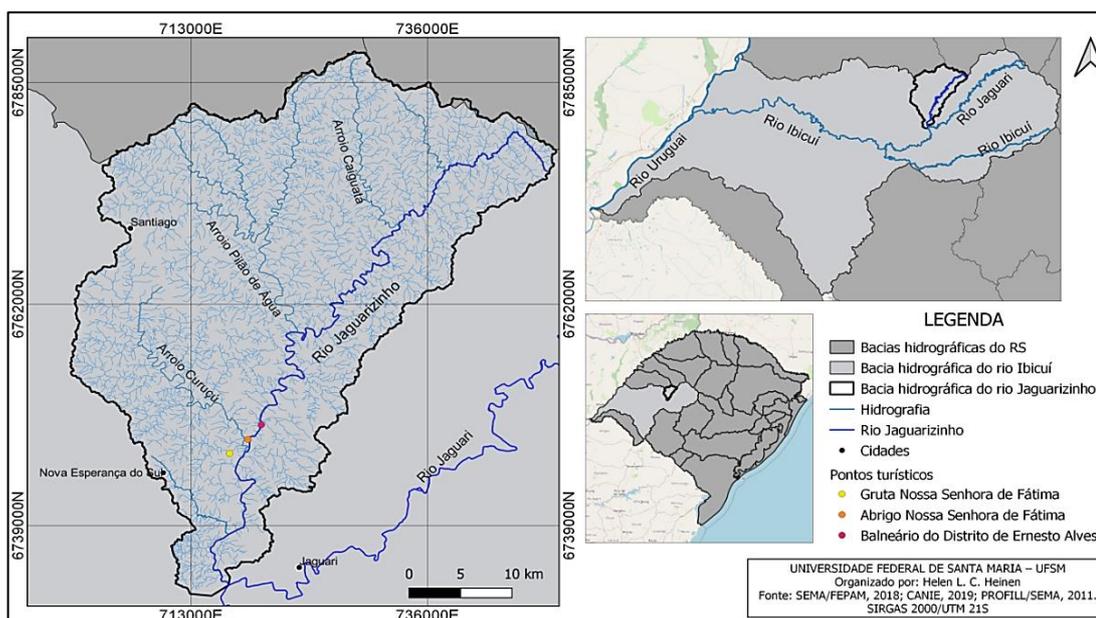
Para a determinação da vulnerabilidade ambiental podem-se utilizar modelos matemáticos, que buscam avaliar características naturais do meio e correlacioná-las, gerando informações quanto às potencialidades e limitações do ambiente. Esse tipo de análise teve origem no conceito de Ecodinâmica proposto por Tricart (1997), sendo posteriormente desenvolvido e aplicado por diversos autores. São usualmente desenvolvidos com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), pois estes permitem realizar a integração de diferentes informações a cerca do ambiente, cuja localização espacial é o denominador comum (LANG; BLASCHKE, 2009).

Modelos de vulnerabilidade lançam mão de parâmetros que informam de maneira simplificada o estado do ambiente em estudo, como as variáveis e os indicadores. Dessa forma, as variáveis são relativas aos dados diversos disponíveis a cerca do ambiente, e os indicadores podem ser tidos como as informações obtidas a partir desses dados.

3 METODOLOGIA

A área de estudo foi a bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho, localizada na porção centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, contando com 1325 km² de área e abrangendo as cidades de Santiago, Nova Esperança do Sul, Jaguari e Capão do Cipó. É uma sub-bacia do rio Ibicuí, fazendo parte da região hidrográfica do rio Uruguai, como se pode observar na Figura 1. O local abriga pontos turísticos destacados pela natureza preservada, como é o caso da Gruta Subterrânea Nossa Senhora de Fatima e quedas d'água em suas imediações.

Figura 1 – Localização, hidrografia e pontos turísticos da bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho



Fonte: autores.

Para a análise de vulnerabilidade ambiental, primeiramente, foi construído um banco de dados em ambiente SIG contendo diversas informações a cerca do ambiente estudado, disponíveis em bancos de dados digitais de livre acesso. Na sequência, foram selecionadas as variáveis de interesse para a elaboração do modelo, de forma a englobar sistemas suscetíveis à alteração antrópica, como solo, relevo, vegetação, clima e recursos hídricos (SPRÖL; ROSS, 2004), acrescidos de aspectos da atividade humana que podem vir a impactar o ambiente.

Essas variáveis, então, tiveram seus atributos qualitativos classificados em cinco classes de vulnerabilidade ambiental: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, com respectivas notas de vulnerabilidade: 1, 2, 3, 4 e 5, a partir de bibliografias consultadas.

As variáveis escolhidas, bem como sua escala e fonte da informação são elencadas no Quadro 1, juntamente com a descrição da metodologia para a classificação quanto a sua vulnerabilidade ambiental.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas, escalas, fontes e metodologias de classificação

(continua)

| Variável | Escala | Fonte | Metodologia de classificação de vulnerabilidade |
|---|-----------|---|---|
| Uso do solo em APP | 1:250.000 | Adaptado de Hofmann, Weber e Hasenack (2015). | Adaptado de Ross (1994). |
| Áreas prioritárias para a conservação | 1:250.000 | MMA (2018a). | Conforme classificação de prioridade (MMA, 2018a). |
| Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) | 1:250.000 | MMA (2018b). | Conforme o nível de restrição da Zona (MMA, 2018b). |
| Litologia | 1:750.000 | CPRM (2013). | Leandro (2013). |
| Geomorfologia | 1:250.000 | IBGE (2009). | Modificado de UFSP/UNIPAMPA (2009). |
| Tipo de solo | 1:250.000 | IBGE (2015). | Baseado em FEPAM (2001). |
| Declividade | 1:50.000 | Hasenack, Weber (2010). | Santos (2018); Trautenmüller (2018). |

Quadro 1 – Variáveis utilizadas, escalas, fontes e metodologias de classificação (conclusão)

| Variável | Escala | Fonte | Metodologia de classificação de vulnerabilidade |
|--|-----------|--|---|
| Uso do solo e cobertura vegetal | 1:250.000 | Adaptado de Hofmann, Weber, Hasenack (2015). | Adaptado de Ross (1994). |
| Sistema viário | 1:50.000 | Adaptado de Hasenack, Weber (2010). | Conforme natureza e volume de fluxo da via, área de influência baseado em estudos de impactos ambientais. |
| Saneamento | 1:50.000 | ANA (2017); Brasil (2019). | Baseado em classificação ABES (2019). |
| Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE) | 1:50.000 | FEE (2015). | Baseado em FEE (2015). |

Fonte: autores.

