

Análise da Fragilidade Ambiental de Buriticupu-MA com Geoprocessamento: Aplicação do Modelo de Ross (1994)

Ronimar dos Santos¹
Jeferson Souza Pascoal²
Isabel Cristina Morais³
Gustavo Luis Schacht⁴

RESUMO

A fragilidade ambiental é um processo decorrente de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que influenciam a probabilidade e a escala dos danos causados por impactos ou ameaças específicas. Metodologias para avaliar a fragilidade ambiental as propostas por Ross tem se tornado amplamente reconhecidas e está entre a mais citada na literatura. Na análise de fragilidade ambiental a variável "relevo" é fundamental, pois desempenha um papel crucial nos processos de entrada e saída de matéria e energia no sistema ambiental. A fragilidade de um determinado ambiente mensurada através das principais variáveis, declividade do relevo, uso e ocupação do solo e pedologia. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a fragilidade ambiental do município de Buriticupu, Maranhão, utilizando o modelo proposto por Ross (1994), a fim de identificar e mapear as áreas mais suscetíveis à degradação ambiental em função dos fatores naturais e das formas de uso e ocupação do solo. Como principal resultado destaca que o mapa de fragilidade ambiental do município de Buriticupu reflete uma transição entre áreas de muito fraca a forte fragilidade, sem identificação de pontos críticos com fragilidade muito forte.

PALAVRAS CHAVE: Impacto, Variáveis, Qgis.

¹ Graduando do Curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, santosroni@gmail.com;

² Graduando do Curso de Bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, pascoalsouza09@gmail.com

³ Dr (a). Isabel Cristina Moraes: Professor (a) orientador (a) Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, isabelmoraes@ufrb.edu.br

⁴ Dr. Gustavo Luis Schacht: Professor da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, schacht@ufrb.edu.br

ABSTRACT

Environmental fragility is a process resulting from physical, social, economic and environmental factors that influence the probability and scale of damage caused by specific impacts or threats. Methodologies for assessing environmental fragility proposed by Ross have become widely recognized and are among the most cited in the literature. In the analysis of environmental fragility, the variable "relief" is fundamental, as it plays a crucial role in the processes of entry and exit of matter and energy in the environmental system. The fragility of a given environment is measured through the main variables, slope of the relief, land use and occupation and pedology. This study aims to assess the environmental fragility of the municipality of Buriticupu, Maranhão, using the model proposed by Ross (1994), in order to identify and map the areas most susceptible to environmental degradation due to natural factors and forms of land use and occupation. The main result is that the environmental fragility map of the municipality of Buriticupu reflects a transition between areas of very weak to strong fragility, without identifying critical points with very strong fragility.

INTRODUÇÃO

A fragilidade ambiental é um processo decorrente de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, que influenciam a probabilidade e a escala dos danos causados por impactos ou ameaças específicas (UNDP, 2004). Estudos sobre fragilidade e vulnerabilidade ambiental têm atraído crescente interesse da comunidade científica, especialmente devido às diversas aplicações e às múltiplas escalas de análise em diferentes áreas. Metodologias para avaliar a vulnerabilidade ambiental, como as propostas por Crepani et al. (2001), e a fragilidade ambiental, como as desenvolvidas por Ross (1990; 1994), tornaram-se amplamente reconhecidas e estão entre as mais citadas na literatura. Essas metodologias são capazes de serem aplicadas em realidades complexas de áreas vulneráveis e frágeis.

É fato que as metodologias para o estudo da fragilidade ambiental passaram por diversas adaptações ao longo dos anos, especialmente com os avanços tecnológicos que possibilitam a geração de mapas mais integrados, sobreposições e a inter-relação entre os diversos elementos da paisagem. Nessas análises, a variável "relevo" é fundamental, pois desempenha um papel crucial nos processos de entrada e saída de matéria e energia no sistema ambiental.

Gouveia e Ross (2019) destacam que o relevo é a variável que mais sofre adaptações, especialmente devido à falta de detalhamento geomorfológico e à identificação precisa das unidades de relevo. Eles enfatizam a importância das planícies fluviais, frequentemente classificadas como áreas de baixa vulnerabilidade por possuírem declividade suave. No entanto, essa classificação não reflete a real vulnerabilidade dessas áreas, que são frequentemente sujeitas a processos de erosão e inundações.

Guerra e Vieira (2022) observam que a fragilidade ambiental pode variar conforme as características locais, como geologia, solos, relevo, vegetação e clima. Para avaliar essa fragilidade, Ross (1994), baseando-se na metodologia de Tricart (1977), propôs um método que avalia a fragilidade dos elementos naturais da paisagem, denominado fragilidade potencial. Este método considera uma série de parâmetros que ajudam a identificar e quantificar a fragilidade de um determinado ambiente, sendo os principais, declividade do relevo, uso e ocupação do solo e pedologia.

