

**CAMILA NASCIMENTO NEVES**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E TRAÇADO DE TRILHAS NO PARQUE  
ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Gumercindo Souza Lima

Coorientador: Alexandre Simões Lorenzon

**VIÇOSA – MINAS GERAIS  
2021**

T

N518f  
2021

Neves, Camila Nascimento, 1993-  
Fragilidade ambiental e traçado de trilhas no Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil / Camila Nascimento Neves. - Viçosa, MG, 2021.  
57 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Gumercindo Souza Lima.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Biodiversidade - Conservação. 2. Caminhada em trilhas.  
3. Visitantes. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.990711

**CAMILA NASCIMENTO NEVES**

**FRAGILIDADE AMBIENTAL E TRAÇADO DE TRILHAS NO PARQUE  
ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS, BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de junho de 2021.

Assentimento:

---

Camila Nascimento Neves  
Autora

---

Gumercindo Souza Lima  
Orientador

*Aos meus pais, Valéria Rabelo Nascimento Neves e Edson Ramos Neves, e ao meu irmão  
Victor Nascimento Neves pelo amor, confiança e incentivo.  
Em especial, as minhas avós Marly Rabelo Nascimento e Laura Ercila Ramos Neves (em  
memória).*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, a Jesus pelos ensinamentos de amor e aos mentores espirituais que guiam meu caminho com zelo e paciência.

Aos meus familiares e em especial aos meus pais, Valéria e Edson, e ao meu irmão, Victor, por todo amor e confiança que depositaram em mim durante os anos que me dediquei aos estudos e não mediram esforços para me auxiliarem a conquistar meus sonhos.

Aos amigos e amigas de Viçosa, pelos anos de companheirismo. Em especial a Ana Flávia, Lorrana, Júlia, Matheus e Luís Gustavo.

Aos amigos e amigas do DEF, em especial aos amigos do G11 e a Paulinha, Larissa e Lucas. Foram lindos anos de convivência, construímos momentos inesquecíveis que guardarei para sempre em meu coração.

Ao Grupo de Educação e Interpretação Ambiental da Mata do Paraíso e ao Horto Botânico da Universidade Federal de Viçosa pela amizade construída, pelas vivências compartilhadas em educação ambiental e pelos despertares ambientais, sociais e políticos que tanto somaram para a minha formação.

Aos amigos e amigas de Vila Velha por sempre me apoiarem e torcerem por mim.

Aos amigos e amigas do Grupo de Fraternidade Espírita Jerônimo Ribeiro, em especial da Mocidade Espírita Irmão Amadeu e do Movimento da Fraternidade pelos anos de amizade e pela torcida.

Aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, em especial ao Prof. Gumercindo Souza Lima e ao Prof. Alexandre Simões Lorenzon, pela orientação, paciência, oportunidades oferecidas e conhecimentos trocados.

Às professoras Gínia Cezar Bontempo e Angeline Martini e ao professor Fillipe Tamiozzo, agradeço pelas contribuições na minha formação e neste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação, em especial ao Marcello Almeida que, com muita paciência, me ofereceu a ajuda que foi imprescindível para a realização desta pesquisa.

Ao Instituto Estadual de Florestas, em especial aos funcionários do Parque Estadual do Ibitipoca, pelo acolhimento e apoio nesta pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelos financiamentos.

Ao Departamento de Engenharia Florestal que me acolheu. E aqui deixo minha enorme gratidão à Mata do Paraíso, lugar que me proporcionou vivências e encontros importantíssimos para a minha formação.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de ter acesso à educação pública, gratuita e de qualidade.

À oportunidade de viver em Minas Gerais, me apaixonar pelas suas belezas e ter a experiência de encontrar pessoas incríveis pelo meu caminho.

*“Aprendi com os passarinhos a liberdade.  
Eles dominam o mais leve sem precisar ter motor nas costas.  
E são livres para pousar em qualquer tempo  
nos lírios ou nas pedras – sem se machucarem.  
E aprendi com eles ser disponível para sonhar. ”*

*– Manoel de Barros*

## RESUMO

NEVES, Camila Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Fragilidade ambiental e traçado de trilhas no Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil.** Orientador: Gumercindo Souza Lima. Coorientador: Alexandre Simões Lorenzon.

A criação de unidade de conservação (UC) é uma importante medida de proteção aos ecossistemas e habitats naturais. Nessas áreas as atividades são regulamentadas por meio do plano de manejo. Os parques são UCs que além do objetivo de proteger áreas de relevante interesse ecológico, também são responsáveis por prover atividades de uso público para a sociedade, como visitação através das trilhas. Sabe-se que as ações antrópicas causam impactos ao ambiente. A fragilidade ambiental, é a característica que exprime a forma como os ambientes naturais respondem às pressões antrópicas e outras alterações, logo, entender esse conceito é para o planejamento da visitação e das trilhas nas unidades de conservação, um importante mecanismo de gestão. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e avaliar a fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB) e o traçado das trilhas atuais e ideais, com o intuito de gerar informações para a gestão, principalmente, das atividades de uso público. Para isso, foram mapeados cinco fatores ambientais que interatuam para caracterizar a fragilidade ambiental do PEIB: precipitação, declividade, tipo de solo, cobertura do solo e fluxo acumulado. Em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, os mapas foram sobrepostos e atribuídos pesos estatísticos para então, gerar o mapa final de fragilidade ambiental. As trilhas atuais foram coletadas a partir de idas à campo. Já as trilhas ideais foram geradas com uso do método do Caminho de Menor Custo (CMC), considerando as variáveis: cobertura do solo, declividade, fluxo acumulado e fragilidade ambiental. A paisagem do PEIB apresentou domínio das classes média e alta fragilidade. O Circuito do Pico do Pião foi o que apresentou maior variação (16,47%) entre as classes de fragilidade quando comparados os traçados atuais e ideais. A distribuição dos trechos de alta fragilidade se deu de forma não homogênea e caracteriza os locais onde as trilhas podem sofrer o maior impacto da visitação. A determinação do traçado ideal auxiliar no manejo das trilhas, principalmente dos trechos mais vulneráveis aos impactos da visitação.

Palavras-chave: Unidades de conservação. Uso público. Manejo da visitação.



## ABSTRACT

NEVES, Camila Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2021.  
**Environmental fragility and trail design at Ibitipoca State Park, Minas Gerais, Brazil.**  
Adviser: Gumercindo Souza Lima. Co-adviser: Alexandre Simões Lorenzon.