A classificação de vulnerabilidade para os atributos dessas onze variáveis deu origem a mapas de vulnerabilidade por variável, que foram cruzados entre si de forma a gerar cinco mapas de indicadores de vulnerabilidade ambiental. Esses indicadores, então, foram cruzados para dar origem a três mapas de vulnerabilidade por meio de influência. A junção dos mapas por meio de influência, na sequência, resultou no mapa final de vulnerabilidade ambiental para o modelo, denominado mapa de Vulnerabilidade Ambiental Integrada.

O referido cruzamento entre os mapas se deu através de uma análise multicritério em ambiente SIG, com aplicação da Equação (1) no *software* QGIS 3.4 Madeira, utilizando a ferramenta *Calculadora raster*.

$$VA = \sum_0^n (V * p_i) = V_1 * p_1 + V_2 * p_2 + \dots + V_n * p_n \quad (1)$$

Sendo VA a nota de vulnerabilidade ambiental do indicador; V a nota de vulnerabilidade da variável; p o peso, ou ponderação de importância da variável, de 0 a 1, (onde $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$); e n o número de variáveis consideradas para a construção do indicador. O valor de VA foi arredondado sempre que resultou em número decimal, de forma a adequar o valor à classificação de vulnerabilidade estipulada.

A atribuição de peso (p) se deu através de Análise de Sensibilidade, pela metodologia de Padilha, Trevisan e Cruz (2014), que consiste na construção e comparação de cenários com diferentes ponderações para a variável, apontando, através da menor correlação entre eles, qual a ponderação que melhor discrimina a variável no mapa final.

O agrupamento das variáveis para a construção dos indicadores de vulnerabilidade, a junção de indicadores na construção dos meios de influência, bem como o agrupamento dos meios para a construção do mapa final, e suas respectivas ponderações de importância (p), são observadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Variáveis, indicadores, meios de influência e respectivas ponderações para análise multicritério

(continua)

| Variável | Peso (p) no indicador | Indicador | Peso (p) no meio | Meio de influência | Peso (p) no mapa final |
|---------------------------------------|-----------------------|--|------------------|--------------------|------------------------|
| Uso do solo em APP | 0,45 | Áreas de Interesse para a Biodiversidade | 1,00 | Biótico | 0,33 |
| Áreas prioritárias para a conservação | 0,10 | | | | |
| RBMA | 0,45 | | | | |

Quadro 2 – Variáveis, indicadores e meios de influência e respectivas ponderações para análise multicritério

| (conclusão) | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|--|------------------|--------------------|------------------------|
| Variável | Peso (p) no indicador | Indicador | Peso (p) no meio | Meio de influência | Peso (p) no mapa final |
| Litologia | 0,50 | Litologia e Geomorfologia | 0,50 | Físico | 0,33 |
| Geomorfologia | 0,50 | | | | |
| Tipo de solo | 0,50 | Suscetibilidade à Erosão | 0,50 | | |
| Declividade | 0,50 | | | | |
| Uso do solo e cobertura vegetal | 1,00 | Uso e Ocupação do Solo | 0,50 | Antrópico | 0,33 |
| Sistema viário | 0,10 | Infraestrutura e Condição de Vida da População | 0,50 | | |
| Saneamento | 0,45 | | | | |
| IDESE | 0,45 | | | | |

Fonte: Autores.

Por fim, com a geração do mapa de Vulnerabilidade Ambiental Integrada, foi possível identificar as áreas mais propensas à perda da qualidade ambiental na bacia em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

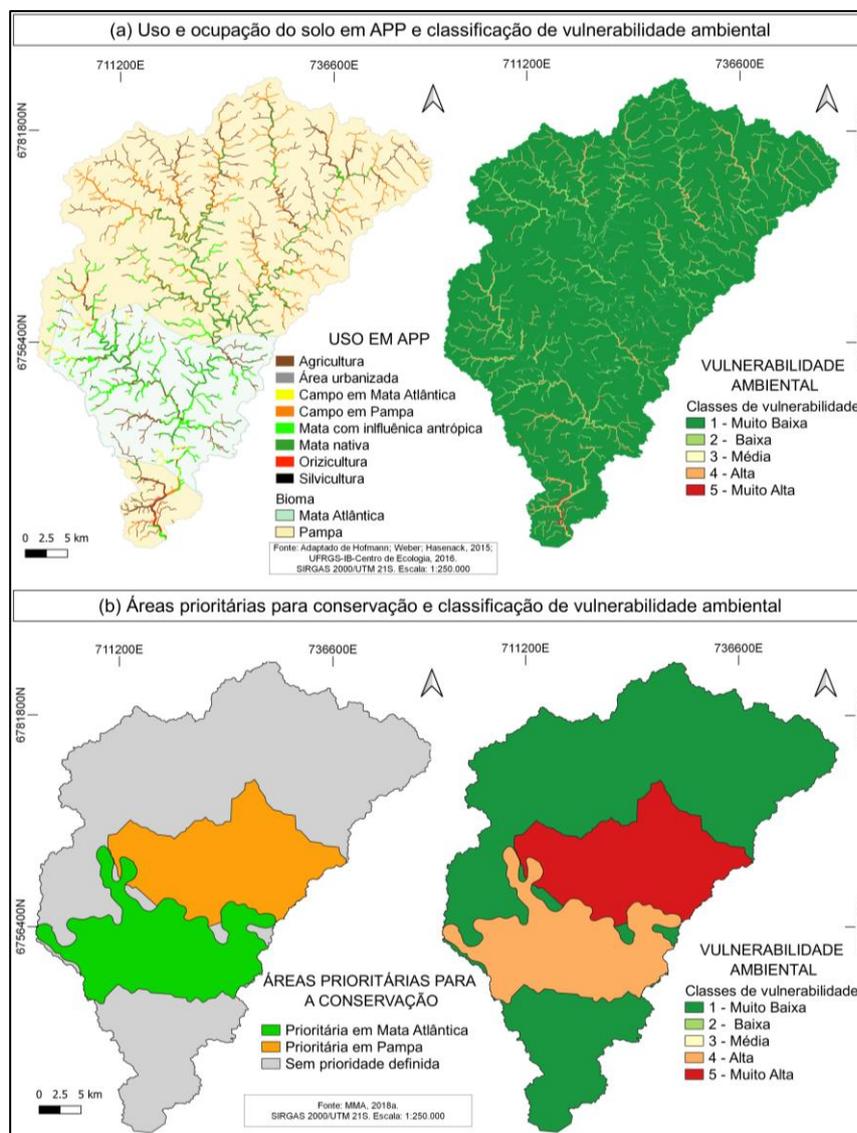
4.1 VULNERABILIDADE AMBIENTAL POR VARIÁVEL

O padrão de uso e ocupação do solo em Área de Proteção Permanente (APP) pode ser observado na Figura 2 (a), bem como sua classificação de vulnerabilidade. Obteve-se uma extensão APP de curso hídrico de aproximadamente 110,40 km² (8,30% da área total da bacia). Baseado em Hofmann, Weber e Hasenack (2015), os usos da terra mais expressivos em APP foram agricultura (33,18% da área de APP) e campo em bioma Pampa (27,97%), ambos predominando na porção norte. O uso de mata nativa foi identificado em 19,18% da área e mata nativa com interferência antrópica em 16,39%, principalmente na porção central e sul da bacia. Em menor representatividade, o uso campo em Mata Atlântica cobre 2,19% da área de APP, ao sudoeste; orizicultura perfaz 0,9%, no extremo sul; área urbanizada, 0,18%, sobretudo a noroeste, onde se encontra também o uso de silvicultura, em menos de 0,01%. Assim, porcentagem significativa da bacia apresentou inconformidade quanto ao uso e ocupação em APP, conferindo um acréscimo de vulnerabilidade principalmente para as regiões de cabeceira e foz.