A avaliação da fragilidade ambiental é essencial para compreender a sensibilidade de um ecossistema e identificar as principais atividades que impactam sua sustentabilidade (Cavalcante et al., 2022). As Unidades Ecodinâmicas, mesmo que instáveis, são suscetíveis a intervenções humanas que as modificam. No entanto, apresentam instabilidade potencial qualitativamente previsível, tanto em relação às suas características naturais quanto em função das possíveis ações humanas sobre o meio em equilíbrio natural (Sporl, 2001).

Desta forma, de acordo com Menezes (2019), os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) têm se consolidado como uma ferramenta indispensável para o planejamento ambiental, sendo amplamente utilizados no monitoramento da fragilidade ambiental. O uso do SIG, especialmente na aplicação da metodologia de Ross (1994), permite, por meio da interação entre elementos do meio físico e do meio antrópico, identificar áreas com maior ou menor suscetibilidade à perda de solo, sendo aplicável a qualquer área de interesse, utilizando ferramentas como o QGIS.

Este estudo tem como objetivo avaliar a fragilidade ambiental do município de Buriticupu, Maranhão, utilizando o modelo proposto por Ross (1994), a fim de identificar e mapear as áreas mais suscetíveis à degradação ambiental em função dos fatores naturais e das formas de uso e ocupação do solo. A pesquisa é limitada ao município de Buriticupu, no estado do Maranhão, e visa demonstrar, de forma integrada, o grau de fragilidade ambiental em face dos processos físicos, sejam eles naturais ou antrópicos.

A relevância deste estudo consiste na necessidade de identificar as atividades que influenciam a fragilidade ambiental na cidade em questão. Ao compreender quais fatores contribuem para a fragilidade ambiental no município de Buriticupu, será possível direcionar esforços para preencher lacunas nesse campo, bem como implementar medidas para minimizar os impactos negativos na região.

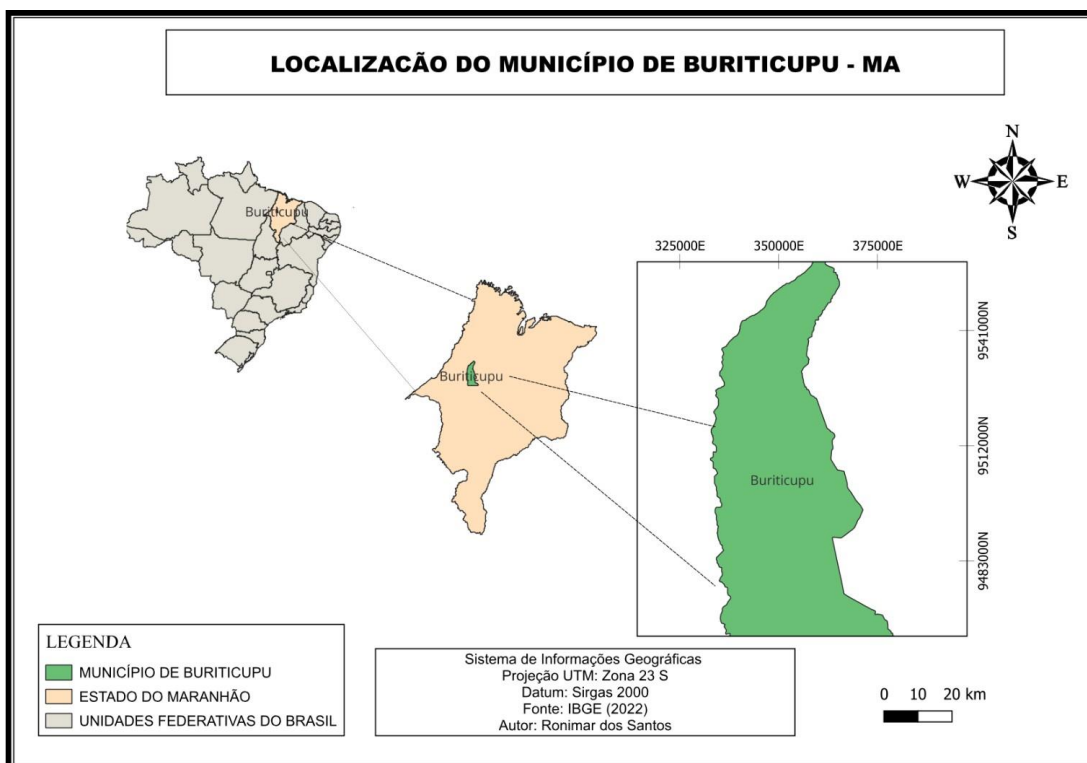
Para tanto, foram realizadas sobreposições do meio físico natural, considerando variáveis como solo, declividade e uso e ocupação da terra. Em seguida, foi derivado o mapa de fragilidade ambiental de acordo com cada variável, utilizando a ferramenta QGIS.