The creation of a conservation unit (CU) is an important measure to protect ecosystems and natural habitats. In these areas, activities are regulated through the management plan. The parks are CUs that, in addition to the objective of protecting areas of relevant ecological interest, are also responsible for providing public use activities for society, such as visits through trails. It is known that anthropic actions impact the environment. Environmental fragility is the characteristic that expresses the way in which natural environments respond to anthropic pressures and other changes, therefore, understanding this concept is for the planning of visitation and trails in protected areas, an important management mechanism. The objective of this work was to characterize and evaluate the environmental fragility of the Ibitipoca State Park (ISP) and the outline of current and ideal trails, in order to generate information for the management, mainly, of public use activities. For this, five environmental factors that interact to characterize the environmental fragility of the ISP were mapped: precipitation, slope, soil type, soil cover and accumulated flow. In a Geographic Information Systems environment, the maps were superimposed and statistical weights were assigned to then generate the final map of environmental fragility. The current trails were collected from field trips. The ideal trails were generated using the Least Cost Path (LCP) method, considering the variables: ground cover, slope, accumulated flow and environmental fragility. The ISP landscape showed dominance of the middle and high fragility classes. The Pico do Pião Circuit showed the greatest variation (16.47%) between the frailty classes when comparing current and ideal routes. The distribution of high fragility stretches was non-homogeneous and characterizes the places where the trails can suffer the greatest impact from visitation. Determining the ideal route will help manage the trails, especially the stretches that are most vulnerable to the impacts of visitation.

Keywords: Protected areas. Public use. Visitation management.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	12
CAPÍTULO 1: MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS. ....	14
1. Introdução.....	15
2. Material e Métodos.....	16
2.1. Área de estudo .....	16
2.2. Procedimentos metodológicos.....	17
2.2.1. Mapa de precipitação.....	17
2.2.2. Mapa de declividade.....	18
2.2.3. Mapa de tipo de solo.....	18
2.2.4. Mapa de cobertura do solo .....	18
2.2.5. Mapa de fluxo acumulado de água da chuva.....	18
2.2.6. Álgebra de Mapas.....	19
3. Resultados e Discussão.....	23
4. Conclusão .....	30
5. Referências bibliográficas .....	31
CAPÍTULO 2: ANÁLISE DO TRAÇADO DAS TRILHAS DO PARQUE ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS. ....	38
1. Introdução.....	39
2. Material e Métodos.....	40
2.1. Área de estudo .....	40
2.2. Dados espaciais .....	42
2.3. Definição de traçado ideal .....	44
3. Resultados e Discussão.....	46
4. Conclusões.....	51
5. Referências bibliográficas .....	52
CONCLUSÕES GERAIS .....	57

## INTRODUÇÃO GERAL

Em todo o mundo, as áreas protegidas são cada vez mais adotadas como estratégia para a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (NANDY et al., 2015). O Brasil, como um dos países mais biodiversos, possui um papel fundamental na conservação global (OLIVEIRA et al., 2017). Nesse sentido, as unidades de conservação (UCs) são fundamentais para contribuir com a proteção dos habitats naturais brasileiros.

Contudo, o estado de degradação dos ecossistemas somado à falta de efetividade do manejo e de proteção ambiental das unidades de conservação no país, são desafios para a conservação da biodiversidade (LIMA; RIBEIRO; GONÇALVES, 2005).

No Brasil, as UCs são regulamentadas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei Federal nº 9.985, em 18 de julho de 2000. Os parques são UCs de proteção integral previstas no SNUC e nessas unidades, prevê-se a preservação da biota e seus sistemas ecológicos; a realização de pesquisa científica; e atividades de uso público, como educação ambiental, recreação e turismo.

A origem da criação dos parques brasileiros está intimamente associada ao uso público (SOUZA; SIMÕES, 2019). No entanto, o manejo desta atividade permanece escassa e muitas vezes não é implementado, faltando inclusive, infraestrutura adequada para sua realização (SOUZA; THAPA; VIVEIROS DE CASTRO, 2017).

Estudos apontam que o turismo nos parques brasileiros possui enorme potencial econômico (SOUZA; THAPA; VIVEIROS DE CASTRO, 2017). Mesmo estando abaixo do que pode alcançar, em 2018 o ecoturismo gerou cerca de 90 mil empregos, R\$ 2,7 bilhões em renda e agregou R\$ 3,8 bilhões ao PIB brasileiro (SOUZA; SIMÕES, 2019). Além disso, o desenvolvimento de estruturas de apoio ao uso público está relacionado ao crescimento de outras atividades de gestão, como a própria conservação dos ecossistemas.

As trilhas exercem um papel fundamental no uso público, pois são os caminhos utilizados para que as atividades de visitação aconteçam. Consequentemente, as trilhas tornam-se importantes instrumentos de conservação e de valorização dos recursos naturais e socioculturais das UCs (BELLINASSI; PAVÃO; CARDOSO-LEITE, 2011). Contudo, práticas de uso público, se não forem bem planejadas, podem causar impactos ambientais e ameaçar ecossistemas.

Os impactos ambientais decorrentes da visitação em unidades de conservação são amplamente estudados (PAIVA, 2019; PIRES, 2005; TAKAHASHI; MILANO; TORMENA,

2005). Uma das primeiras iniciativas para o planejamento da recreação surgiu nos Estados Unidos, em 1985, a partir da adaptação de conceitos de capacidade de carga (PASSOLD, 2002). Esse método, ainda é o mais utilizado nas UCs brasileiras, provavelmente pela facilidade de aplicação e agilidade na obtenção de resultados (DA SILVA; PASSOS; SOUZA, 2020). Esta abordagem quantitativa limita o uso turístico com base nos impactos que a área é capaz de suportar (LOBO et al., 2013).

Os modelos para avaliação da fragilidade ambiental de uma área surgiram como forma de compreender a relação entre os impactos das atividades humanas e o meio ambiente. Eles auxiliam na determinação de áreas mais susceptíveis à degradação e no subsídio a tomadas de decisões (BRAGA et al., 2017; CRUZ et al., 2017; FERNANDEZ et al., 2018; MANFRÉ et al., 2013; SPÖRL, 2001).

A fragilidade ambiental é a característica que exprime a forma como os ambientes naturais respondem às pressões antrópicas e outras alterações que podem perturbar o equilíbrio natural (FRANÇA et al., 2019). Por isso, o mapeamento da fragilidade constitui um instrumento para a gestão e zoneamento de territórios (SPÖRL; ROSS, 2004). Em uma unidade de conservação, os locais mais frágeis demandam maiores esforços de conservação visando a mitigação dos impactos causados pela visitação (VITTE; MELLO, 2013).