Quanto às áreas prioritárias para a conservação, existem duas dentro dos limites da bacia do rio Jaguarzinho, referentes aos biomas: Pampa (18,86% da bacia) e Mata Atlântica (18,02%), com prioridades de conservação muito alta e alta. Na Figura 2 (b) observa-se a localização das áreas prioritárias inseridas na bacia, bem como a classificação de vulnerabilidade para as mesmas. A presença dessas áreas e sua situação de prioridade denotam a necessidade de atenção quanto à interferência antrópica nessa região, pois são áreas com particularidades quanto à sua biodiversidade e recursos naturais.

A porção da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA) contida na bacia contou com Zona Núcleo, em 2,58% da área total do território; Zona de Amortecimento, em 60,43% e Zona de Transição, em aproximadamente 19,53%. A ocorrência dessas áreas e sua classificação de vulnerabilidade podem ser observadas na Figura 3 (c). Presume-se que a delimitação abarque corredores ecológicos e áreas com remanescentes florestais da Mata Atlântica. Assim, parcela majoritária da bacia hidrográfica apresenta alguma restrição de uso em prol da proteção da biodiversidade, recebendo classes mais altas de vulnerabilidade.

Figura 2 – Mapas de uso e ocupação do solo em APP (a), localização das áreas prioritárias para conservação (b) e respectivas vulnerabilidades ambientais na bacia hidrográfica do rio Jaguarzinho

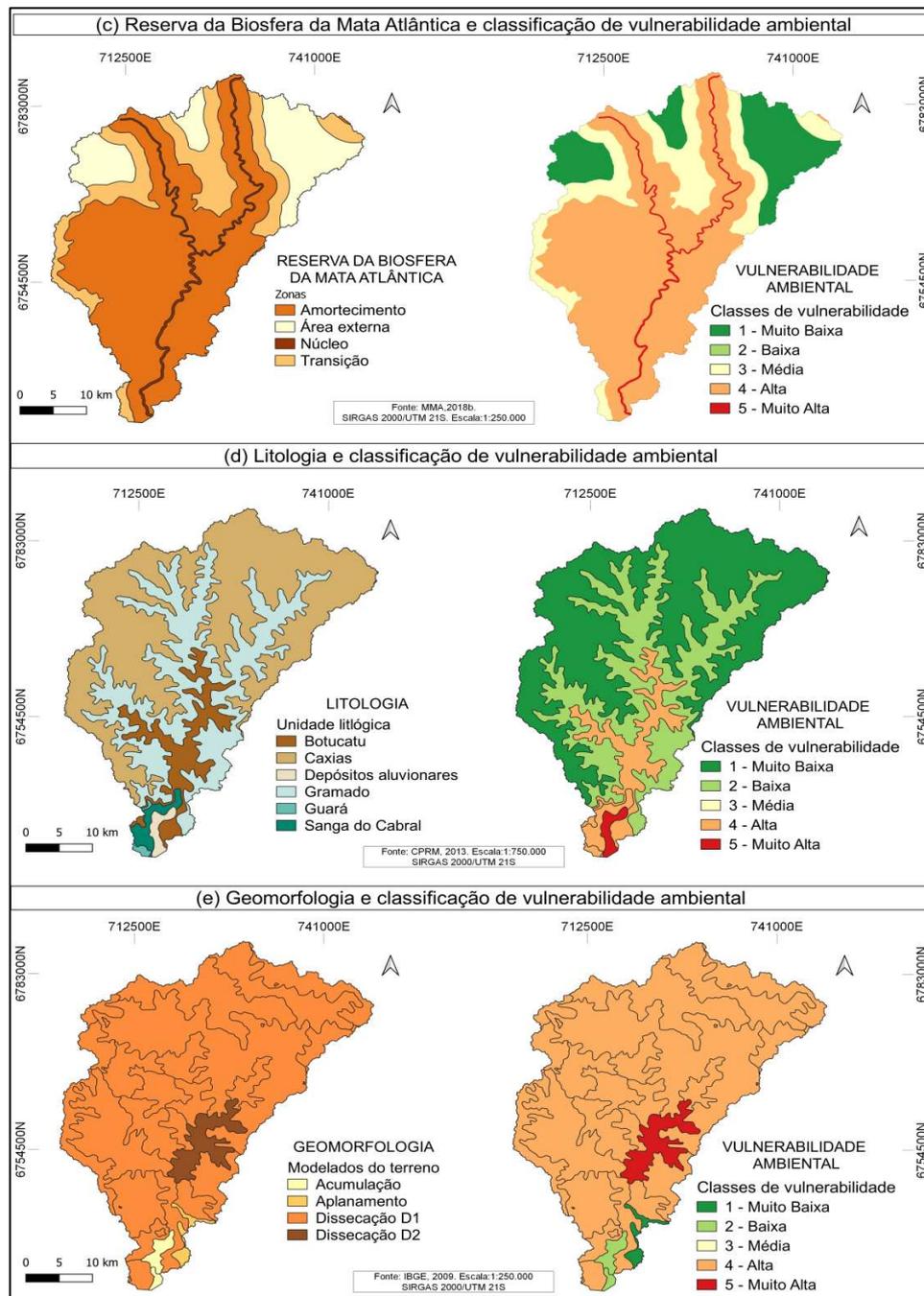


Fonte: autores.

As formações litológicas da bacia, sua localização e classificação de vulnerabilidade podem ser observadas na Figura 3 (d). Devido às formações predominantes (Caxias e Gramado) apresentarem baixo potencial erosivo, a maior parte do território apresentou vulnerabilidade reduzida, exceto regiões mais próximas à foz do rio principal. Nessas porções, depósitos aluviais e formações ricas em arenitos finos conferem baixa resistência à litologia, tornando a região mais suscetível a modificações e danos ambientais.

