

GEOTECNOLOGIAS PARA ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO PARQUE NACIONAL DAS NASCENTES DO RIO PARNAÍBA

Ivis Rodrigues dos Santos¹

Kaíse Barbosa de Souza²

Marcília Martins da Silva³

RESUMO

A conservação de áreas protegidas enfrenta desafios crescentes devido à expansão agrícola e às mudanças no uso do solo. O Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, localizado entre os estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia, desempenha um papel crucial na manutenção da biodiversidade e dos recursos hídricos da região. Objetivou-se com este estudo analisar a vulnerabilidade ambiental do parque em função da alteração da paisagem, por meio do uso de geotecnologias. A metodologia envolveu a análise de dados geológicos, pedológicos, de declividade e de uso do solo para classificar as áreas do parque quanto ao nível de vulnerabilidade. Os resultados indicaram que a maior parte do parque apresenta baixa vulnerabilidade, mas há áreas críticas classificadas como de alta e muito alta vulnerabilidade, especialmente em regiões de maior declividade e solos frágeis. A pesquisa reforça a importância das geotecnologias no monitoramento ambiental e na gestão sustentável de unidades de conservação, permitindo a identificação de áreas prioritárias para ações de preservação. Além disso, destaca-se a necessidade de políticas públicas eficazes e do envolvimento comunitário para garantir a proteção do parque a longo prazo.

Palavras-chaves: Preservação; Declividade; Monitoramento; Agrícola; Vegetação.

ABSTRACT

The conservation of protected areas faces increasing challenges due to agricultural expansion and changes in land use. The Parnaiba River Springs National Park, located between the states of Maranhão, Piauí, Tocantins and Bahia, plays a crucial role in maintaining the region's biodiversity and water resources. The objective of this study was to analyze the environmental vulnerability of the park due to changes in the landscape through the use of geotechnology. The methodology involved the analysis of geological, pedological, slope and land use data to classify the park's areas according to their level of vulnerability. The results indicated that most of the park has low vulnerability, but there are critical areas classified as high and very high vulnerability, especially in regions with greater slope and fragile soils. The research reinforces the importance of geotechnologies in environmental monitoring and sustainable management of conservation units, allowing the identification of priority areas for preservation actions. Furthermore, the need for effective public policies and community involvement is highlighted to ensure long-term protection of the park., and land-use data to classify park areas according to their vulnerability levels. The results indicated that most of the park has low vulnerability; however, critical areas classified as high and very high vulnerability were identified, particularly in regions with steep slopes and fragile soils. The research highlights the importance of geotechnologies in environmental monitoring and the sustainable management of conservation units, enabling the identification of priority areas for preservation actions. Furthermore, it emphasizes the need for effective public policies and community engagement to ensure the park's long-term protection.

Keywords: Preservation; Slope; Monitoring; Agricultural; Vegetation.

Data de aprovação: 14/02/2025 (data de apresentação do TCC)

¹ Ivis Rodrigues dos Santos. Graduando em Tecnologia em Gestão Ambiental. IFPI Campus Corrente. Ivisrodrigues39@gmail.com.

² Engenharia Florestal – UFPI. Doutora em Ciências Florestais - UFES. Email: kaisesouza172@yahoo.com.br.

³ Tecnóloga em gestão ambiental -IFPI, mestra em conservação de recursos naturais do cerrado IF Goiano. E-mail: marcilima.martins@ifpi.edu.br.

1 INTRODUÇÃO

A expansão agrícola e as mudanças no uso do solo representam desafios significativos para a conservação de áreas protegidas, como o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. A pressão exercida pela agricultura, somada à transformação das paisagens naturais em áreas cultivadas, tem gerado impactos consideráveis na estrutura e na funcionalidade dos ecossistemas (DUTRE *et al.*, 2022).

O desenvolvimento agrícola nas proximidades do parque tem sido impulsionado pela demanda crescente por alimentos e *commodities* agrícolas (FERREIRA, *et al.*, 2021). Esta expansão, muitas vezes desordenada, resulta na conversão de áreas florestais e de vegetação nativa em campos agrícolas, comprometendo a integridade dos ecossistemas. As mudanças no uso do solo, como desmatamento, práticas de cultivo intensivo e uso inadequado de agrotóxicos, contribuem para a degradação do solo, a perda de biodiversidade e a contaminação dos recursos hídricos (CHAVES, *et al.*, 2020). Tais impactos (HIRATA, *et al.*, 2019) são particularmente preocupantes em áreas de nascentes, onde a proteção das águas é fundamental para a manutenção dos fluxos hídricos e da qualidade da água.

Nesse contexto, a geotecnologia se destaca como uma ferramenta essencial para a compreensão e gestão dos recursos naturais, especialmente em áreas ambientalmente sensíveis como o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

A geotecnologia engloba um conjunto de técnicas e ferramentas, como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG) e modelagem ambiental, que permitem a coleta, análise e interpretação de dados espaciais e geográficos (GRITTI, *et al.*, 2023). Estas tecnologias possibilitam a identificação de áreas de risco, o monitoramento de mudanças no uso do solo e o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes. A aplicação dessas técnicas no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba permite uma visão integrada e detalhada da dinâmica ambiental, facilitando a tomada de decisões informadas para a preservação e recuperação dos recursos naturais do parque (Dias, *et al.*, 2020)..

O Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba desempenha um papel crucial na conservação da biodiversidade e na proteção dos recursos hídricos na região. Como uma das principais áreas de nascentes do Rio Parnaíba, o parque é vital para a manutenção dos fluxos hídricos que abastecem diversas comunidades e ecossistemas ao longo do seu percurso (ICMBIO, 2015). Além disso, o parque abriga uma rica diversidade de flora e fauna, muitas das quais são endêmicas e ameaçadas de extinção. A conservação dessas espécies e de seus habitats é essencial para a preservação da biodiversidade regional e para o equilíbrio ecológico (Lira, *et al.*, 2022).

A implementação de geotecnologias no monitoramento e análise da vulnerabilidade ambiental do parque oferece uma abordagem proativa na gestão de seus recursos naturais. Técnicas de sensoriamento remoto permitem a obtenção de imagens de satélite e dados aéreos de alta resolução, que são utilizados para mapear e monitorar mudanças no uso do solo e identificar áreas críticas de desmatamento e degradação (Souza *et al.*, 2023). Sistemas de informação geográfica (SIG) facilitam a análise espacial e a integração de diversos tipos de dados, como topografia, hidrografia, vegetação e uso do solo, possibilitando a criação de modelos preditivos e a identificação de áreas prioritárias para a conservação (Oliveira *et al.*, 2018).

Modelagens ambientais, por sua vez, são utilizadas para simular cenários futuros e avaliar os impactos potenciais de diferentes práticas de manejo e políticas de uso do solo. Estas modelagens ajudam a identificar as áreas mais vulneráveis e a desenvolver estratégias de mitigação que minimizem os impactos negativos da expansão agrícola e outras atividades humanas (SANTOS; LIMA; SILVA, 2023). A integração dessas ferramentas permite uma gestão mais eficiente e sustentável do parque, garantindo a proteção de seus recursos naturais e a manutenção dos serviços ecossistêmicos que ele proporciona.