Localização da Área de estudo

Localizado no estado do Maranhão (Figura 1), o município de Buriticupu está inserido na Região de Desenvolvimento da Amazônia Maranhense, conforme a regionalização proposta pelo Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC, 2020). Está situado sob as coordenadas geográficas, ao Norte $05^{\circ}21'08''$ de latitude e $46^{\circ}55'06''$ de longitude; ao Oeste, $47^{\circ}16'47''$ de longitude e $05^{\circ}32'22''$ de latitude; ao Sul, $05^{\circ}40'19''$ de latitude e $47^{\circ}05'08''$ de longitude; e ao Leste, $46^{\circ}53'54''$ de longitude e $05^{\circ}23'10''$ de latitude. O município faz fronteira com Bom Jardim ao Norte, Bom Jesus das Selvas ao Oeste, Amarante do Maranhão ao Sul, e Alto Alegre do Maranhão e Santa Luzia ao Leste.

Buriticupu possui uma extensão territorial de 2.545,44 km² e uma população de 55.499 habitantes (IBGE, 2022). O município está situado no Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú, caracterizado por baixas altitudes, com uma média de 350 metros, e uma superfície predominantemente plana e levemente ondulada (Lima et al., 2017). Inteiramente localizado na Bacia Sedimentar do Pindaré, que representa 12,40% das bacias do estado do Maranhão, Buriticupu tem como principais atividades econômicas a produção extrativa vegetal, a pecuária e a fruticultura (IBGE, 2010).

Figura 1: Localização do Município de Buriticupu.



METODOLOGIA

Para obter resultados que demonstrem os níveis de fragilidade ambiental, serão avaliadas as especificidades referentes à declividade do solo e ao uso e ocupação do solo, conforme proposto por Ross (1994). A avaliação integrada dessas variáveis permitirá identificar as áreas com maior ou menor índice de fragilidade.

Cada variável recebeu valores que variam de 1 a 5, onde o valor 1 corresponde a áreas com grau de fragilidade muito baixo, 2 a fragilidade baixa, 3 a fragilidade média, 4 a fragilidade alta, e 5 a fragilidade muito alta. A identificação de áreas com diferentes graus de fragilidade auxilia na classificação dos impactos ambientais e na sua prevenção.

No que se refere à declividade, a inclinação do terreno influencia fatores como erosão, potencialidades para uso agrícola, restrições à ocupação urbana e práticas de manejo. De acordo com Ross (1994), as classes de declividade fornecem informações sobre o grau de fragilidade de uma área de estudo.

Para este estudo, os dados de declividade foram adquiridos através de imagens de radar, utilizando o plugin Open Topography, que permitiu o download do Modelo Digital de Elevação (MDE). Após a aquisição do MDE, foi realizado o recorte da área de estudo, e sobre essa camada recortada, foram atribuídos valores de fragilidade conforme o método proposto por Ross (1994).

O método de reclassificação por tabela, proposto por Ross, atribui valores a cada classe de declividade de acordo com seu grau de elevação. Os valores de cada classe estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1. Graus de fragilidade da declividade de acordo com o método de Ross (1994).

Classe de declividade	Classe de Fragilidade	Valor
< 6%	Muito Baixa	1
6 a 12%	Baixa	2
12 a 20 %	Média	3
20 a 30 %	Alta	4

> 30%

Muito Alta

5

É importante destacar que o grau de fragilidade varia de acordo com o percentual de declividade. Assim, declividades menores correspondem a classes de fragilidade mais baixa, enquanto declividades mais acentuadas estão associadas a classes de fragilidade mais alta.

Na variável solo, características como textura, estrutura, consistência, grau de coesão e profundidade ou espessura dos horizontes influenciam a fragilidade do ambiente. Ross (1994), ao classificar os graus de fragilidade dos solos em uma determinada área, baseou-se em pesquisas do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e do Instituto Agrônomo de Campinas, em São Paulo, atribuindo diferentes graus de fragilidade de acordo com o tipo de solo e sua textura.

Para a análise dessa variável, os dados foram coletados em plataformas de dados vetoriais gratuitas do BDIA. Em seguida, foi criado um novo campo na tabela de atributos para a variável grau de fragilidade, conforme o método de Ross. A ferramenta “Dissolver” foi então utilizada para unir o arquivo vetorial, que posteriormente foi rasterizado. Este novo arquivo gerado servirá como dado de entrada para o agrupamento das variáveis que compõem o grau de fragilidade. Os valores do grau de fragilidade para esta variável podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2. Graus de fragilidade dos solos de acordo com o método de Ross (1994).