Quanto à geomorfologia local, os modelados de terrenos identificados foram dissecação com aprofundamento de até 50 m (D1), representando 93,24% da área total; dissecação com aprofundamento de 50 a 100 m (D2), em 4,52%; acumulação, em 1,29%, e aplanamento, em 0,94% do território. Infere-se, assim, que a bacia apresenta grande suscetibilidade para escorregamento de massas, devido ao modelado predominantemente dissecado. A caracterização da variável geomorfologia e respectiva vulnerabilidade é observada na Figura 3 (e).

Figura 3 – Mapas da RBMA (c), formações litológicas (d), geomorfologia (e) e respectivas vulnerabilidades ambientais para a bacia hidrográfica do rio Jaguarizinho



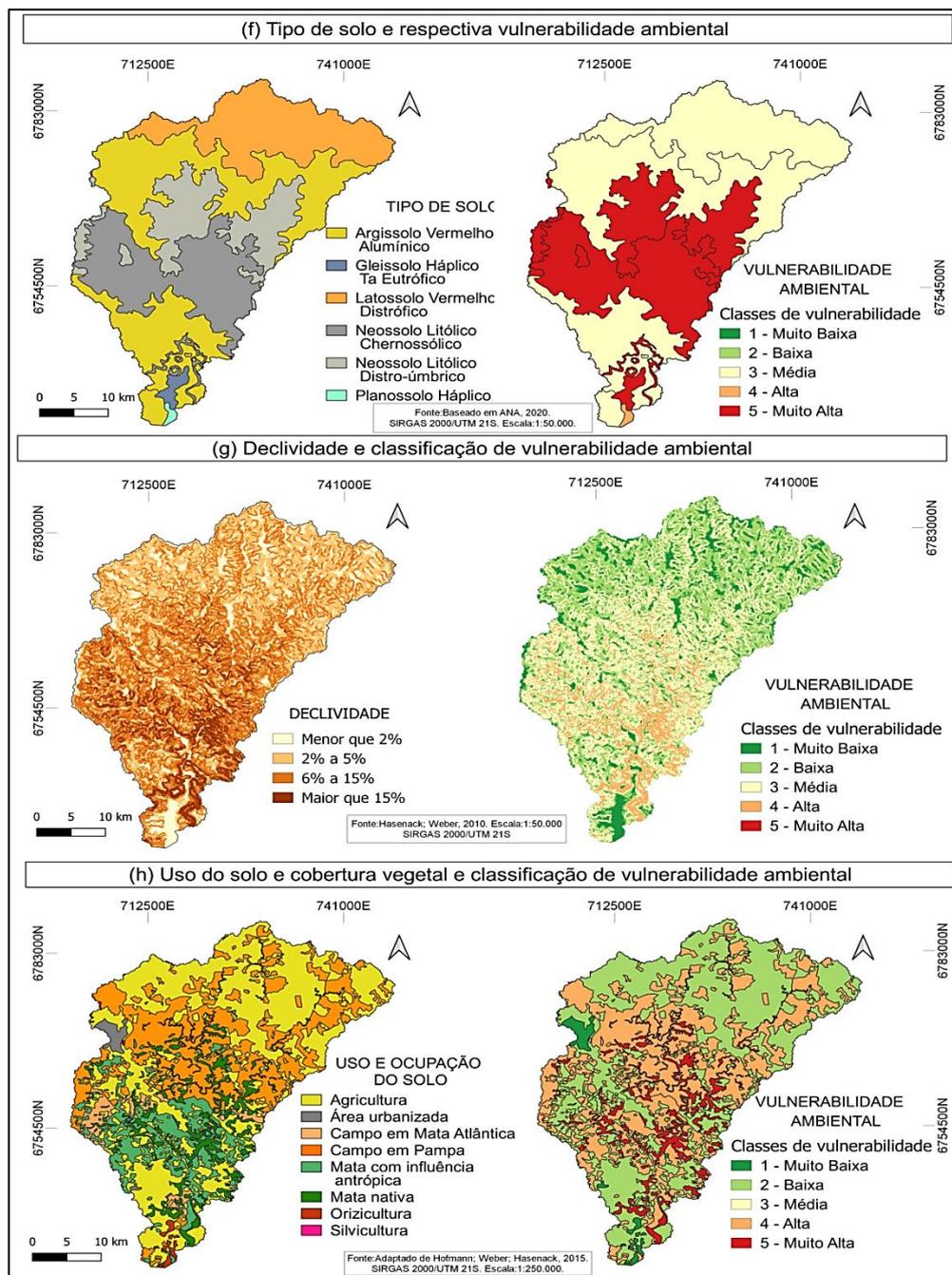
Fonte: autores.

Os solos encontrados foram Argissolo Vermelho (38,02% da área total); Neossolo Litólico Chernossólico (22,75%); Latossolo Vermelho (21,16%) e Neossolo Litólico Distroúmbrico (16,74); além de Gleissolo Háptico (1,00%) e Planossolo Háptico (0,29%) (IBGE, 2015). Os tipos de solo existentes conferiram vulnerabilidade alta para a parte central da bacia e para a foz do rio principal, enquanto as demais porções do terreno apresentaram predominância de vulnerabilidade mediana para essa variável. Na Figura 4 (f), tem-se a caracterização dos tipos de solo e sua classificação de vulnerabilidade ambiental.

Na bacia do rio Jaguarizinho, as declividades inferiores a 2% abrangeram 12,85% da área. Os declives de 2% a 5% ocorreram em 37,89%, distribuídos por todo o território, com maior incidência na porção norte. Predominaram declividades entre 6% a 15%, abrangendo 39,36% do terreno, principalmente na porção central. Declividades superiores a 15% ocorreram em 9,90%, na porção centro-sul (Figura 4 (g)).

A distribuição do uso e ocupação do solo na bacia, bem como a classificação de vulnerabilidade para essa variável, pode ser observada na Figura 4 (h).

Figura 4 – Mapas de tipo de solo (f), declividades (g), uso do solo e cobertura vegetal (h) e respectivas vulnerabilidades ambientais para a bacia do rio Jaguarizinho



Fonte: autores.

Com base nos dados adaptados de Hofmann, Weber e Hasenack (2015) a agricultura destacou-se como o uso predominante (45,48% da área total), seguido de campo em bioma Pampa (29,80%); mata com influência antrópica (12,50%); mata nativa (7,78%); campo em Mata Atlântica (2,74%); área urbanizada (1,09%); orizicultura (0,55%) e silvicultura (0,06%), como se observa na Figura 3 (h). As áreas mais vulneráveis a uma nova ação antrópica ocorreram principalmente na porção central, onde se identificou mata nativa e campo em Pampa. Esses ambientes foram considerados mais propensos a danos uma vez que, frente a uma ação antrópica, teriam uma perda de qualidade ambiental maior do que essa mesma interferência ocorrida, por exemplo, ao norte ou ao sul da bacia, que são regiões já antropizadas e que contam com algum nível de degradação.