Além das ferramentas tecnológicas, a participação comunitária e a educação ambiental são componentes fundamentais para o sucesso da conservação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. Envolver as comunidades locais na gestão e na tomada de decisões aumenta a conscientização sobre a importância da conservação e promove práticas sustentáveis de uso do solo (SILVA; PEREIRA, 2022).

Programas de educação ambiental ajudam a disseminar conhecimentos sobre a biodiversidade do parque e os benefícios de sua preservação, incentivando a adoção de comportamentos que contribuam para a proteção do meio ambiente. Em resumo, a geotecnologia oferece um conjunto de ferramentas poderosas para a análise da vulnerabilidade ambiental e a gestão sustentável do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

A aplicação dessas tecnologias permite monitorar e mitigar os impactos da expansão agrícola e das mudanças no uso do solo, garantindo a preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos da região. A conservação deste parque é de extrema importância não só para a proteção dos ecossistemas locais, mas também para o bem-estar das comunidades humanas que dependem dos serviços ecossistêmicos que ele proporciona (MOURA et al., 2022).

Através de uma abordagem integrada que combina tecnologia, participação comunitária e educação ambiental, é possível promover um desenvolvimento sustentável e equilibrado, assegurando a proteção dos valores ecológicos, culturais e socioeconômicos do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (Improta et al., 2020). Objetivou-se com este estudo analisar a vulnerabilidade ambiental do parque em função da alteração da paisagem, por meio do uso de geotecnologias.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

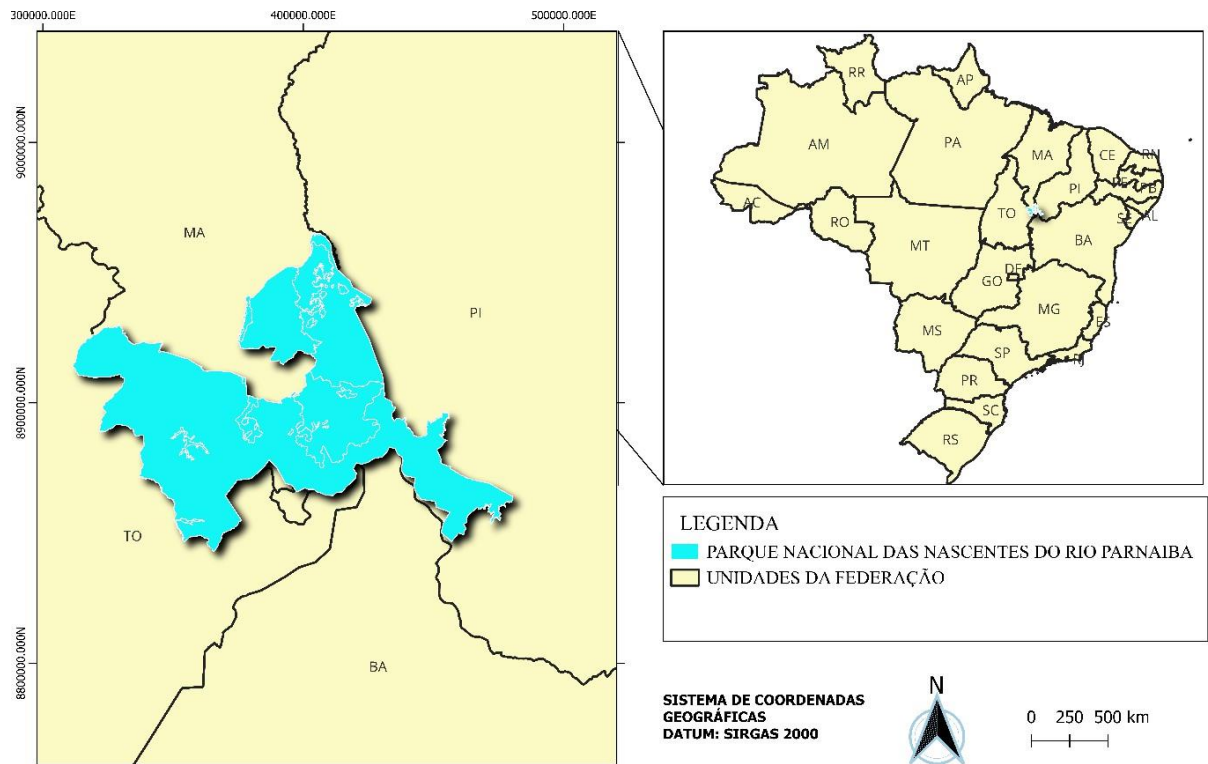
O estudo foi realizado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP), uma unidade de conservação de proteção integral, localizada nos platôs da Chapada das Mangabeiras (Mapa 1). Criado por decreto em 16 de julho de 2002, o parque possui aproximadamente 729.774,18 hectares e abrange os estados do Maranhão (46,2%), Piauí (35,8%), Tocantins (14,6%) e Bahia (3,4%), estando presente nos municípios de Formosa do Rio Preto (BA), Alto Parnaíba (MA), Gilbués, São Gonçalo do Gurguéia, Barreiras do Piauí e Corrente (PI), além de Mateiros, São Félix e Lizardo (TO) (ICMBIO, 2015).

A vegetação predominante no PNNRP é o Cerrado, apresentando diversas fitofisionomias, como campos limpos, veredas, cerrado stricto sensu e matas de galeria, que desempenham um papel fundamental na manutenção dos recursos hídricos da região, incluindo as nascentes do rio Parnaíba. A biodiversidade da unidade é expressiva, com a presença de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (ICMBIO, 2015).

Apesar de seu status de proteção integral, a área enfrenta ameaças como o desmatamento para a expansão agropecuária, incêndios florestais e processos erosivos, especialmente em áreas de solos frágeis. Essas pressões contribuem para a degradação ambiental e aumentam a vulnerabilidade do ecossistema, comprometendo a conservação da fauna, da flora e dos recursos hídricos (Rusca et al., 2017).

A zona de amortecimento do parque, que se estende por 3 km além dos seus limites (Mapa 1), é essencial para reduzir os impactos das atividades antrópicas e garantir a preservação dos serviços ecossistêmicos da região (Melges et al., 2021).

Mapa 1: Localização do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.