Impactos ambientais são causados por diferentes fatores (DALLA CORTE et al., 2015). A utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) permite a realização destas análises complexas. Pois possibilita a combinação de informações de diversos fatores a fim de determinar uma única forma de avaliação, tornando o processo mais rápido, preciso e de baixo custo (CAMPOS et al., 2021; FLAUZINO et al., 2010; TERRA et al., 2016).

Assim, estudos que abordem a fragilidade ambiental de áreas naturais, associados a compreensão da dinâmica dos impactos causados pela visitação são necessários para auxiliar na efetividade do manejo e de proteção ambiental das unidades de conservação.

Por fim, o presente estudo visa contribuir para a gestão de unidades de conservação, com enfoque no planejamento de trilhas e no manejo da visitação e seus impactos.

Para isso, este trabalho foi organizado em capítulos, conforme exposto a seguir:

Capítulo 1: Mapeamento da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais.

Capítulo 2: Análise do traçado das trilhas do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLINASSI, S.; PAVÃO, A. C.; CARDOSO-LEITE, E. Gestão e Uso Público de Unidades de Conservação: um olhar sobre os desafios e possibilidades. **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 4, n. 2, p. 274–293, 2011.
- BRAGA, C. D. C. et al. Mapeamento Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Reservatório Da Uhe Caçu - Goiás. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 81, 2017.
- CAMPOS, J. A. et al. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 7, p. 1–13, 2021.
- CRUZ, B. B. et al. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 12, 2017.
- DA SILVA, H. A.; PASSOS, V. T. R.; SOUZA, R. S. Impactos do uso público e das atividades de pesquisa nas trilhas do Parque Zoobotânico - Ufac Impacts of public use and research activities on the trails of the Zoobotanical Park of Federal University of Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 543–560, 2020.
- DALLA CORTE, A. P. et al. Fragilidad ambiental de la cuenca del río Iguazu, Paraná - Brasil. **Bosque**, v. 36, n. 2, p. 287–297, 2015.
- FERNANDEZ, P. et al. GIS environmental information analysis of the Darro River basin as the key for the management and hydrological forest restoration. **Science of the Total Environment**, v. 613–614, p. 1154–1164, 2018.
- FLAUZINO, F. S. et al. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À GESTÃO DOS RECURSOS NATURAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAÍBA NO CERRADO MINEIRO Geotechnologies applied to natural resources management of river basin Paranaíba in the Cerrado of Minas Gerais Fabrício Silvério Flauzino Lu. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 75–91, 2010.
- FRANÇA, L. C. DE J. et al. Zoneamento Da Fragilidade Ambiental De Ecossistemas Naturais E Antropizados Por Meio De Avaliação Multicritério. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 589, 2019.
- LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; GONÇALVES, W. Avaliação da efetividade de manejo das unidades de conservação de proteção integral em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 647–653, 2005.
- LOBO, H. A. S. et al. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. **Tourism Management**, v. 35, p. 234–243, 2013.
- MANFRÉ, L. A. et al. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: A study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 3, p. 947–957, 2013.
- NANDY, S. et al. Environmental vulnerability assessment of eco-development zone of Great Himalayan National Park, Himachal Pradesh, India. **Ecological Indicators**, v. 57, p. 182–195, 2015.

OLIVEIRA, U. et al. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017.

PAIVA, B. C. A. DE. Impactos ambientais em Unidades de Conservação: Parque Nacional de Anavilhanas na visão dos profissionais envolvidos com a visitação. **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 12, n. 1, p. 67–77, 2019.

PASSOLD, A. J. **MONITORAMENTO DO USO PÚBLICO EM**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002.

PIRES, P. S. “Capacidade de carga” como paradigma de gestão dos impactos da recreação e do turismo em áreas naturais. **Revista Turismo em Análise**, v. 16, n. 1, p. 5, 2005.

SOUZA, T. DO V. S. B.; THAPA, B.; VIVEIROS DE CASTRO, E. B. Índice de Atratividade Turística das Unidades de Conservação Federais. n. February 2021, p. 17, 2017.

SOUZA, T. V. S. B.; SIMÕES, H. B. **Contribuições do Turismo em Unidades de Conservação para a Economia Brasileira Efeitos dos Gastos dos Visitantes em 2018 REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL Ministério do Meio Ambiente Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade**, 2019. (Nota técnica).

SPÖRL, 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. **Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas**, v. Mestrado e, p. 165, 2001.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. APLICAÇÃO DE TRÊS MODELOS. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39–49, 2004.

TAKAHASHI, L. Y.; MILANO, M. S.; TORMENA, C. A. Indicadores de impacto para monitorar o uso público no Parque Estadual Pico do Marumbi - Paraná. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 159–167, 2005.

TERRA, L. G. et al. GEOPROCESSAMENTO ALGÉBRICO UTILIZADO NA CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SANTIAGO-RS. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 167–174, 2016.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, n. 35, 2013, p. 192-222. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 35, p. 192–222, 2013.

**CAPÍTULO 1: MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO PARQUE  
ESTADUAL DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS.**

## 1. Introdução

As áreas protegidas exercem um papel fundamental na proteção de ecossistemas em todo o mundo, principalmente em um contexto no qual a principal ameaça à biodiversidade é a perda de habitats naturais que estão cada vez mais degradados (WEAVER; LAWTON, 2017). Além disso, quando bem manejadas, as áreas protegidas podem fornecer serviços ecossistêmicos para toda a sociedade (BALMFORD et al., 2015; WATSON et al., 2014).

No Brasil, os parques são as principais unidades de conservação da natureza criadas com a finalidade de promover atividades de uso público. São 490 parques divididos nas esferas municipais, estaduais e federais, totalizando cerca de 36 milhões de hectares (BRASIL, 2021). Promover uma visitação que gere experiências agradáveis aos turistas auxilia no processo de conservação desses ambientes (CASTRO, 2018). No entanto, o baixo financiamento por parte do governo dificulta que os parques cumpram com as funções para as quais foram criadas (ANAYA; ESPIRÍTO-SANTO, 2018), o que também ocasiona na baixa autonomia por parte dos gestores.

Diante deste cenário, estudos sobre o ambiente, em especial a respeito dos limites de resiliência dos ecossistemas afetados pelas atividades turísticas, auxiliam os gestores no planejamento e manejo da visitação (LOBO et al., 2013; SPÖRL; ROSS, 2004).