Valor	Classe de Fragilidade	Tipos de solo
1	Muito Baixa	Gleissolo Háptico, Latosolo Amarelo Textura argilosa / muito argiloso
2	Baixa	Latosolo Amarelo textura média / argilosa
3	Média	Argissolo Vermelho Amarelo textura

4	Alta	Argissolo Vermelho – Amarelo textura média / argilosa

Por fim, foi considerada a variável de uso e ocupação do solo para mensurar o grau de fragilidade ambiental do município de Buriticupu. Para essa análise, utilizou-se a plataforma de dados do MapsBiomass, de onde foi baixado um arquivo matricial (Raster), posteriormente recortado para a área de estudo (Buriticupu). Para atribuir o grau de fragilidade, foi necessário converter esse arquivo para o formato vetorial, criando uma nova coluna denominada "grau de fragilidade". Após esse processo, o arquivo foi dissolvido e, em seguida, rasterizado.

De acordo com Santos (2004), o uso e ocupação das terras refletem as atividades humanas que podem exercer pressão e impacto sobre os elementos naturais. Lopes et al. (2016) afirmam que a análise do uso da terra e da cobertura vegetal é uma ferramenta essencial para o planejamento do uso racional dos recursos naturais. Nesse contexto, Ross (1994) propõe uma classificação dos graus de fragilidade, que varia de acordo com a cobertura vegetal. Na área de estudo, os tipos de uso e ocupação do solo estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3. Graus de fragilidade de uso e ocupação da terra no município de Buriticupu, de acordo com o método de Ross (1994) .

Valor	Grau de Fragilidade	Tipos de cobertura do solo
1	Muito Baixa	Formação Florestal
1	Muito Baixa	Formação Savânica
3	Média	Silvicultura
4	Alto	Campo alagado e Área Pantanosa

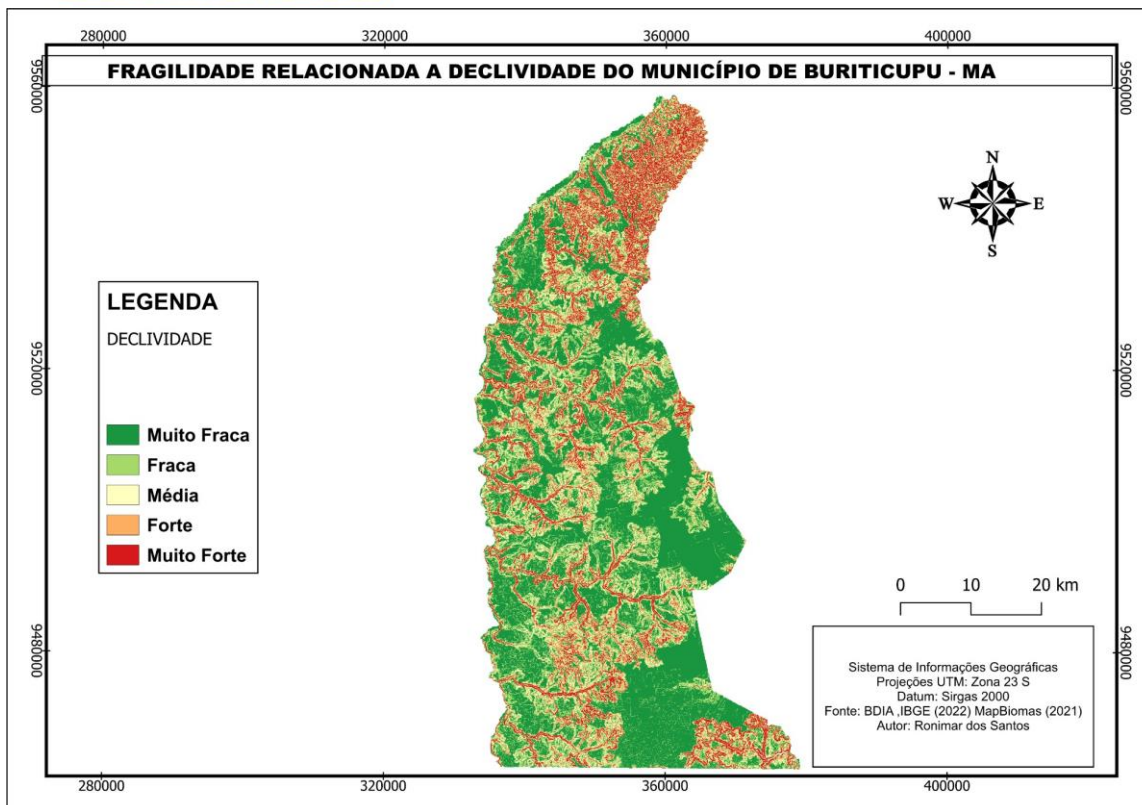
	Média	Pastagem
	Muito Alta	Área urbanizada
	Alta	Soja
	Baixa	Rio, Lago e Oceano
	Muito Alta	Outras lavouras temporárias

O valor da fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo foi atribuído de acordo com a cobertura correspondente a cada forma de uso. Foi atribuído valores menores às coberturas vegetais que exercem maior proteção ao solo, e valores maiores às áreas de menor proteção.