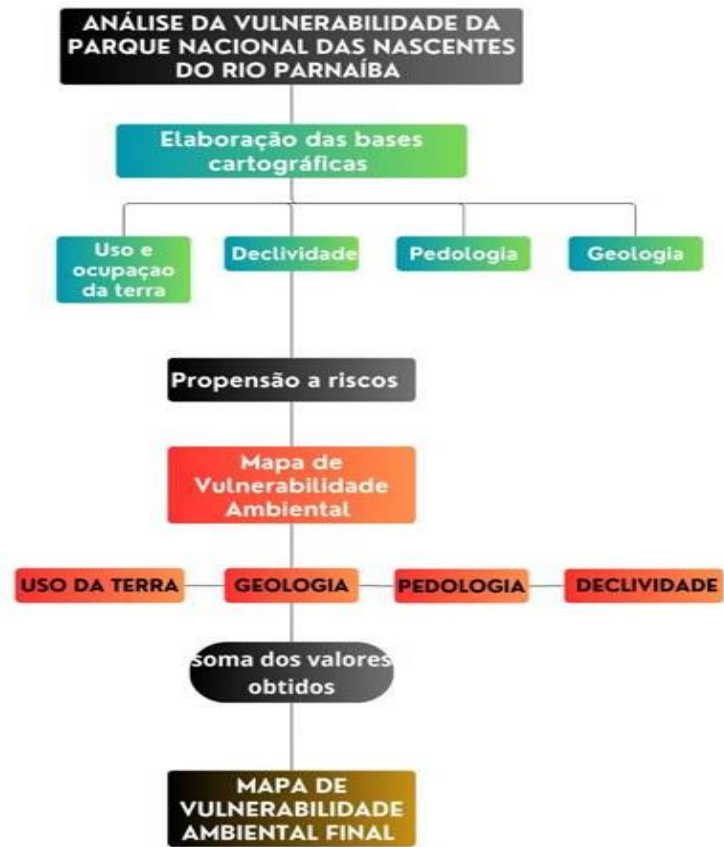
Fonte: elaborado pelo autor

2.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A metodologia adotada consistiu no cálculo de indicadores de vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, considerando suas características físicas. Esse processo foi fundamentado por meio de um levantamento bibliográfico sobre fragilidade ambiental, com o objetivo de determinar valores de suscetibilidade para cada classe identificada nos mapas.

De acordo com o estudo de Oliveira e Moreau (2021) optou-se pela adaptação dessa metodologia em que os riscos de vulnerabilidade são classificados de 1 a 5 de acordo com autor, onde esses valores foram adaptados às características físicas do Parque em estudo. Destaca-se que nessa escala, os valores mais próximos de 1 indicam menor risco de vulnerabilidade (maior grau de estabilidade) e quanto mais próximo de 5, maior será o risco de vulnerabilidade (menor grau de estabilidade) para a área de estudo. Os levantamentos e integração dos dados cartográficos foram realizados no aplicativo computacional gratuito QGIS 3.34.3. As etapas metodológicas estão apresentadas na (Fluxograma 1).

Fluxograma 1: Fluxograma com as etapas metodológicas da pesquisa



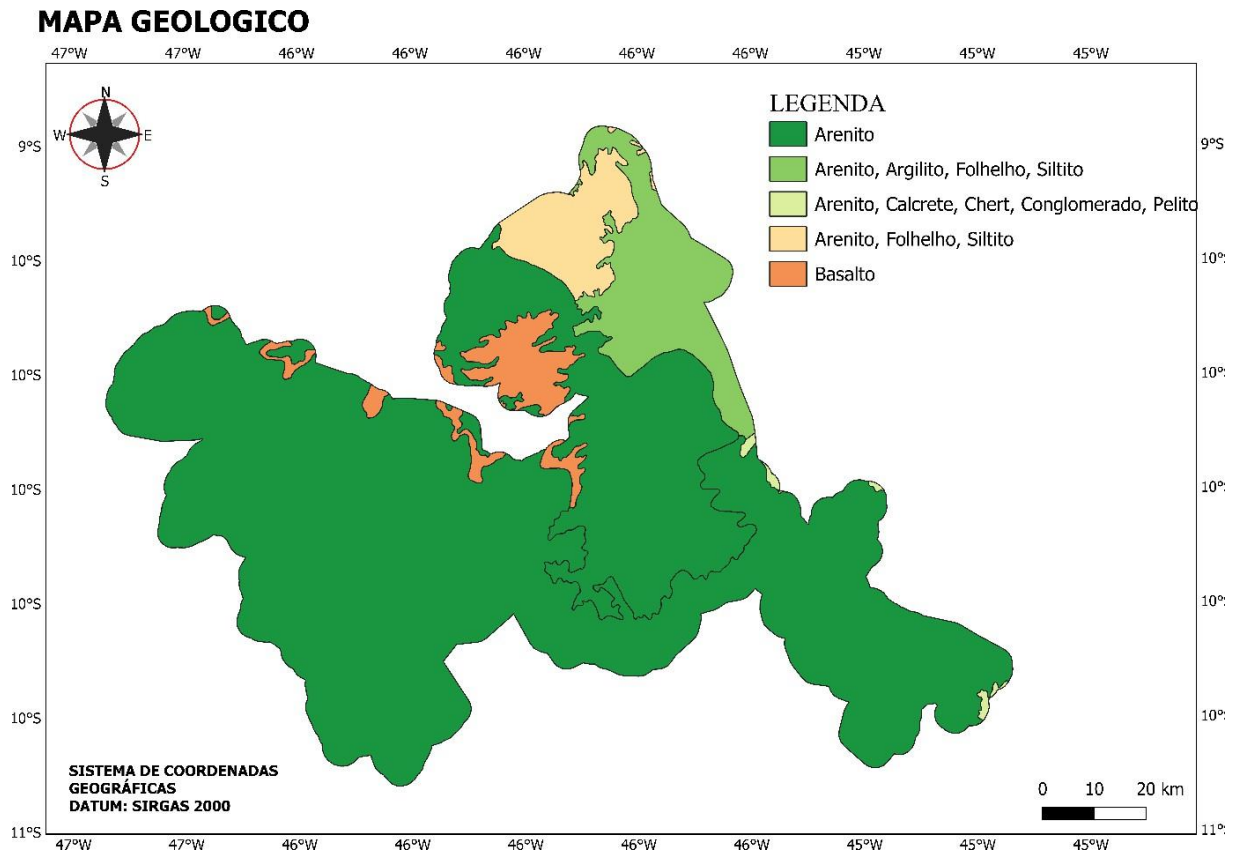
Fonte: elaborado pelo autor

A primeira etapa foi a aquisição dos dados *shapefile* e *geotiff* para a elaboração de bases cartográficas necessárias para a pesquisa, que foram: uso e ocupação da terra, declividade, pedologia e geologia. Após esta etapa realizou-se a classificação dos dados de acordo com os seus riscos para a área de estudo e, em seguida, foi realizada a sobreposição das bases cartográficas classificadas a soma para a obtenção necessária para o mapa final de vulnerabilidade.

2.2.1 Mapa Geológico

Para elaboração do mapa geológico (Mapa 2), foram utilizados os dados em formato *shapefile* disponíveis no site da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM, 2024), elaborados em escala 1:1.000.000.