A fragilidade de um ambiente natural é resultado de relações dinâmicas entre diversas estruturas da paisagem. A compreensão dessa dinâmica é importante para o manejo de UCs, pois auxilia os gestores a alcançar os objetivos de conservação para os quais as UCs foram criadas (MAGANHOTTO; SANTOS; DE OLIVEIRA FILHO, 2011; TRENTIN; ROBAINA, 2012).

Nesse sentido, o mapeamento da fragilidade ambiental é um importante instrumento de gestão, pois indica limitações e aptidões visando a utilização racional e de baixo impacto da UC. Esse mapeamento permite ainda, a realização de levantamentos setorizados, incluindo aspectos físicos e biológicos, para uma visão holística e integrada da UC (MAGANHOTTO; SANTOS; DE OLIVEIRA FILHO, 2011; ROSS, 2012).

Geotecnologias têm sido bastante disseminadas em estudos ambientais (FERNANDEZ et al., 2018; LEMAN; RAMLI; KHIROTDIN, 2016; LI et al., 2010; MACEDO et al., 2018; NANDY et al., 2015; ZHANG et al., 2011). Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por exemplo, permite analisar os fatores que afetam a fragilidade ambiental de forma remota, o que constitui um aspecto positivo, uma vez que ações que envolvem idas à campo encontram dificuldades pela escassez de infraestrutura e recursos financeiros (MILLER; KAYS; LEUNG, 2020; TOMCZYK, 2011).



Assim, o presente estudo buscou caracterizar e avaliar a fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB), bem como discutir como o mapeamento dos fatores que influenciam na fragilidade do PEIB pode auxiliar as tomadas de decisão sobre o manejo da visitação.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Área de estudo

O Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB) foi criado pela Lei Estadual nº 6.126, de 04 de julho de 1973. A unidade possui 1.488 hectares de extensão, distribuídos nos municípios de Lima Duarte (82,35%), Santa Rita de Ibitipoca (13,95%) e Bias Fortes (3,70%), e encontra-se entre as coordenadas 21° -42'S e 43° -54'O (RODELA; TARIFA, 2002) (Figura 1).

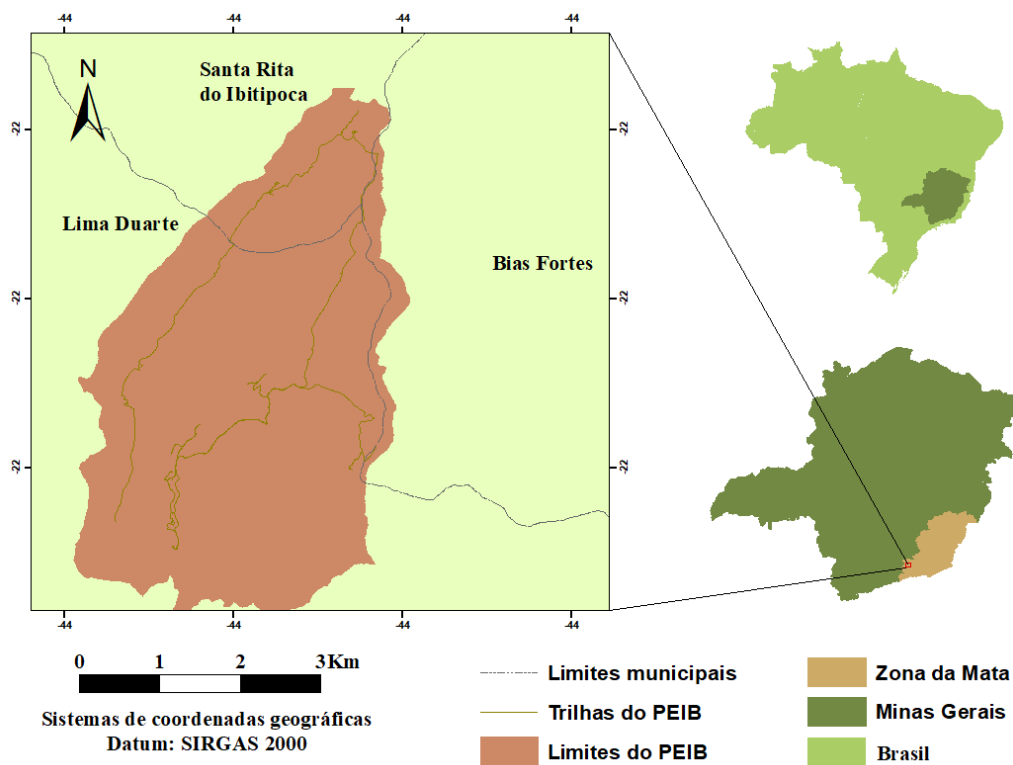


Figura 1 – Localização e distribuição da área do Parque Estadual do Ibitipoca nos municípios de Lima Duarte, Santa Rita do Ibitipoca e Bias Fortes, Minas Gerais, Brasil.

O clima da região é classificado como Cwb segundo Köppen, isto é, temperado úmido, com inverno seco e verão chuvoso. A altitude no PEIB varia de 1.000 a 1.784 metros, sendo o ponto culminante registrado no pico da Lombada (RODELA; TARIFA, 2002).

As áreas mais elevadas do PEIB constituem um divisor de águas entre as bacias do rio Grande e do rio Paraíba do Sul (REIS; COSTA, 2017). A vegetação é formada por cerrados de altitude, campos rupestres, campos herbáceo-graminosos e campos encharcáveis, além disso, apresenta formações florestais representadas por remanescentes de floresta estacional semidecidual altimontana, floresta ombrófila densa altimontana e matas ciliares e capões de matas (CRUZ et al., 2020; RODELA, 1998).

O relevo acidentado, associado ao denso sistema de drenagem, propicia a formação de corredeiras, cachoeiras e lagos, resultando em paisagens exuberantes e em diversos atrativos naturais (SILVA DE OLIVEIRA, 2016), o que desperta a atenção de muitos turistas e torna o PEIB uma das UCs mais visitadas do Brasil (SANCHO-PIVOTO; ALVES; DIAS, 2020).

## 2.2.Procedimentos metodológicos

A fragilidade ambiental do PEIB foi analisada por meio de ferramenta de SIG. Para o mapeamento final dessas informações foram utilizados outros produtos cartográficos como bases de dados, os mapas intermediários (MI) de: precipitação, declividade, tipo de solo, cobertura do solo e fluxo acumulado.