Elaboração dos Mapas Síntese de Fragilidade Ambiental com base no Modelo de Ross (1994)

Após atribuir os valores de fragilidade para todas as variáveis, como mencionado anteriormente, foram gerados mapas de fragilidade para cada uma delas. Esses mapas foram posteriormente combinados, resultando no produto final que será apresentado nos resultados deste trabalho. Em relação à declividade, após a atribuição dos valores de fragilidade, o município de Buriticupu apresentou a configuração mostrada na Figura 1.

Figura 1: Fragilidade de Buriticupu - MA relacionada à declividade.



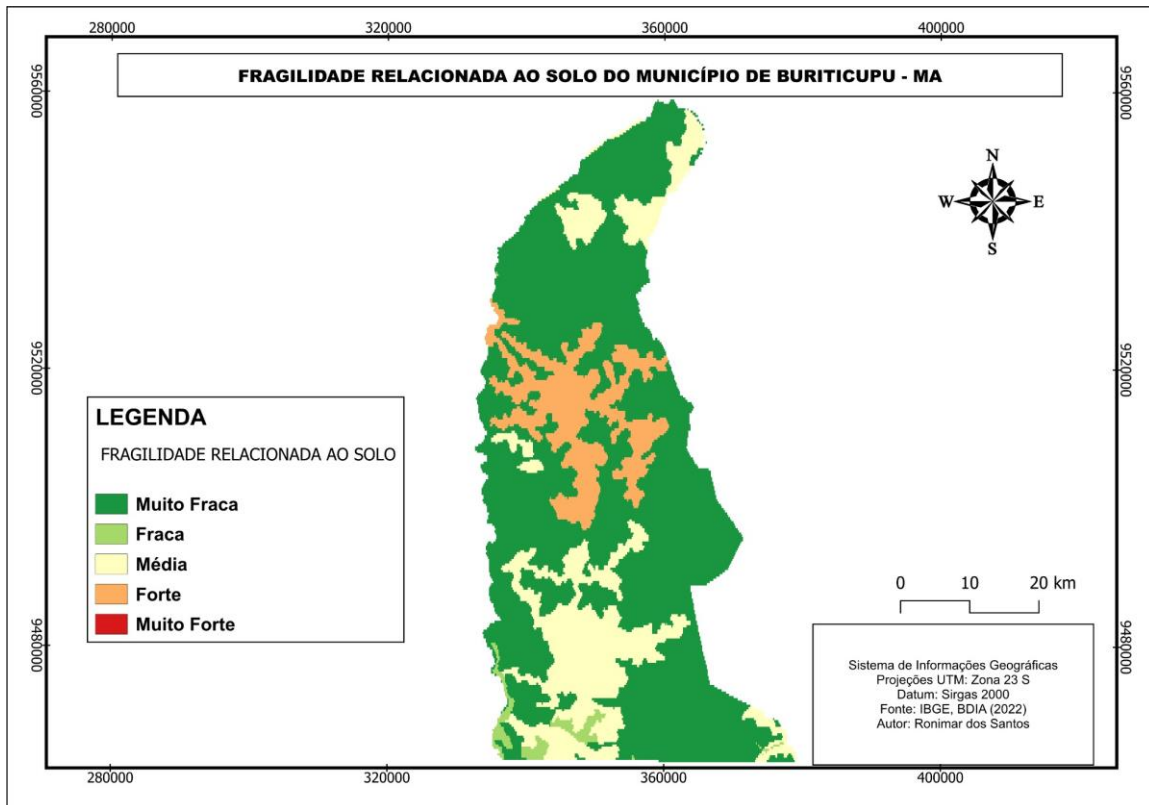
Fonte: Autoria própria.

Como mostrado na figura acima, as áreas em vermelho correspondem às regiões com maior declividade, indicando um grau de fragilidade mais elevado, conforme a metodologia proposta por Ross (1994). Em contrapartida, as áreas em verde representam regiões com menor declividade, associadas a um grau de fragilidade menor no que diz respeito à variável declividade. As áreas com tonalidades mais claras representam zonas de transição entre as partes mais elevadas (em vermelho) e as menos declivosas (em verde), apresentando um grau de fragilidade médio.