Mapa 2: Mapa Geológico



Fonte: Elaborado pelo autor

Às classes encontradas foram atribuídos os valores de vulnerabilidade demonstrados na (Tabela 1) para elaboração do raster, estabelecidos com base na idade das formações (tempo geológico) e fragilidade (tipo litológico e classe rochosa). Formações mais antigas, tipos graníticos e gnáissicos com rochas ígneas e metamórficas receberam valores de vulnerabilidade mais baixos, entendendo que possuem maior resistência aos processos erosivos e movimentos de massa (Tavares et al., 2020).

Tabela 1: Valores de Vulnerabilidade Ambiental atribuídos às classes de litologia

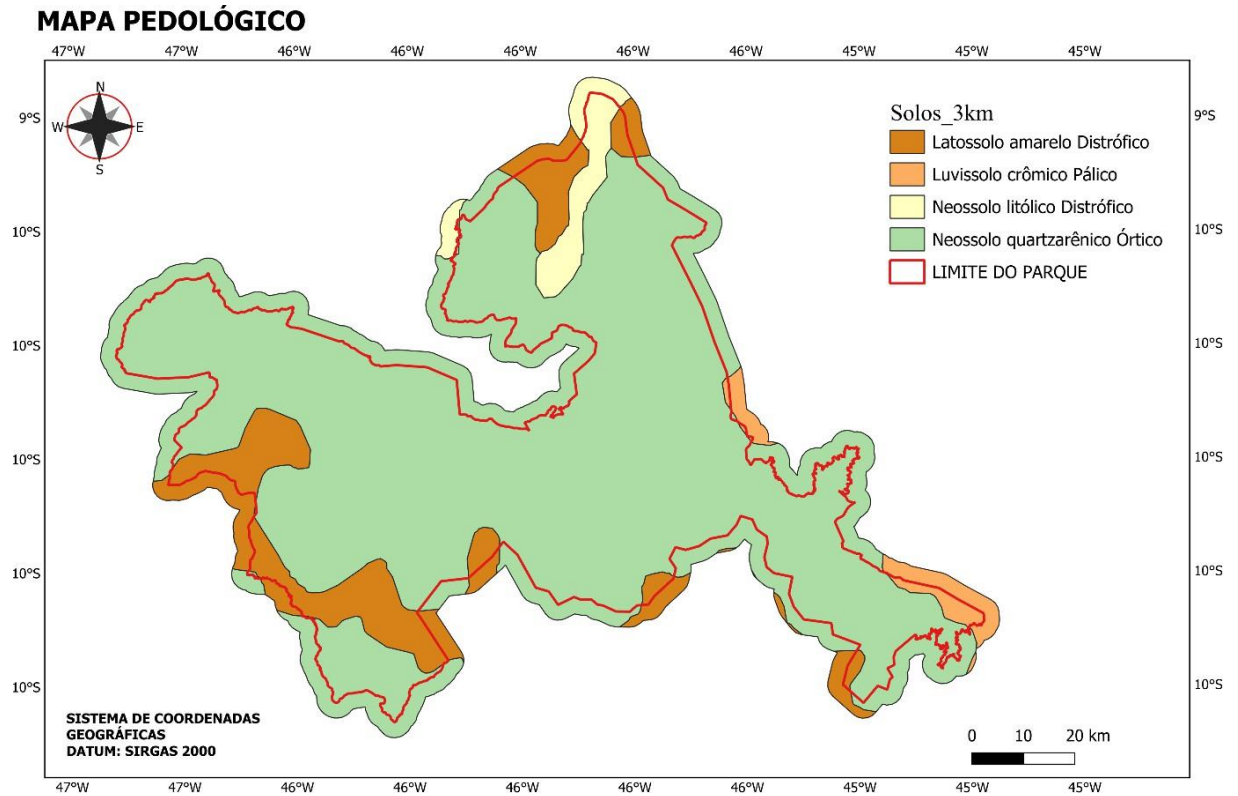
Tempo geológico	Tipo litológico	Classe rochosa	Valor de vulnerabilidade
Paleozoico Mesozoico	Arenito, Argilito, Folhelho, Siltito	Rocha sedimentar	2,7
Mesozoico (Cretáceo)	Basalto	Ígnea(Vulcânic)	1,5
Neoproterozoico – Paleozoico	Arenito, Calcrete, Chert, Conglomerado, Pelito	Rocha sedimentar	2,5
(Paleozoico - Cenozoico)	Arenito	Rocha sedimentar	2,7
Paleozoico - Mesozoico	Arenito, Folhelho, Siltito	Rocha sedimentar	2,7

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.2 Mapa Pedológico

O mapa de solos foi gerado com base nos dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024) em formato shapefile, na escala de 1:5.000.000, (Mapa 3).

Mapa 3: Mapa pedológico



Fonte: Elaborado pelo autor

Foram consideradas apenas as classes de solo predominantes para reclassificação no formato matricial segundo os valores mostrados na (Tabela 2).

Tabela 2: Valores de Vulnerabilidade Ambiental atribuídos às classes de solos.

Classe Predominante de Solo	Valor de Vulnerabilidade
Latossolo amarelo Distrófico	2,0
Neossolo quartzarênico Órtico	3,0
Luvisolo crômico Pálido	2,3
Neossolo litólico Distrófico	2,8