A seleção dos fatores para o mapeamento da fragilidade ambiental do PEIB baseou-se na importância destes para os processos ambientais do parque (CAMPOS et al., 2021; CRUZ et al., 2017; MANFRÉ et al., 2013; UDDIN et al., 2016). Os mapas intermediários (MI) de precipitação, declividade, tipo de solo, cobertura do solo e fluxo acumulado foram reclassificados de acordo com a fragilidade ambiental e sobrepostos por meio da álgebra de mapas, gerando o mapa final da fragilidade ambiental do PEIB (Tabela 1) (BUNRUAMKAEW; MURAYAMA, 2011; SPÖRL; ROSS, 2004; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Tabela 1 – Graus de fragilidade utilizados para reclassificar os mapas intermediários

<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Classe</b>
Muito Baixa	1
Baixa	2
Moderada	3
Alta	4
Muito Alta	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

### 2.2.1. Mapa de precipitação

O mapa de precipitação foi obtido a partir das isoietas anuais médias, referentes ao período de 1977 a 2006, em formato vetorial na plataforma online do Serviço Geológico do

Brasil – CPRM. A precipitação foi considerada uniforme em todo o parque, devido à sua pequena extensão territorial. Assim, o valor 4 (fragilidade alta) foi atribuído para todo esse mapa temático (ROSS, 1994).

#### 2.2.2. Mapa de declividade

A declividade foi gerada a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 12,5 metros, do satélite ALOS (sensor PALSAR, modo FBS) disponível na plataforma online do *Alaska Satellite Facility*. Os intervalos adotados para classificação foram propostos por Valle et al. (2016) (Tabela 1).

#### 2.2.3. Mapa de tipo de solo

O mapa de solos, produzido pelo Departamento de solos da Universidade Federal de Viçosa, foi obtido junto ao Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO/UFV). O grau de fragilidade de cada tipo de solo foi atribuído de acordo com Ross (1994) e Valle et al. (2016) (Tabela 2).

#### 2.2.4. Mapa de cobertura do solo

O mapa de cobertura do solo foi obtido a partir da classificação supervisionada de uma imagem do satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 metros nas bandas RGB e infravermelho próximo. A imagem de satélite (capturada em junho de 2020) foi obtida na plataforma online da ESA (*European Space Agency*) com nível de processamento 1C, isto é, passaram por correção radiométrica e geométrica.

O método de classificação de imagem utilizado foi o de máxima verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*). A validade da classificação foi avaliada por meio do Índice Kappa e Exatidão Global, cujos valores calculados foram 0,87 e 0,90, respectivamente, indicando acurácia muito boa (MOIANE; MACHADO, 2019). As classes finais de cobertura do solo e seus respectivos graus de fragilidade foram definidas de acordo com Ross (1994) e Valle et al. (2016) (Tabela 2).

#### 2.2.5. Mapa de fluxo acumulado de água da chuva

O fluxo acumulado, que representa a rede de drenagem pluvial (OZULU; GÖKGÖZ, 2018), foi determinado a partir do MDE. As classes de fluxo acumulado e seus respectivos graus de fragilidade foram definidas de acordo com França et al., 2017 (Tabela 2).

### 2.2.6. Álgebra de Mapas

Todas essas bases cartográficas foram processadas em um ambiente SIG utilizando o software ArcMap 10.5.

Os MI foram reclassificados de acordo com o grau de contribuição para a fragilidade ambiental. Os graus de fragilidade utilizados foram propostos por Ross (1994), e consistiu nas seguintes categorias: muito baixa (1); baixa (2); moderada (3); alta (4); e muito alta (5). As classes correspondentes a cada grau de fragilidade seguiram o recomendado por outras pesquisas (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de precipitação, declividade, tipo de solo, cobertura do solo e fluxo acumulado e seus respectivos graus de fragilidade ambiental (GF)

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>GF</b>
Precipitação	1.600 a 1.800 mm anuais, 3 a 6 meses secos, chuvas concentradas no verão (70 a 80% do total)	4
	<hr/>	
Declividade de terreno	0 - 3%	1
	3 - 8%	2
	8-20%	3
	20-45%	4
	Superior a 45%	5
<hr/>		
Tipo de solo	CHd1 - Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico + Latossolo Vermelho Amarelo câmbico	2
	CHd2 - Cambissolo Húmico Distrófico argissólico + Neossolo Litólico Distrófico	3
	RLh1 - Neossolo Litólico Húmico espódico + Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúbico + Cambissolo Húmico Distrófico espódico	3
	RQo - Neossolo Quartzarênico órtico espódico + Neossolo Quartzarêncio órtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	4
	RLd3 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	4

Continua...

Tab 2 – Cont.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>GF</b>
Tipo de solo	RLd1 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	4
	RLh3 - Neossolo Litólico Húmico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	5
	RLh2 - Neossolo Litólico Húmico típico + Afloramentos de rochas quartzíticas	5
	RLd2 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Neossolo Litólico Húmico típico	5
	OOy- Neossolo Quartzarênico Órtico espódico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	5
Cobertura do solo	Vegetação	2
	Afloramento rochoso (Quartzito)	1
	Areia quartzítica	4
	Solo Exposto	5
Fluxo Acumulado	0 - 3.879	1
	3.879 - 19.396	2
	19.396 - 40.949	3
	40.949 - 75.863	4
	75.863 - 208.119	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994), Crepani et al. (2011), Valle et al. (2016) e França et al. (2017).

A precipitação foi considerada uniforme em todo o parque, devido à sua pequena extensão territorial. Assim, o valor 4 (fragilidade alta) foi atribuído para todo esse mapa temático (ROSS, 1994). Os intervalos adotados para classificação da declividade foram os mesmos propostos por Valle et al. (2016). Para o tipo de solo e as classes de cobertura do solo seguiu o estabelecido por Ross (1994) e Valle et al. (2016). E as classes de fluxo acumulado de acordo com França et al., (2017).

A partir desta informação, os mapas foram sobrepostos por meio da álgebra de mapas, gerando o mapa final da fragilidade ambiental do PEIB. Mapas de fragilidade para cada fator analisado também foram gerados para facilitar a compreensão dos resultados.

O método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (MOEINADDINI et al., 2010) foi utilizado para apoiar as decisões e ponderar os pesos de cada fator (SHIN; CHUN; CHUNG, 2013) (Tabela 3).