Quanto ao sistema viário, as regiões preponderantes na bacia foram relativas às áreas de influência da ferrovia em operação e de rodovias pavimentadas, conferindo vulnerabilidade alta para 45,92% da bacia (Figura 5 (i)). Acredita-se que essas sejam áreas sujeitas a modificações ambientais, como o aumento de ruídos e vibrações, poluição das águas e do ar, alteração da vegetação, relevo e microclima, dentre outros (BRASIL, 2005). Os demais componentes apresentaram extensão de área de influência menos significativa, de forma que o restante do território apresentou baixa vulnerabilidade para impactos do sistema viário.

Figura 5 – Mapa do sistema viário e respectiva classificação de vulnerabilidade ambiental (i)

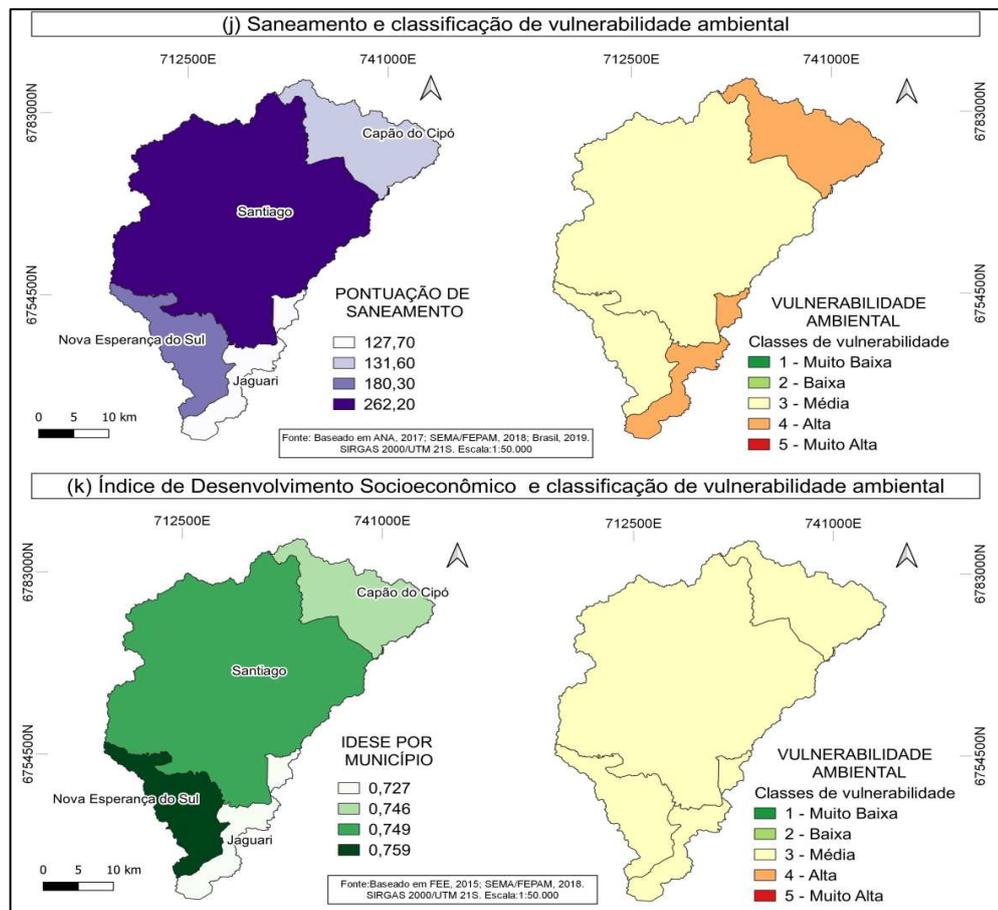


Fonte: autores.

A pontuação de saneamento para os municípios da bacia, considerando o somatório das porcentagens de atendimento à população nos setores de abastecimento de água, esgotamento sanitário e coleta de resíduos, pode ser observada na Figura 6 (j), assim como a situação de vulnerabilidade conferida. Percebeu-se que Santiago e Nova Esperança do Sul detiveram níveis intermediários de saneamento, porém as pontuações obtidas por Jaguari e Capão do Cipó conferiram vulnerabilidade alta ao ambiente, atribuída, principalmente, devido aos menores índices de esgotamento sanitário.

Quanto ao Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (IDESE), em 2015, os municípios da bacia do rio Jaguarizinho apresentaram índices e classificação de vulnerabilidade conforme Figura 6 (k). Como os valores obtidos pelos municípios foram bastante semelhantes, a classificação se mostrou uniforme, apresentando vulnerabilidade média para todo o território.

Figura 6 – Mapas da situação de saneamento (j) e IDESE por município (k), com respectivas vulnerabilidades ambientais para a bacia do rio Jaguarizinho



Fonte: autores.