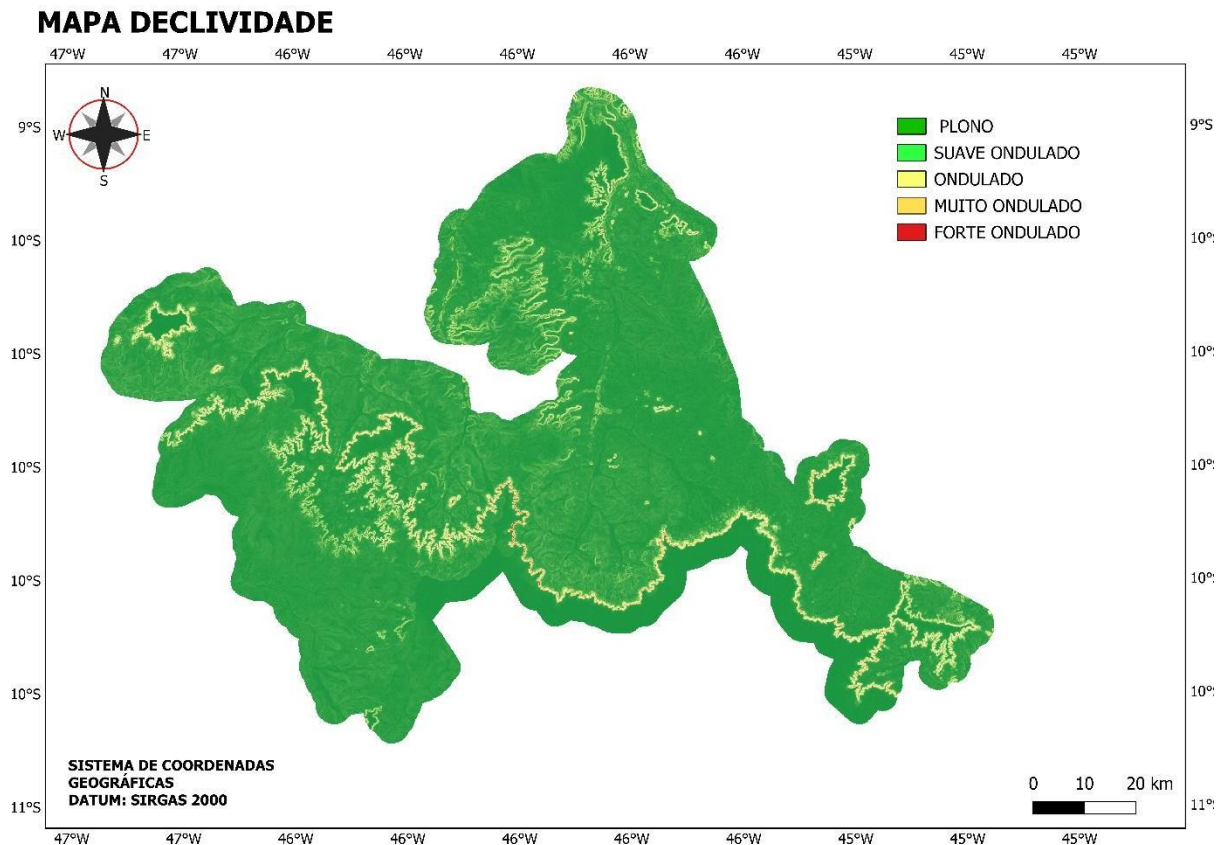
Fonte: elaborado pelo autor

Os valores foram estabelecidos com base na maturidade dos solos, isto é, solos jovens, poucos desenvolvidos, onde (SOUZA et al., 2024). Prevaecem processos erosivos de morfogênese recebem valores mais altos de vulnerabilidade; já os solos mais maduros, lixiviados e bem desenvolvidos, onde as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, recebem valores mais baixos.

2.2.3 Mapa de Declividade

O mapa de declividade (Mapa 4). foi gerado a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação). O MDE foi oriundo do radar Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) com uma resolução espacial de 30 m. Essas imagens matriciais foram disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS e Weber; Hasenack; Ferreira (2004), onde seu processamento envolveu o preenchimento de falhas existentes nos dados originais através de interpolação e conversão para valores inteiros.

Mapa 4: Mapa de declividade



Fonte: Elaborado pelo autor

Logo após, utilizou-se a ferramenta “transformar *raster* para vetor” disponível no software QGIS para transformar o mapa de declividade em formato matricial em vetor, possibilitando classificar as classes apresentadas de acordo com sua vulnerabilidade. Considerou-se os relevos mais ondulados como mais susceptíveis a erosão, atribuindo-se os valores de vulnerabilidade mais elevados, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Valores de Vulnerabilidade Ambiental atribuídos aos intervalos de declividade

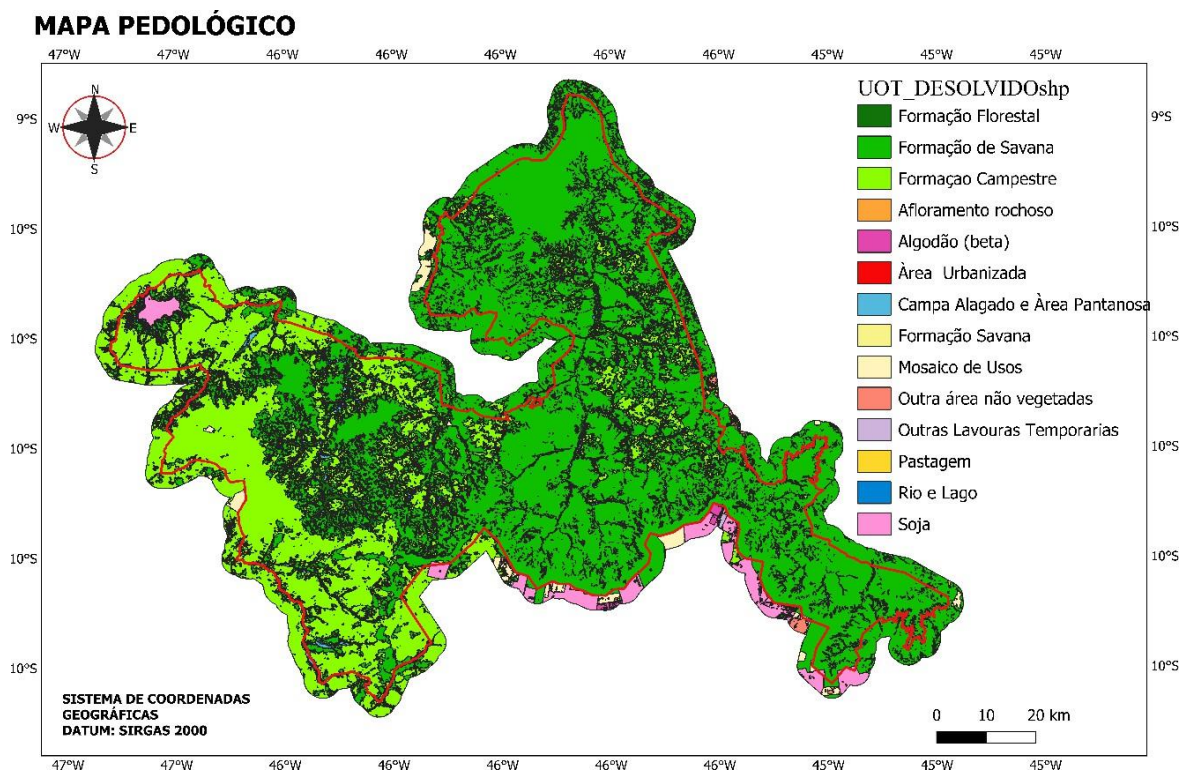
Classe de relevo	Declividade (%)	Valor de Vulnerabilidade
Plano	0 – 10	1,0
Suave ondulado	10-20	2,0
Ondulado	20 – 30	3,0
Muito ondulado	30 – 45	4,0
Forte Ondulado	45 – 110	5,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2.3 Mapa de Uso e Ocupação do Solo

Para o mapa de uso e ocupação do solo (Mapa 5), os dados foram obtidos no site do Mapbiomas, coleção 9.0 e com resolução espacial de 30 m. As imagens foram exportadas a partir da plataforma em nuvem Google Earth Engine. O MapBiomas é um conjunto de dados que descreve a dinâmica anual da cobertura e uso da terra nos biomas brasileiros e todos os mapas anuais são produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites Landsat.