Tabela 3 – Escala de importância relativa dos pares de fatores e seus respectivos valores correspondentes para o preenchimento da matriz de comparação pareada

<b>Importância relativa</b>	<b>Valor</b>
Os dois valores contribuem igualmente para um objetivo	1
Um fator é ligeiramente mais importante do que o outro	2
Um fator é mais importante do que o outro	3
Um fator é fortemente mais importante do que o outro	4
Um fator é extremamente mais importante do que o outro	5
Um fator é ligeiramente menos importante do que o outro	1/2
Um fator é menos importante do que o outro	1/3
Um fator é fortemente menos importante do que o outro	1/4
Um fator é extremamente menos importante do que o outro	1/5

Fonte: Adaptado de Shin; Chun; Chung (2013).

O peso de cada MI foi determinado pela matriz de comparação pareada e expressa a contribuição de cada fator para a fragilidade ambiental. (Tabela 4). A matriz foi preenchida de acordo com a importância relativa dos pares de fatores e seus valores correspondentes. A importância relativa dos fatores foi definida baseada na literatura.

Tabela 4 – Matriz de comparação pareada

<b>Fatores</b>	<b>Precipitação</b>	<b>Declividade</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>Cobertura do solo</b>	<b>Fluxo acumulado</b>
Precipitação	1	1/5	1/2	1/4	1/3
Declividade	5	1	4	2	3
Tipo de solo	2	1/4	1	1/3	1/2
Cobertura do solo	4	1/2	3	1	2
Fluxo acumulado	3	1/3	2	1/2	1

Fonte: Adaptado de Shin; Chun; Chung (2013).

Tabela 5 – Determinação dos pesos estatísticos para cada variável

Fatores	Precipitação	Declividade	Tipo de solo	Cobertura do solo	Fluxo acumulado	Pesos
<b>Precipitação</b>	1/15 = 0,0666	0,20/2,2833 = 0,0875	0,5/10,5 = 0,0476	0,25/4,0833 = 0,0612	0,3333/6,8333 = 0,0487	<b>0,0623</b>
<b>Declividade</b>	5/15 = 0,3333	1/2,2833 = 0,4379	4/10,5 = 0,3809	2/4,0833 = 0,4897	3/6,8333 = 0,4390	<b>0,4162</b>
<b>Tipo de solo</b>	2/15 = 0,1333	0,25/2,2833 = 0,1094	1/10,5 = 0,0952	0,3333/4,0833 = 0,0816	0,5/6,8333 = 0,0731	<b>0,0985</b>
<b>Cobertura do solo</b>	4/15 = 0,2666	0,50/2,2833 = 0,2189	3/10,5 = 0,2857	1/4,0833 = 0,2448	2/6,8333 = 0,2926	<b>0,2617</b>
<b>Fluxo acumulado</b>	3/15 = 0,2000	0,3333/2,2833 = 0,1459	2/10,5 = 0,1904	0,5/4,0833 = 0,1224	1/6,8333 = 0,1463	<b>0,161</b>

A razão de consistência (RC) da matriz de comparação pareada foi calculada para garantir a confiabilidade dos valores atribuídos e, para ser considerada satisfatória, seu valor deve ser menor que 0,1 (SAATY, 2008). Os pesos estatísticos e a RC foram calculados pelo *software* Microsoft Excel 2016 e *Expert Choice* versão 11, respectivamente. A RC obtida foi de 0,02 e foi calculada pela equação 1:

$$RC = IC / IR \quad (1)$$

Em que:

RC = razão de consistência.

IR = índice aleatório que pode ser extraído da Tabela 6

IC = índice de consistência, calculado pela equação 2:

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Em que:

n = número de variáveis testadas que corresponde ao número de colunas ou de linhas; e

$\lambda_{m\acute{a}x}$  = autovetor, calculado pela equação 3:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]_i}{w_i} \quad (3)$$

Em que,

$[A_w]_i$  = Matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada (Tabela 4) pela matriz dos pesos calculados ( $W_i$ ); e

$W_i$  = pesos calculados.

Tabela 6 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

<b>n</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>IR</b>	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Fonte: Adaptado de Santos et al., (2018).

### **3. Resultados e Discussão**

Na área de estudo a precipitação variou de 1.600 a 1.800 mm anuais, com chuvas concentradas na primavera e no verão (Figura 2). Isso confere um alto grau de fragilidade ao local (ROSS, 1994), aumentando o risco de erosão do solo (DA NOBREGA SILVA et al., 2020), que pode ser potencializada com a declividade (FEOLA; PASSOS, 2010). O potencial erosivo da precipitação também é influenciado pela pedologia local, uma vez que cada tipo de solo apresenta uma capacitação de infiltração. O escoamento superficial ocorre quando essa capacidade é menor que a precipitação, resultando no transporte de partículas do solo e, em situações mais severas, no estabelecimento de processos erosivos (BEZERRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009).