4.2 VULNERABILIDADE AMBIENTAL POR INDICADOR

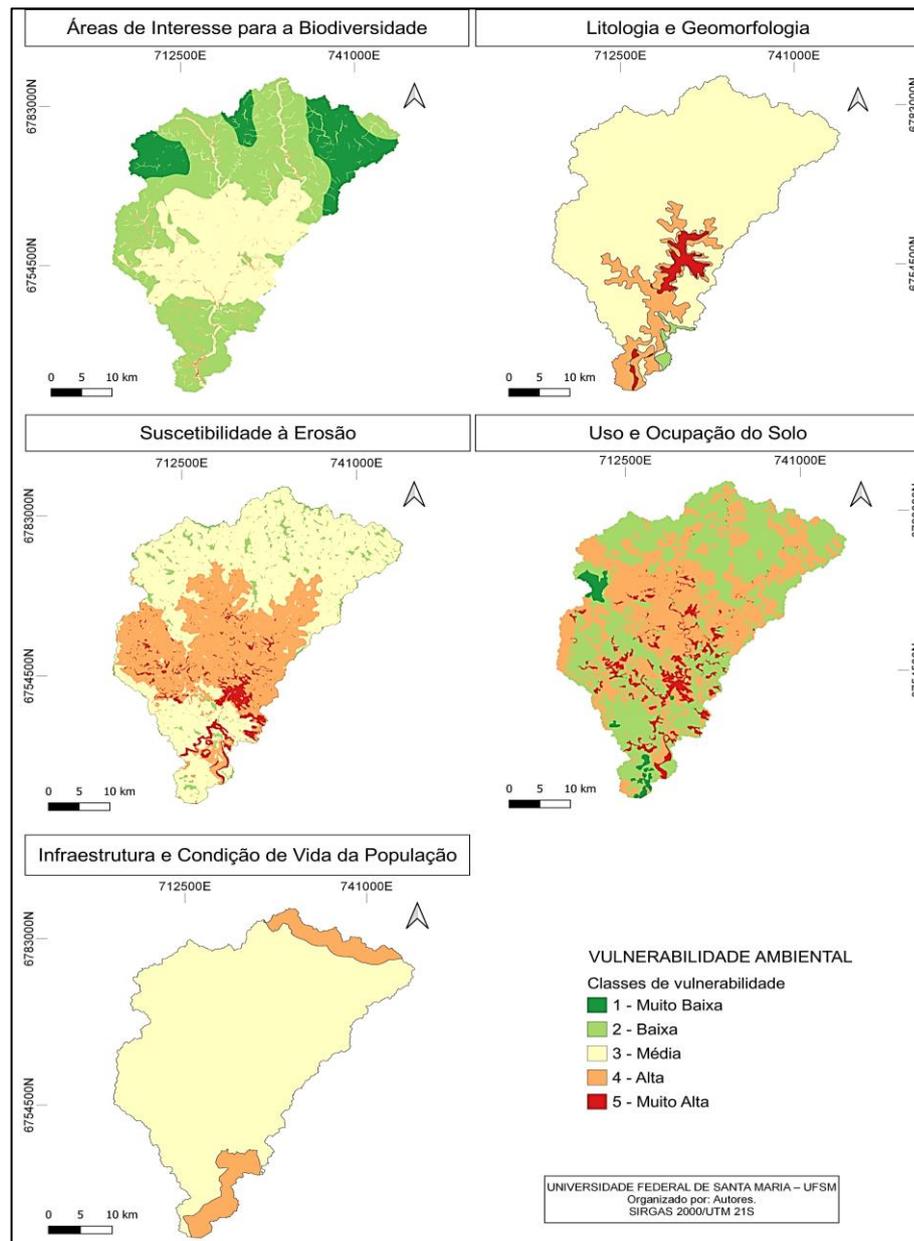
O mapeamento para o indicador Áreas de Interesse para a Biodiversidade expressou predominância de vulnerabilidade muito baixa a baixa, demonstrando que a biodiversidade da região, de acordo com os dados considerados, não apresentou grande propensão a impactos.

Entretanto, na região central, as vulnerabilidades foram mais elevadas para a biodiversidade devido à sobreposição entre os limites da reserva da biosfera e das áreas prioritárias para conservação. Valores mais altos também foram identificados em regiões com conflitos de uso e ocupação do solo nas áreas de APP, distribuídas na bacia, denotando a necessidade de regulação para as atividades humanas nessas regiões.

Quanto ao indicador Litologia e Geomorfologia, observou-se a predominância de vulnerabilidade média, com aumento à medida que se aproxima da foz do rio principal. Assim, a bacia apresentou propensão considerável para modificações nas feições do ambiente natural, principalmente nas áreas ao longo do rio Jaguarizinho.

O indicador Suscetibilidade à Erosão demonstrou que a bacia do rio Jaguarizinho apresenta alta vulnerabilidade à erosão principalmente na região central e parte da região sul, em razão da ocorrência solos com maior potencial erosivo e declividades mais acentuadas. Por outro lado, na porção norte, houve a ocorrência de classes mais baixas por conta da tipologia do solo deter características mais resistentes, além de o terreno contar com menores declividades. Os mapas por indicadores de vulnerabilidade são observados na Figura 7.

Figura 7 – Mapas de vulnerabilidade ambiental por indicador



Fonte: autores.

O indicador Uso e Ocupação do Solo considerou que os menores valores de vulnerabilidade estão associados a áreas onde já ocorrem atividades antrópicas. Desse modo, as porções norte e sul do território mostraram-se menos vulneráveis, contando com a presença predominante do uso agricultura, além da urbanização (noroeste) e orizicultura (extremo sul). Entretanto, a região central foi identificada como a área mais crítica, por conta da maior abrangência de vegetação natural, de mata ou campo, com menor interferência antrópica.

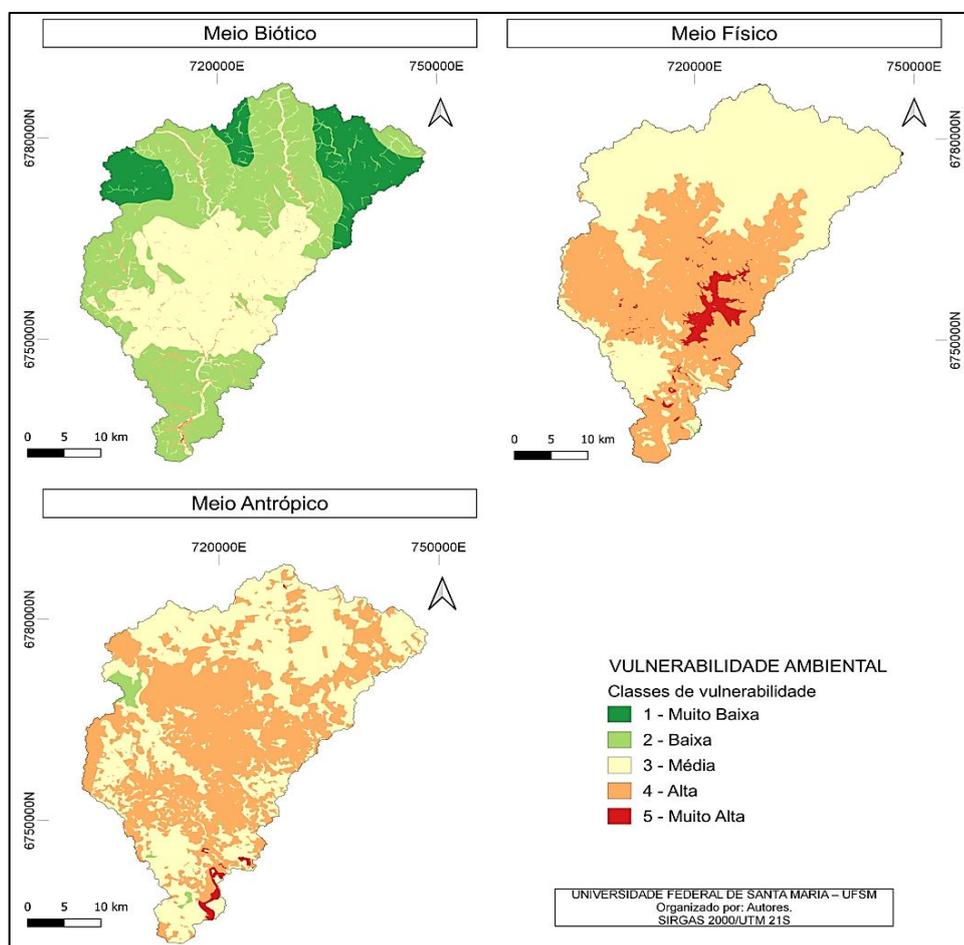
Para o indicador Infraestrutura e Condição de Vida da População, obteve-se predominância de vulnerabilidade média. Os valores mais altos ocorreram em porções das regiões norte e sul da bacia (pertencentes aos municípios de Capão do Cipó e Jaguari, respectivamente), principalmente devido aos baixos níveis de saneamento e IDESE, e ocorrência de áreas de influência de rodovias e de ferrovia ativa, aumentando a probabilidade de modificação do ambiente. Compreende-se que a falta de assistência em setores como