Mapa 5: Mapa de Uso e Ocupação do Solo



Fonte: Elaborado pelo autor

A escolha do ano 2023 se justifica por ser o período mais recente disponível e escolha da utilização do produto MapBiomas refere-se à sua disponibilidade, acessibilidade e aplicabilidade com os dados pré-classificados. Os valores de vulnerabilidade levaram em consideração o papel da vegetação como cobertura protetora da paisagem. A ausência de cobertura vegetal favorece processos como erosão, compactação do solo e perda de biodiversidade. A classe rio e lagos foram atribuídos a altos índices de vulnerabilidade, devido à sua susceptibilidade à deflagração de processos erosivos (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de Vulnerabilidade Ambiental para as categorias de uso e ocupação do solo

Classes	Valor de Vulnerabilidade
Formação Florestal	1,0
Formação de Savana	1,5
Campa Alagado e Área Pantanosa	1,3
Formação Campestre	1,7
Pastagem	5,0
Mosaico de Usos	5,0
Área Urbanizada	5,0
Outra área não vegetada	5,0
Afloramento rochoso	1,0
Rio e Lago	3,0
Soja	5,0
Outras Lavouras Temporárias	5,0
Algodão (beta)	5,0

Fonte: Elaborado pelo autor

2.2.4 Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

O mapa de vulnerabilidade final foi gerado a partir da sobreposição das cartas base em formato raster, combinando os valores de vulnerabilidade atribuídos a cada classe. O índice de vulnerabilidade foi definido pela distribuição desses valores, conforme os intervalos apresentados. No qual os intervalos foram criados com base na metodologia adotada no estudo para avaliar a vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba Tabela 5.

Tabela 5: Intervalos das classes de vulnerabilidade Ambiental

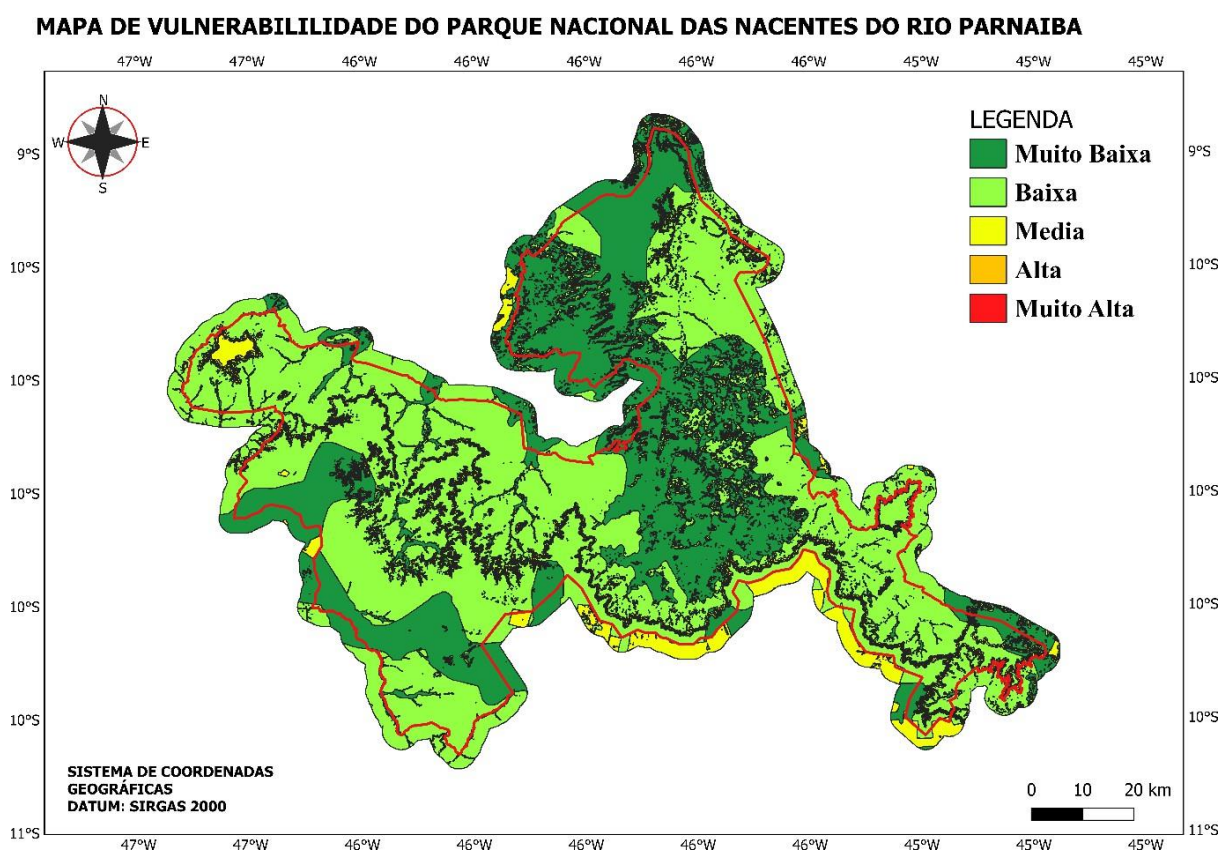
Classificação	Intervalos
Muito baixa	4 - 8
Baixa	8 - 10
Média	10 - 12
Alta	12 - 15
Muito Alta	15 - 20

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise espacial realizada no Mapa de Vulnerabilidade Ambiental permitiu identificar a distribuição dos níveis de fragilidade ambiental no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. A partir da sobreposição dos dados geológicos, pedológicos, de declividade e de uso e ocupação do solo, foi possível classificar as áreas do parque em diferentes graus de vulnerabilidade ambiental variando de Muito Baixa a Muito Alta (Mapa 6).

Mapa 6: Vulnerabilidade ambiental final.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados, detalhados na (Tabela 6), mostram que a maior parte da área estudada apresenta vulnerabilidade classificada como Baixa (57,89%) e Muito Baixa (33,81%), indicando uma relativa estabilidade ambiental na região. Esse padrão pode estar associado à predominância de solos mais consolidados, baixa declividade e formações geológicas resistentes à erosão, que reduzem a suscetibilidade a processos de degradação (Pinto, et al., 2020).

Tabela 6. Valores de Vulnerabilidade Ambiental à erosão no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

Classes	Area (km ²)	Porcentagem
Alta	38387,908	0,90%
Média	719, 383	7,39%
Muito Alta	0,315	0,32%
Baixa	5633,259	57,89%
Muito Baixa	3289,891	33,81%

Fonte: Elaborado pelo autor

Por outro lado, as áreas classificadas como média (7,39%), Alta (0,90%) e Muito Alta (0,32%) são mais restritas e ocorrem, principalmente, em regiões com maiores declividades e solos mais frágeis (FERREIRA et al., 2024). A análise do Mapa de Uso e Ocupação do Solo confirma que essas áreas vulneráveis se concentram, em grande parte, nas bordas do parque, onde há maior interferência antrópica. As imagens do MapBiomas utilizadas na classificação mostram que há presença significativa de pastagens e cultivos agrícolas próximos aos limites da unidade de conservação, o que pode intensificar os processos erosivos devido à remoção da vegetação nativa.