No que se refere à variável pedológica, foi gerado um mapa de fragilidade com base nas classes de solo existentes em cada área. Este mapa será integrado ao mapa final para refletir a fragilidade real do município de Buriticupu. Os tipos de solo presentes na área de estudo e seus respectivos graus de fragilidade estão listados na Tabela 2, mencionada anteriormente.

A partir da atribuição dos valores de fragilidade para cada tipo de solo na área, foi gerado um mapa síntese (Figura 2), que destaca as áreas com maior grau de fragilidade em relação à variável pedológica.

Figura 2: Fragilidade de Buriticupu, relacionado a variável pedológica.

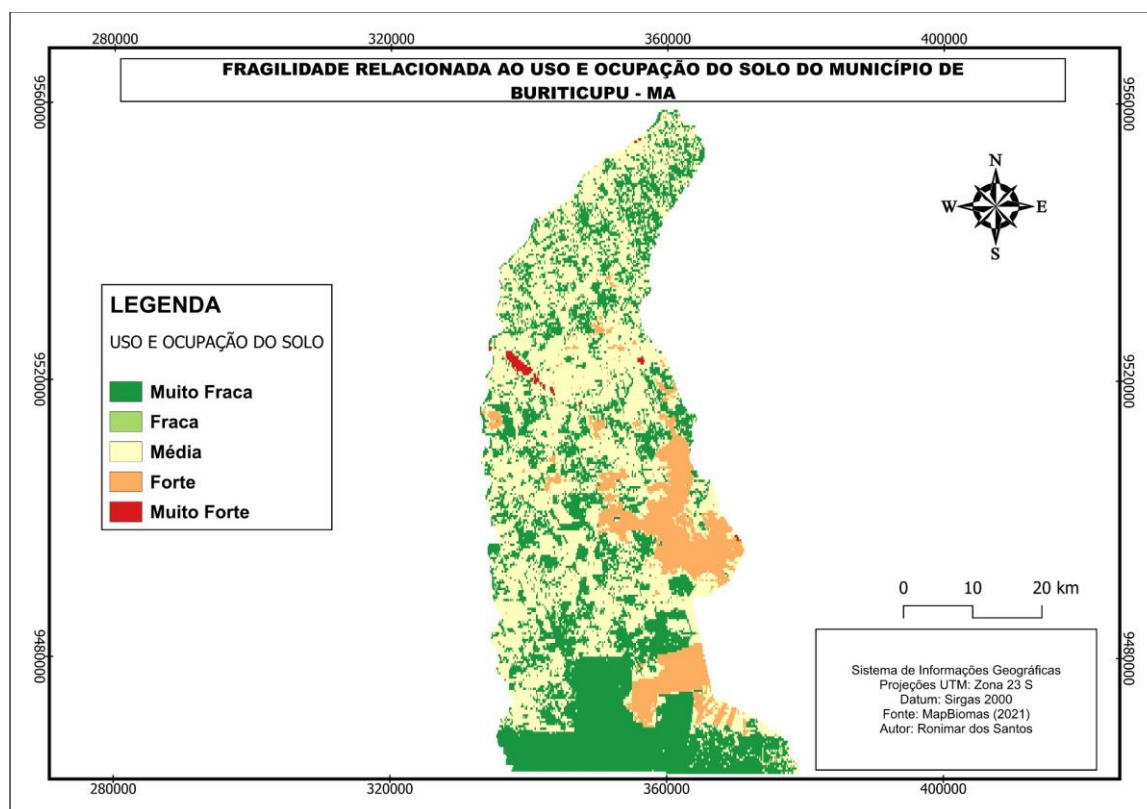


Fonte: Autoria própria.

No que se refere à variável solo, o município apresenta predominantemente baixa fragilidade, com alguns pontos de fragilidade média. A porção central do município, no entanto, demonstra uma fragilidade mais acentuada em comparação às demais áreas.

A última variável analisada foi o uso e ocupação do solo (Figura 3). Conforme proposto por Ross (1994), cada atividade recebe um valor de fragilidade, que, somados, representam as áreas com maior fragilidade. Os valores atribuídos a cada tipo de cobertura e uso do solo podem ser verificados na Tabela 3.

Figura 3: Fragilidade de Buriticupu relacionada ao uso e ocupação do solo.