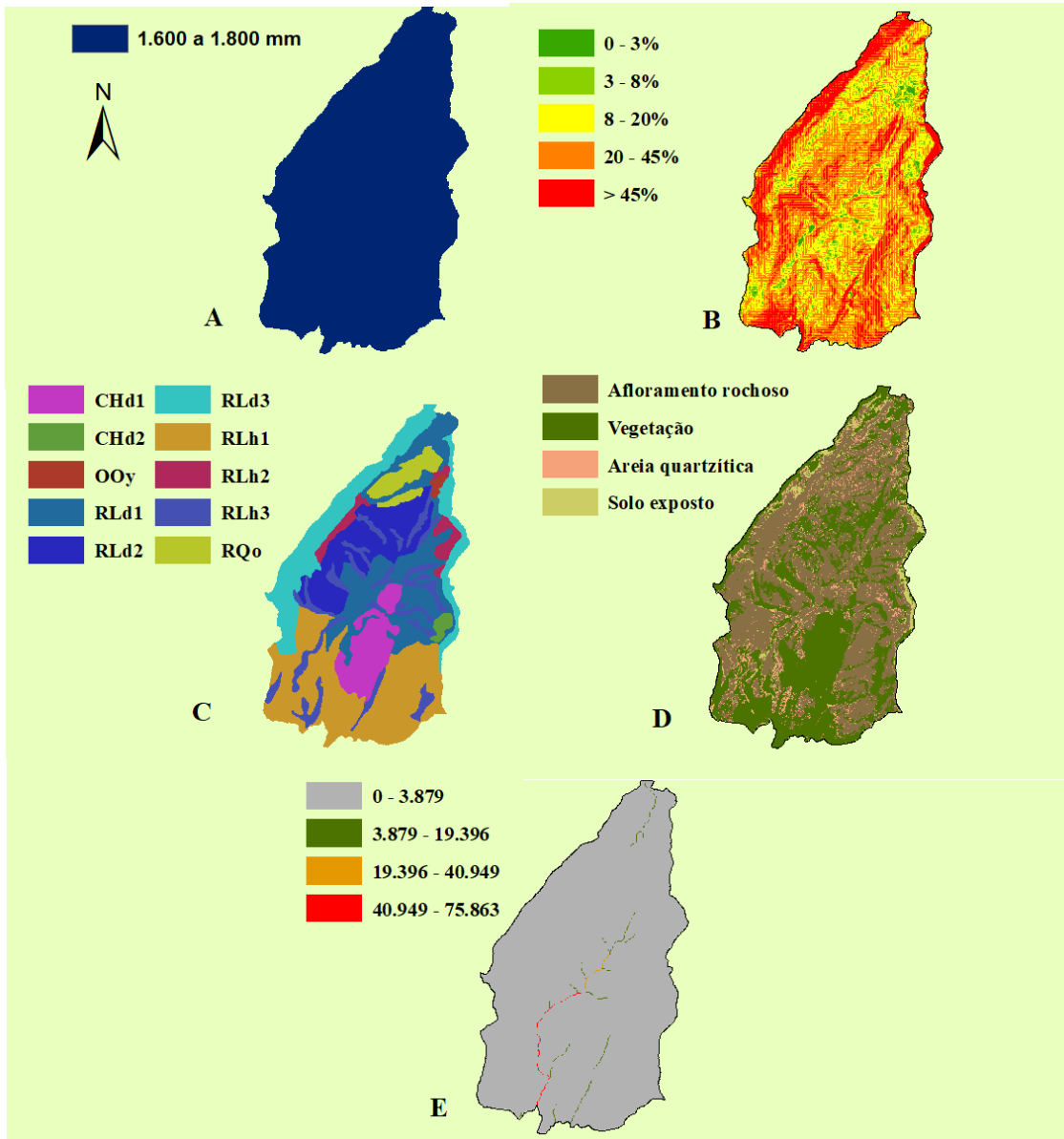


Figura 2 – Imagens referentes aos fatores utilizados para mapeamento da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca, sendo precipitação (A), declividade (B), tipo de solo (C), cobertura do solo (D) e fluxo acumulado (E).

Entre setembro e março ocorre o período mais chuvoso no PEIB, com média diária de chuvas alcançando 32 mm (RODELA; TARIFA, 2002). Devido à variação do relevo existente no parque, os microclimas também são diversificados. Em áreas com altitudes aproximadamente entre 1.300 a 1.500 metros há maior concentração de nuvens e de chuvas, o que pode contribuir para o agravamento dos processos erosivos (RODELA; TARIFA, 2002; VIANA, 2010).

Assim, conhecer a dinâmica das chuvas associada aos outros fatores ambientais do parque, permite que práticas de conservação das trilhas possam ser adotadas nos meses que antecedem o período chuvoso, como forma de diminuir ou evitar a erosão (QUEIROZ JUNIOR

et al., 2015; VIANA, 2010). No caso de trilhas já existentes, pode-se adotar um sistema de drenagens com canais, valas e barreiras, com o intuito de desviar a água da chuva para fora do leito da trilha (SILVA; SILVA, 2009).

Tabela 7 – Áreas por classe dos fatores utilizados para cálculo o da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca

Fator	Classes	Área (ha)	Área (%)
Precipitação	1.600 a 1.800 mm anuais, 3 a 6 meses secos, chuvas concentradas na primavera e no verão.	1.660,83	100
Declividade	0 - 3%	17,45	1,05
	3 - 8%	82,49	4,97
	8-20%	470,97	28,36
	20-45%	<b>765,94</b>	<b>46,12</b>
	> 45%	<b>323,98</b>	<b>19,51</b>
Tipo de solo	CHd1 - Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico + Latossolo Vermelho Amarelo câmbico	133,7	8,01
	CHd2 - Cambissolo Húmico Distrófico argissólico + Neossolo Litólico Distrófico	13,76	0,82
	RLh1 - Neossolo Litólico Húmico espódico + Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúrico + Cambissolo Húmico Distrófico espódico	<b>433,81</b>	<b>26,01</b>
	RQo - Neossolo Quartzarênico órtico espódico + Neossolo Quartzarêncio órtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	<b>66,22</b>	<b>3,97</b>
	RLd3 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	<b>272,75</b>	<b>16,35</b>
	RLd1 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	<b>314,77</b>	<b>18,87</b>
	RLh3 - Neossolo Litólico Húmico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	<b>171,86</b>	<b>10,30</b>
	RLh2 - Neossolo Litólico Húmico típico + Afloramentos de rochas quartzíticas	<b>52,45</b>	<b>3,14</b>
	RLd2 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Neossolo Litólico Húmico típico	<b>200,85</b>	<b>12,04</b>
	OOy- Neossolo Quartzarênico Órtico espódico + Neossolo Quartzarêncio órtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	<b>7,97</b>	<b>0,48</b>

Continua...

Tab. 7 – Cont.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Cobertura do solo	Afloramento rochoso (Quartzito)	<b>819,23</b>	<b>49,33</b>
	Vegetação	703,56	42,36
	Areia quartzítica	73,57	4,43
	Solo exposto	64,47	3,88
Fluxo acumulado (nº de pixels)	0 - 3.879	<b>1649,05</b>	<b>99,29</b>
	3.879 - 19.396	7,84	0,47
	19.396 - 40.949	1,07	0,06
	40.949 - 75.863	2,87	0,17

A declividade em 65,63% do parque foi maior que 20% (Tabela 7), predominando assim a classe de fragilidade alta ou muito alta. A declividade é o fator mais expressivo para a determinação da fragilidade (ROSS, 1994) e, no caso do PEIB, destacou-se entre os demais fatores. O relevo acidentado aumenta o escoamento superficial e dificulta a infiltração da água, favorecendo a formação de sulcos, ravinas e voçorocas (BENEVIDES SILVA; MACHADO, 2014; MESSIAS et al., 2012). Os processos erosivos em terrenos íngremes podem ser atenuados pela cobertura e tipo de solo (SPÖRL; ROSS, 2004).

Os tipos de solo predominantes no PEIB são Neossolo e Cambissolo. O primeiro abrange a maior parte do parque (91,16%) enquanto o segundo localiza-se predominantemente nos setores leste e sul, associado aos locais mais elevados, como o pico da Lombada (fonte). Ambas as tipologias comumente encontradas em áreas com declividade acentuada, estando associados a alta susceptibilidade erosiva (BENEVIDES SILVA; MACHADO, 2014; CARVALHO FILHO et al., 2003; DE BODAS TERASSI; SILVEIRA; BONIFÁCIO, 2014; LUMBRERAS et al., 2001; PEREIRA NETO; FERNANDES, 2015). Por isso, a compreensão da distribuição espacial dos tipos de solo auxilia na previsão de possíveis impactos (TRENTIN; ROBAINA, 2012).