Além disso, áreas com Mosaico de Usos e Lavouras Temporárias, que receberam os maiores valores de vulnerabilidade (5,0), estão distribuídas principalmente nas extremidades do parque, conforme evidenciado no Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Mapa 5). Esse padrão espacial sugere que a pressão agrícola na zona de amortecimento do parque pode estar contribuindo para o aumento da vulnerabilidade ambiental, especialmente em terrenos de forte ondulação e presença de Neossolos Quartzarênicos.

Essa hipótese é corroborada por estudos anteriores (Leopoldo et al., 2021), que apontam que a conversão de áreas naturais para uso agrícola nas proximidades do parque influencia diretamente os processos de degradação do solo e da vegetação nativa. Portanto, é fundamental que sejam adotadas medidas de gestão e monitoramento para mitigar esses impactos, como o fortalecimento das políticas de conservação e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis na região."*

Esse padrão espacial sugere que a pressão agrícola na zona de amortecimento do parque pode estar contribuindo para o aumento da vulnerabilidade ambiental, especialmente em terrenos de forte ondulação e presença de Neossolos Quartzarênicos. Essa hipótese é corroborada por estudos anteriores (Leopoldo et al., 2021), que apontam que a conversão de áreas naturais para uso agrícola nas proximidades do parque influencia diretamente os processos de degradação do solo e da vegetação nativa.

Portanto, é fundamental que sejam adotadas medidas de gestão e monitoramento para mitigar esses impactos, como o fortalecimento das políticas de conservação e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis na região. A (Tabela 6) sintetiza os dados de distribuição das classes de vulnerabilidade no parque, demonstrando que, apesar da predominância de áreas estáveis, há porções do território que necessitam de maior atenção quanto às práticas de manejo e conservação.

Diante desses resultados, fica evidente a importância do uso de geotecnologias no monitoramento ambiental do parque. O sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica (SIG) mostraram-se ferramentas eficazes para integrar diferentes variáveis ambientais, permitindo a identificação de áreas prioritárias para ações de conservação. A análise espacial evidenciou que a vulnerabilidade ambiental do parque é resultado da interação entre fatores naturais, como geologia, solos e relevo.

A identificação de áreas com vulnerabilidade Alta e Muito Alta sugere (Leopoldo, et al., 2021) mostra a necessidade de ações preventivas e corretivas, incluindo a implementação de práticas de conservação do solo, controle da expansão agropecuária e adoção de políticas públicas voltadas para a preservação da biodiversidade e uso sustentável dos recursos naturais. Além disso, recomenda-se a continuidade do monitoramento por meio de análises geoespaciais periódicas, a fim de avaliar as mudanças no uso do solo e os impactos ambientais na região.

Portanto, os resultados obtidos reforçam a importância de estratégias integradas de manejo ambiental para garantir a preservação dos recursos naturais do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. A conservação dessas áreas é essencial não apenas para a manutenção dos serviços ecossistêmicos e da biodiversidade local, mas também para a sustentabilidade dos ecossistemas que abastecem importantes nascentes hidrográficas na região.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo demonstrou a importância da aplicação de geotecnologias na análise da vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. A integração de técnicas como sensoriamento remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e modelagens ambientais permitiu a identificação de áreas de maior risco ambiental, fornecendo subsídios essenciais para a gestão e conservação da unidade.

Os resultados indicaram que a maior parte do parque apresenta baixa vulnerabilidade, refletindo sua relativa estabilidade ambiental. No entanto, áreas classificadas como de média, alta e muito alta vulnerabilidade requerem atenção especial, pois estão associadas a fatores como maior declividade, solos frágeis e pressão antrópica, principalmente devido à expansão agrícola nas proximidades da unidade de conservação.

A pesquisa confirmou a hipótese de que as geotecnologias são ferramentas eficazes para o monitoramento e a gestão sustentável de áreas protegidas, permitindo a identificação de padrões espaciais de degradação e fornecendo suporte para a tomada de decisão baseada em dados. Além disso, os resultados reforçam a necessidade de ações preventivas e corretivas, como práticas de conservação do solo, controle da expansão agropecuária e fortalecimento de políticas públicas voltadas à preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos.

As áreas de alta vulnerabilidade, identificadas principalmente em regiões de maior declividade e solos frágeis, representam um risco significativo para a biodiversidade e a manutenção dos fluxos hídricos do parque. O aumento da erosão pode levar ao assoreamento de nascentes e cursos d'água, comprometendo a qualidade e disponibilidade hídrica tanto para os ecossistemas locais quanto para as comunidades que dependem desses recursos. Além disso, a degradação do solo e a redução da cobertura vegetal nessas áreas podem afetar diretamente a fauna e a flora, ameaçando espécies endêmicas e alterando o equilíbrio ecológico do parque.

Diante desses desafios, a adoção de estratégias integradas de conservação se torna essencial. O fortalecimento do monitoramento ambiental, aliado à participação comunitária e à implementação de políticas públicas eficientes, é fundamental para minimizar os impactos negativos e garantir a preservação dos serviços ecossistêmicos fornecidos pelo Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

Sugere-se que futuras pesquisas ampliem o uso de modelagens preditivas para avaliar cenários futuros de degradação ambiental e explorem a integração de inteligência artificial para aprimorar a análise de dados geoespaciais. Além disso, a participação ativa das comunidades locais e a implementação de programas de educação ambiental são fundamentais para garantir a conservação a longo prazo do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

Dessa forma, este trabalho contribui para a compreensão dos desafios ambientais enfrentados pelo parque e destaca a relevância do uso de tecnologias inovadoras na promoção da sustentabilidade e proteção de áreas de grande importância ecológica e hídrica.