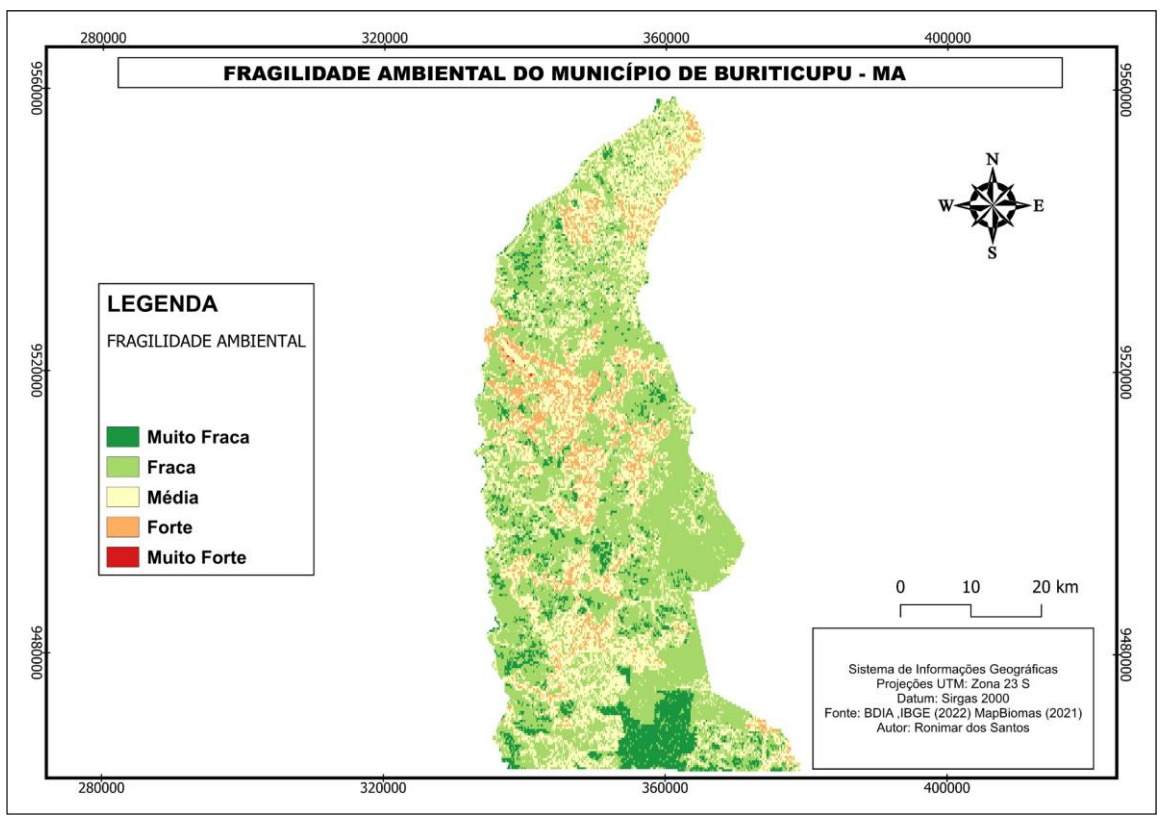
Fonte: Autoria própria.

No que diz respeito à variável de uso e cobertura do solo, o grau de fragilidade predominante no município varia de baixo a médio. Na porção mais a leste, observa-se uma área com fragilidade ligeiramente mais elevada. Vale destacar que os mapas apresentados até o momento refletem a fragilidade em relação a cada variável proposta no modelo de Ross (1994). O produto final, integrando todas as variáveis, será apresentado na seção de resultados.

RESULTADOS

Como resultado, foram agrupados os dados com os graus de fragilidade das variáveis mencionadas acima. Como pode ser observado na figura 4, o município de Buriticupu apresenta áreas com graus de fragilidade ambiental que variam de muito fraca a forte.

Figura 4: Mapa de fragilidade ambiental do município de Buriticupu.



Fonte: Autoria própria.

As áreas de muito fraca fragilidade são as menos representativas e ocorrem na porção sul do município de Buriticupu, onde a declividade é inferior a 6%, conforme os valores atribuídos no mapa de declividade. O tipo de solo que apresenta o grau de fragilidade baixa na área de estudo é o Gleissolo Háplico e Latossolo Amarelo. Em relação ao tipo de cobertura de vegetação que apresenta baixa fragilidade na área de estudo é a formação florestal ou savânica. Por tanto, esses fatores contribuíram para que essa porção mais ao sul, tivesse baixa fragilidade.

As áreas de fraca fragilidade ocorrem majoritariamente em boa parte da área de estudo. Também corresponde a áreas de declividades menores que 6%. Quando comparado com o mapa de solo, as áreas que apresentam fraca fragilidade, é coberta Gleissolo Háplico, Latossolo Amarelo de Textura argilosa / muito argiloso conforme visto na Tabela 2. Em contrapartida, essas áreas apresentam uma cobertura do solo pautada na silvicultura e

pastagem, conforme mostra a tabela 3 de uso e cobertura do solo. Acredita-se que a baixa fragilidade desses locais se deve muito a resistência do tipo de solos e as baixa declividade.