saneamento, saúde, renda e educação pode vir a desencadear pressões no ambiente, de forma que a melhora nos índices de desenvolvimento da população poderia representar uma diminuição da vulnerabilidade e aumento da qualidade ambiental.

4.3 VULNERABILIDADE AMBIENTAL POR MEIO DE INFLUÊNCIA

O mapeamento de vulnerabilidade para o Meio Biótico permitiu inferir que o território apresentou predominância de baixa suscetibilidade a dano quanto ao componente biológico. Entretanto, percebeu-se que a região central demanda maior atenção quanto a esse meio, devido à coincidência entre limites da reserva da biosfera e de áreas prioritárias para a conservação, assim como regiões APP com inconformidades de uso, distribuídas na bacia. Os resultados de vulnerabilidade ambiental por meio de influência são observados na Figura 8.

Figura 8 – Mapas de vulnerabilidade ambiental por meio de influência



Fonte: autores.

A análise do mapa do Meio Físico apontou que as maiores probabilidades de modificações relacionadas à suscetibilidade natural de degradação do solo e modificações nas feições do terreno ocorreram na parte central e sul da bacia. Vulnerabilidades muito altas foram observadas na porção sudeste, nas proximidades do rio Jaguarizinho, relacionadas principalmente à ocorrência de solo pouco resistente à erosão (neossolo), litologia composta por arenito fino, modelados abruptos de terreno e declividades acentuadas. A vulnerabilidade alta predominou na região central, sendo associadas à maior probabilidade de erosão, e ao sul,

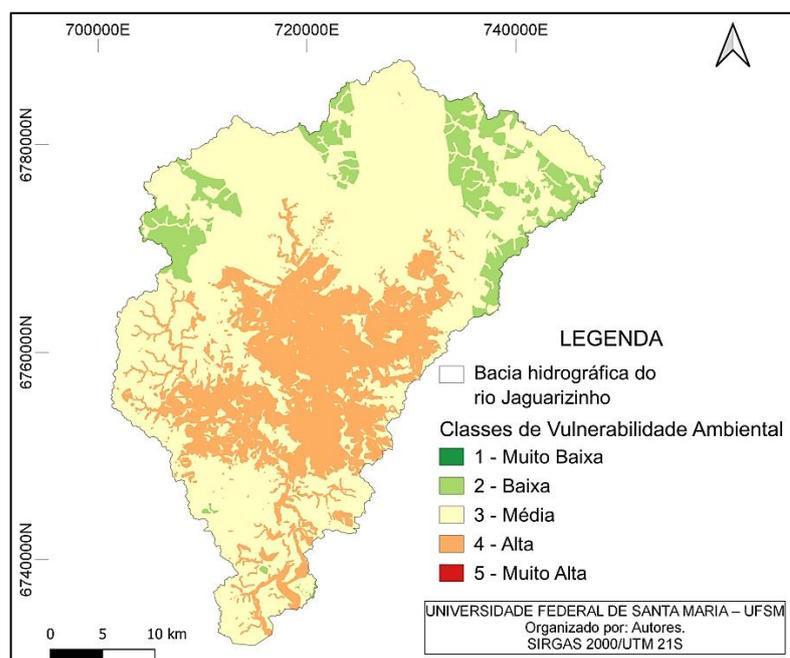
devido às características litológicas e geomorfológicas menos resistentes. Ao norte, a vulnerabilidade média do Meio Físico foi atribuída à moderada propensão à erosão e modificações nas feições naturais do terreno.

Com a análise do mapa do Meio Antrópico, percebeu-se que as pressões advindas de atividades humanas foram distribuídas ao longo de toda a bacia, conferindo maior vulnerabilidade à região central, onde há o predomínio de vegetação natural de campo ou mata, e a condição de vida da população ali inserida é mediana. Na porção sul houve classificação muito alta por conta da existência de mata nativa em local onde os índices de saneamento e desenvolvimento socioeconômico foram mais baixos, além de contar com a interferência do sistema viário. Vulnerabilidades médias e baixas tiveram maior ocorrência nas regiões norte e sul, uma vez que nestes locais já há interferência humana expressiva, e o ambiente se apresenta bastante modificado.

4.4 VULNERABILIDADE AMBIENTAL INTEGRADA PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARIZINHO

O mapa de Vulnerabilidade Ambiental Integrada permitiu identificar as regiões mais críticas para a interferência antrópica na bacia em estudo, sendo evidenciado na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental Integrada para a bacia do rio Jaguarizinho, RS



Fonte: autores.

Observou-se vulnerabilidade baixa em 10,79% da área, ao norte da bacia, em porções com características mais resistentes quanto aos meios Biótico e Físico (sem criticidade para a biodiversidade e menor suscetibilidade à erosão), além de contar com interferência antrópica pré-existente (agricultura e urbanização). Entretanto, a abrangência da classe pode ter sido superestimada pelo modelo, uma vez que as áreas de APP de hidrografia de primeira ordem e de nascentes não foram consideradas. Ressalta-se assim, a necessidade de inclusão dessas áreas de APP para um resultado mais verossímil da vulnerabilidade na bacia.

Vulnerabilidade média foi identificada em 65,86% do território, principalmente nas porções norte e sul, devido à suscetibilidade moderada para erosão ou movimentação de

massas, e características de condição de vida da população. Também se observou baixa vulnerabilidade do meio biótico nessas regiões, atribuída a não ocorrência de áreas prioritárias para a conservação e incidência de Zona de Transição da RBMA, frente ao uso e ocupação do solo predominantemente de agricultura.