REFERÊNCIAS

- DUTRE E SILVA, S.; DE JESUS BOAVENTURA, K.; PORFÍRIO JÚNIOR, E. D.; DE MELO E SILVA NETO, C. **A última fronteira agrícola do Brasil: o Matopiba e os desafios de proteção ambiental no Cerrado**. *Estudios Rurales*, [S. l.], v. 8, n. 15, 2022. DOI: 10.48160/22504001er15.395. Disponível em: <https://estudiosrurales.unq.edu.ar/index.php/ER/article/view/395>. Acesso em: 24 nov. 2024.
- FERREIRA, A. B. R.; PEREIRA, G.; FONSECA, B. M.; CARDOZO, F. da S. **AS MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO OESTE DA BAHIA A PARTIR DA EXPANSÃO AGRÍCOLA**. *Formação (Online)*, [S. l.], v. 28, n. 53, 2021. DOI: 10.33081/formacao.v28i53.7871. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/7871>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- CHAVES, Maria do Perpetuo Socorro Rodrigues; RODRIGUES, Débora Cristina Bandeira; NASCIMENTO, Camila Fernanda Pinheiro do; PEDROSA, Evelyn Barroso; SILVA, Thamirys Souza e. **SUSTENTABILIDADE & QUALIDADE DE VIDA: práticas sustentáveis de saúde em comunidades ribeirinhas no Amazonas**. *Revista de Políticas Públicas*, v. 24, n. 1, p. 265–285, 24 Jun 2020. Disponível em: <https://periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/rppublica/article/view/14378>. Acesso em: 4 fev 2025.
- GRITTI, Odirvan; BOZA, Daniela; TRENTIN, Romario. **Uso da geotecnologia na análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Baios**. *Revista de Geografia*, [S. l.], v. 40, n. 2, p. 179–199, 2023. DOI: 10.51359/2238-6211.2023.257497. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/257497>. Acesso em: 4 fev. 2025.
- DIAS, Natália Oliveira; MARTINS, Frederico Cássio Moreira; BARROS, Kelly de Oliveira. **Geotechnology applied to environmental diagnosis: Biological Reserve of Pinheiro Grosso, Barbacena – Minas Gerais - Brazil**. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 32, p. 126–140, 2020. DOI: [10.14393/SN-v32-2020-45716](https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/45716). Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/45716>. Acesso em: 10 mar. 2025.
- Parna das Nascentes do Rio Parnaíba**. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/parna-das-nascentes-do-rio-parnaiba>>. Acesso em: 6 fev. 2025.
- RUSCA, G. G.; MORAES, M. C. P. de; VALENTE, R. A.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. **ANÁLISE ESPACIAL DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS NO ENTORNO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL**. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, Rio de Janeiro, n. 44, p. 85–94, 2017. DOI: 10.5327/Z2176-947820170146. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/110. Acesso em: 10 mar. 2025.

MELGES, F.; FIGUEIREDO NETO, L. F.; BENINI, Élcio G. **Pagamento por Serviços Ambientais de Recursos Hídricos na Região Centro-Oeste do Brasil: uma abordagem crítica da perspectiva coaseana.** *Interações* (Campo Grande), [S. l.], v. 22, n. 3, p. 907–924, 2021. Disponível em: <https://interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/2789>. Acesso em: 10 mar. 2025.

LIRA, D. J. da S.; VIEIRA, V. de C. B. .; SILVA, A. J. da. **Spatial-temporal analysis of land use and land cover in the area of the Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.** *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 11, p. e271111133368, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i11.33368. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33368>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SOUZA, M. et al. **Aplicabilidade das Geotecnologias na Análise de Vulnerabilidades Ambientais e Sociais.** *Revista Científica de Geografia e Sustentabilidade*, v. 5, n. 3, p. 89-105, 2023. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/855>. Acesso em: 06 fev. 2025.

SEVERINO, Antonio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

SANTOS, A.; LIMA, R.; SILVA, J. **Vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.** *Revista Gaia*, v. 7, n. 2, p. 45-60, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/46029>. Acesso em: 06 fev. 2025. SILVA, M. A.; PEREIRA, L. F. **Conversas à deriva: expressões da educação comunitária ambiental em encontros de saberes.** *Revista Lusófona de Educação*, n. 54, p. 45-60, 2022. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/144656/1/8075_Texto_do_artigo_23327_1_10_20220120.pdf. Acesso em: 6 fev. 2025.

MOURA, T. et al. **Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na área do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.** *Research, Society and Development*, v. 11, n. 3, p. 112-128, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/33368/28423/376650>. Acesso em: 06 fev. 2025.

IMPROTA, Flávio Muller; LIBÓRIO, Matheus Pereira; ALVES, Diego Filipe Cordeiro; LAUDARES, Sandro. **GEOTECNOLOGIA APLICADA À GESTÃO DE PROGRAMAS DE PAGAMENTO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS: O CASO DE RIO CLARO, RIO DE JANEIRO.** *Revista Tamoios*, São Gonçalo, v. 16, n. 2, 2020. DOI: 10.12957/tamoios.2020.43666. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/tamoios/article/view/43666>. Acesso em: 10 mar. 2025.

OLIVEIRA, Elizabeth Santos de; MOREAU, Ana Maria Souza dos Santos. **Fragilidade ambiental da Península de Marauí - Bahia.** *Revista de Geografia* (Recife), v. 38, n. 3, p. 481- 500, 2021. DOI: 10.51359/2238-6211.2021.250818. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>. Acesso em: 6 fev. 2025.

GeoSGB. Disponível em: <<https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html>>.

SOUZA, L. F.; PEREIRA, T. V.; MARTINS, H. F. **Vulnerabilidade à erosão quanto aos aspectos solo e vegetação em uma bacia hidrográfica no semiárido. Revista Brasileira de Recursos Naturais**, v. 28, n. 1, p. 45-62, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/353714211_Vulnerabilidade_a_erosao_quanto aos _ aspectos_solo_e_vegetacao_em_uma_bacia_hidrografica_no_semiarido. Acesso em: 9 fev. 2025.

RIBEIRO TAVARES, Kássio Samay; DE ARAÚJO ROMÃO, Patricia; JOSÉ DE OLIVEIRA, Ivanilton. **Vulnerabilidade Ambiental no Município de São Domingos – Go.** Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 2212–2232, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.5.p2212-2232. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/244301>. Acesso em: 6 fev. 2025.

WEBER, E. .; HASENACK, H. .; FERREIRA, C. J. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação.** Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia: ISBN 978-85-63843-02-9, 2004. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/downloads/dados-geoespaciais/>. Acesso em: 01 ago. 2023.

LIRA, Karen Carrilho da Silva; FRANCISCO, Humberto Rodrigues; FEIDEN, Aldi. **Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, v. 34, e62872, 2022. ISSN 1982-4513. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62872>. Acesso em: 6 fev. 2024.

PINTO, Guilherme Silva; SERVIDONI, Lucas Emanuel; LENSE, Guilherme Henrique Expedito; MOREIRA, Rodrigo Santos; MINCATO, Ronaldo Luiz. **Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica utilizando o Método de Erosão Potencial.** Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, Brasil, v. 39, p. 62–71, 2020. DOI: 10.11606/rdg.v39i0.160233. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/160233>. Acesso em: 4 fev. 2025.

LEOPOLDO, N. C. M.; COSTA, T. G. A.; IWATA, B. de F.; TOLEDO, C. E. de. **Vulnerabilidade ambiental do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba - PNNRP.** Gaia Scientia, [S. l.], v. 14, n. 1, 2021. DOI: 10.22478/ufpb.1981-1268.2020v14n1.46029. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/gaia/article/view/46029>. Acesso em: 4 fev. 2025.

FERREIRA, P. S. A.; ALVES, K. F.; OLIVEIRA, M. B. de; SANTANA, J. S.; VIANA, J. dos S.; SILVA, A. da; SILVA, C. M. da; SILVA, W. A. da. **Impacto da cobertura vegetal e simulação de chuvas na erosão hídrica em neossolos quartzarenicos no Cerrado Maranhense.** Caderno Pedagógico, [S. l.], v. 21, n. 10, p. e9582, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n10-274. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/9582>. Acesso em: 4 fev. 2025