A classe de média fragilidade ambiental também é bem representativa na área de estudo, compreende a parte da porção norte, sul e a parte mais central do município. São áreas que apresentam declividade que variam de 12% a 20%, sendo coberta por solos de média fragilidade como os Argissolos Vermelho - Amarelo de textura média / argilosa e argilosa, e de alta fragilidade como Argissolo Vermelho - Amarelo textura média / argilosa. Em relação ao uso e cobertura do solo, também predomina a silvicultura e a pastagem.

As áreas de forte fragilidade ambiental são observadas nas porções norte, noroeste e central do município. A classe de forte fragilidade compreende vertentes com declividades que variam entre 12% a 30%. O tipo de solo que predomina nessa região é o Argissolo Vermelho - Amarelo de textura média/ argilosa. São Áreas de Campos alagados e Área Pantanosa, com possível cultivo de soja. A grau de fragilidade dessa área, está atrelado a uma declividade mais acentuada, além do tipo de solo que predomina nessa porção. O uso e cobertura do solo foi outro fator primordial para elevar o grau de fragilidade.

Na plotagem do mapa, não foram identificados pontos críticos com o grau de fragilidade muito forte. O grau de fragilidade transitou entre os grau de muito fraca, fraca, média e forte.

Conclusão

Diante do exposto, conclui-se que a metodologia de Ross (1994) se mostrou eficiente para análise de fragilidade ambiental no município de Buriticupu. Foi possível analisar que as áreas com a fragilidade muito baixa são restritas e localizadas principalmente na porção sul do município. Já as áreas de fraca fragilidade abrangem grande parte do município, principalmente onde a declividade é menos acentuada com cerca de 6%.

As áreas de média fragilidade estão distribuídas nas porções norte, sul e central do município, onde a declividade varia entre 12% e 20%, e os solos são de média a alta fragilidade, como os Argissolos Vermelho-Amarelo. Nessas regiões, a silvicultura e pastagem são as principais formas de uso do solo.

As áreas que apresentam elevada fragilidade ambiental foram identificadas nas porções norte, noroeste e central do município, onde a declividade é mais acentuada, variando entre 12% e 30%, e o solo predominante é o Argissolo Vermelho-Amarelo. Nessa área a cobertura do solo é composta por áreas pantanosas e campos alagados, com possível cultivo de soja, o que contribuiu para elevar o grau de fragilidade nessas regiões.

De modo geral, o mapa de fragilidade ambiental do município de Buriticupu reflete uma transição entre áreas de muito fraca a forte fragilidade, sem identificação de pontos críticos com fragilidade muito forte. No entanto, isso não significa que a região não carece de medidas de gestão e mitigação para minimizar os impactos ambientais negativos.

Referências:

CAVALCANTE, J. C., LIMA, A. M. M. DE, SILVA, J. C. C. DA, HOLANDA, B. S. DE, & ALMEIDA, C. A. Fragilidade ambiental potencial e emergente da bacia do Rio Mocajuba - PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(3). 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1417-1433>

GOUVEIA, I. C. M. C.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. **Revista Do Departamento De Geografia**, São Paulo, v. 37, 2019. <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.151030>.

GUERRA, L. C.; VIEIRA, E. M., 2022. Socioenvironmental Vulnerability Analysis of the Piracicaba River Basin as an environmental indicator for the management of water resources. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 04 1926-1946. 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.4.p1926-1946>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Censo Demográfico 2000 e 2010**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>. Acesso agosto de 2024.

Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. **Regiões de desenvolvimento do estado do Maranhão: proposta avançada**. São Luís: IMESC, 2020.

LIMA, J.S., CAJAIBA, R.L., MARTINS, J.S.C., PEREIRA, K.S., SOUSA, E.S. **Composição gravimétrica de resíduos sólidos em escolas públicas e privadas no Município de Buriticupu, MA.** Scientia Amazonia, v. 6, p. 11-16, 2017.

MENEZES, E. P. **Análise de fragilidade ambiental da bacia do ribeirão Bom Jesus utilizando técnicas de sistemas de informações geográficas: subsídios para o planejamento de paisagem - Pedregulhos, São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, University of São Paulo, São Paulo, 2019. doi:10.11606/D.8.2019.tde-29012021-180437.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SPORLI, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata.** Dissertação de Mestrado. São Paulo: FFLCH – USP, 2001.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN). Rio de Janeiro. 1977.

UNDP, UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development.** A global report. Nova York: UNDP - Bureau for crisis prevention and recovery (BRCP), 2004.