Em 23,35% da bacia identificou-se alta vulnerabilidade, principalmente na região central e em porções ao sul, sendo relacionada às características mais vulneráveis dos meios Biótico, Físico e Antrópico simultaneamente. Quanto à biodiversidade, essa é uma região que apresenta delimitação de áreas prioritárias para a conservação e zonas mais restritivas da RBMA, além de contar com áreas de APP com não conformidades de uso e ocupação. Apresenta também probabilidade muito alta para a erosão, dado a existência de solos frágeis e declividades acentuadas, tornando o ambiente bastante suscetível a impactos negativos. Ainda, a presença de vegetação nativa representa maior risco quanto à perda de qualidade ambiental frente a uma nova ação antrópica que possa vir a incidir no meio.

Destaca-se que, na análise integrada, as classes de muito baixa e muito alta vulnerabilidade não foram identificadas pelo modelo. Esse fato pode ser atribuído ao nível de detalhamento e escala dos planos de informações utilizados, além da classificação de vulnerabilidade adotada e do cruzamento de diferentes informações no espaço, causando o abrandamento de valores extremos.

Dessa forma, infere-se que a região central e parte da porção sul da bacia hidrográfica do rio Jaguarzinho são as áreas mais vulneráveis às atividades humanas, tendo o maior potencial de apresentar danos frente à incidência de uma nova ação antrópica. Além das características pouco resistentes a impactos apresentadas pelos componentes dos meios Biótico e Físico, a vegetação natural existente apresenta-se ameaçada quanto ao avanço de atividades de agricultura, pecuária e orizicultura (ROSA; TRENTIN, 2018). Essa região, portanto, deve apresentar maior restrição quanto ao uso e ocupação do solo visando à preservação da qualidade ambiental. Para tanto, dentre outras ações, pode-se promover a valorização dos pontos turísticos da região, destacados pelos seus atributos ambientais.

Já a porção norte foi apontada como a menos suscetível a danos decorrentes de novas ações antrópicas, dado que apresentou características físicas e bióticas mais resistentes, e já se encontra bastante modificada. É considerada apta para a agricultura (SANTOS, 2018), porém, deve-se haver especial atenção quanto às áreas críticas para a biodiversidade, como as zonas restritivas da RBMA e áreas de APP, inclusive aquelas relativas à hidrografia de primeira ordem e nascentes, não consideradas no modelo. Assim, apesar da condição verificada, não significa que a área se encontra livre da ocorrência de danos ambientais, merecendo planejamento específico para garantir seu desenvolvimento de forma sustentável.

5 CONCLUSÃO

O diagnóstico de vulnerabilidade mostrou-se importante quanto à identificação da realidade ambiental local e denotou a necessidade do desenvolvimento de estudos de planejamento e gestão ambiental, norteando e potencializando o desenvolvimento e diminuindo impactos negativos ao ambiente.

Considera-se viável a aplicação do método proposto, pois demanda conhecimento básico em ferramentas de geoprocessamento e utiliza dados secundários de fácil acesso, sendo possível sua utilização por diferentes profissionais em estudos ambientais diversos.

Suas fontes de incerteza referem-se principalmente a quantidade e a qualidade das informações utilizadas, como escala e atualização, assim como a atribuição de classes e notas de vulnerabilidade para as variáveis e a ponderação de importância na análise multicritério, que podem ser aprimoradas a partir de consulta a equipe multidisciplinar de especialistas.

Para a continuidade e aprimoramento do estudo, ressalta-se a necessidade de incluir as delimitações de Áreas de Proteção Permanente relativas à hidrografia de primeira ordem e nascentes na análise. Sugere-se também a realização de uma validação do modelo a partir de uma visitação *in loco* a pontos distribuídos no local de estudo, para verificar a correlação da classificação gerada com a situação ambiental local.

REFERÊNCIAS

- ABES. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Ranking ABES da universalização do saneamento**. 2019. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/Ranking_2019.pdf. Acesso em: 01 out. 2019.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília: ANA, 2017. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br>. Acesso em: 08 ago. 2019.
- AQUINO, A. R. de, *et. al.* Vulnerabilidade ambiental. *In: Vulnerabilidade ambiental*. São Paulo: Blucher, 2017. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/vulnerabilidade-ambiental-20402>. Acesso em 24 ago. 2020.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual rodoviário de conservação, monitoramento e controle ambientais**. 2 ed. Rio de Janeiro: 2005. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Série Histórica**. Brasília: MDR.SNS, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2019.
- BRASIL. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. Disponível em: <https://fld.com.br/portfolio/vulnerabilidade-ambiental/>. Acesso em: 24 ago. 2020.
- FEPAM. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos Ambientais**. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca>. Acesso em: 21 fev. 2020.
- FEE. **Idese**. 2015. Disponível em: <https://arquivofee.rs.gov.br>. Acesso em: 13 set. 2019.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B. de; VIEIRA, V. de P.P.B.; MOTA, S.; ROSA, M. de F.; MIRANDA, S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/877885>. Acesso em 24 ago. 2020.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo>. Acesso em: 17 ago. 2019.
- HOFMANN, G.S.; WEBER, E.J.; HASENACK, H. (org.). **Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2015**. Porto Alegre: UFRGS, Centro de Ecologia, 2015. 1 ed. ISBN 978-85-63843-22-7. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads>. Acesso em: 17 mar. 2020.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2019.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEANDRO, D. **Modelagem de fragilidade ambiental usando índices baseados em dados espaciais e com suporte de sistema especialista**. 2013. 134 p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br>. Acesso em: 02 ago. 2019.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **2º Atualização das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade 2018**. 2018a. Disponível em: <http://areasprioritarias.mma.gov.br>. Acesso em: 18 ago. 2019.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Reserva da Biosfera**. 2018b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br>. Acesso em: 01 set. 2019.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da bacia hidrográfica do Alto Uruguai. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 535-548, jul./set. 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta>. Acesso em: 01 abr. 2020.

ROSA, E. P. da; TRENTIN, R. Zoneamento geoambiental para o município de Jaguarí – RS: um estudo das potencialidades e fragilidades. In: Congresso Brasileiro De Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 13, 2018, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2018. Disponível em: www.ocs.cobrac.ufsc.br. Acesso em: 04 maio 2020.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, dez. 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>. Acesso em: 02 ago. 2019.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, V. S. dos. **Zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Jaguarí – Oeste do RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. Disponível em: <http://w3.ufsm.br>. Acesso em: 15 out. 2019.

SPRÖL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 15, p. 39-49, abr. 2004. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br>. Acesso em: 26 ago. 2019.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 11, 2003. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/3113>. Acesso em: 24 ago. 2020.

TRAUTENMÜLLER, A. C. **Geoprocessamento aplicado na determinação da fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã-RS**. 2018. Monografia (Especialização em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br>. Acesso em: 27 mar. 2020.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1997. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br>. Acesso em: 02 set. 2019.

UFSM/UNIPAMPA. **Projeto FRAG-RIO: Etapa 1. Relatório técnico**. 2009. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br>. Acesso em: 04 set. 2019.