Os Neossolos litólicos são solos jovens, rasos e estão comumente associados a afloramentos rochosos e relevos declivosos, prejudicando a drenagem da água e favorecendo a erosão hídrica (BOCKHEIM, 2015; CAMPOS et al., 2021). Os Cambissolos também são solos recentes, no entanto, são mais desenvolvidos que os Neossolos (SANTOS et al., 2018).

Os afloramentos rochosos cobrem a maior parte do parque. O PEIB possui oito geoambientes, dos quais sete tem o predomínio de quartzito como rocha principal e um ocorre associado ao xisto, onde se observam manchas de Floresta Ombrófila Densa (DIAS et al., 2002). O quartzito caracteriza-se pela baixa fragilidade, uma vez que é resistente à alteração e

intemperismo química (DEODORO; FONSECA, 2016; DIAS et al., 2003; REIS JUNIOR; PARIZZI, 2018; WRAY; SAURO, 2017).

Apesar da alta resistência a impactos, os afloramentos rochosos são ambientes sensíveis, pois ocorrem associados aos campos de altitude e campos rupestres, que são formações vegetais com alto índice de endemismo e alta fragilidade (DIAS et al., 2002; GENTRY, 1992). Tais formações apresentam dominância de espécies arbustivas herbáceas e gramíneas, que auxiliam no controle da erosão, no entanto, estima-se que cerca de 20% dos endemismos da Mata Atlântica ocorrem em formações rupestres e em afloramentos rochosos. Por isso, apesar dos afloramentos rochosos apresentarem alta resistência a alteração química, eles são considerados ambientes complexos e fortemente sensíveis à conversão de habitat (BENTO; TRAVASSOS; RODRIGUES, 2015; RAPINI et al., 2008; RIBEIRO; FREITAS, 2010).

Na porção sul do PEIB observou-se uma mancha classificada como de baixa fragilidade ambiental, onde se situa a chamada Mata Grande, um fragmento de Floresta Ombrófila Densa Altimontana (Figura 2). Essa formação florestal apresenta solos mais profundos e espécies arbóreas de maior porte, o que aumenta a proteção do ambiente. Outras manchas com baixa fragilidade ocorrem associadas às grotas, que são amplas ravinas formadas pela percolação lenta das águas, nesses locais a umidade favorece o crescimento de espécies arbóreas maiores, reduzindo o risco de erosão. No entanto, o pisoteio excessivo pode alterar a dinâmica da matéria orgânica do solo e prejudicar a ciclagem de nutrientes (DIAS et al., 2002, 2003; TOGASHI; MONTEZUMA; LEITE, 2012).

O fluxo acumulado foi maior na porção sul do PEIB, onde se localizam a maioria dos atrativos, estando associado à presença dos rios Salto e Vermelho (Figura 3).

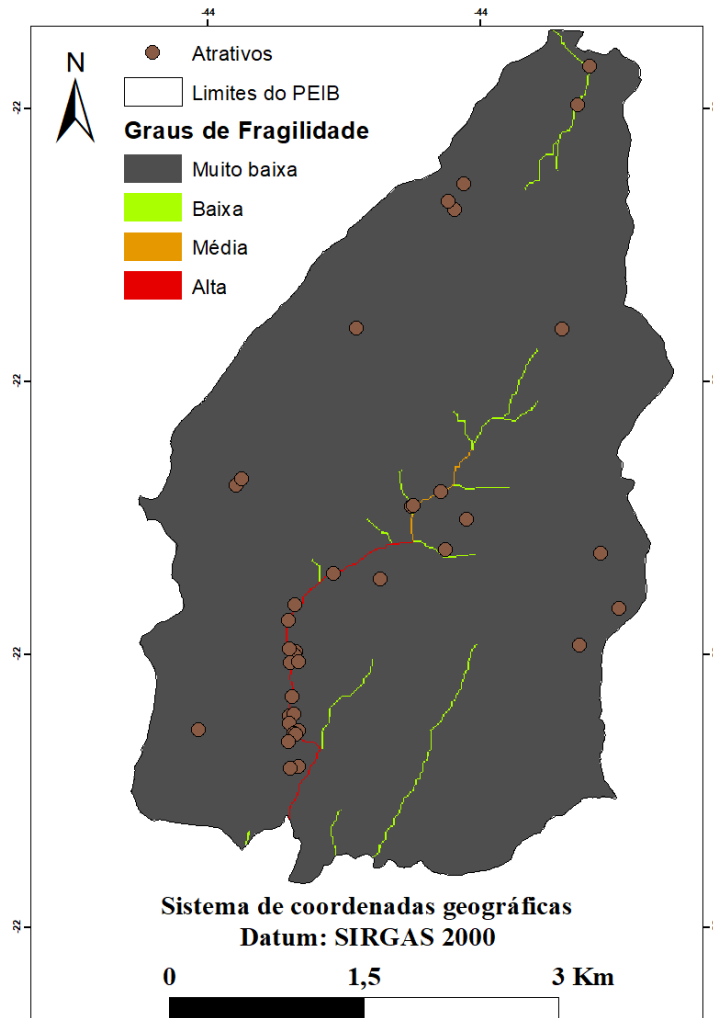


Figura 3 – Fluxo acumulado no PEIB e distribuição espacial dos atrativos.

Nesses ambientes a fragilidade ambiental pode ser alta devido à erosão fluvial. O fluxo das águas das chuvas tende a escoar para o leito dos rios, que, por sua vez, transporta os sedimentos erodidos das encostas. A quantidade de sedimentos transportados depende, principalmente, da declividade e da cobertura do solo (BENTO; TRAVASSOS; RODRIGUES, 2015).

De acordo com o mapa de fragilidade ambiental, 71,39% do parque apresenta fragilidade média e 27,29% fragilidade alta (Tabela 8) (Figura 4).

Tabela 8 – Distribuição das classes de fragilidade ambiental na área do Parque Estadual do Ibitipoca

<b>Parque Estadual do Ibitipoca</b>		
<b>Grau de Fragilidade</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Baixo	21,85	1,317
Médio	<b>1184,95</b>	<b>71,389</b>
Alto	<b>452,97</b>	<b>27,290</b>
Muito alto	0,08	0,005

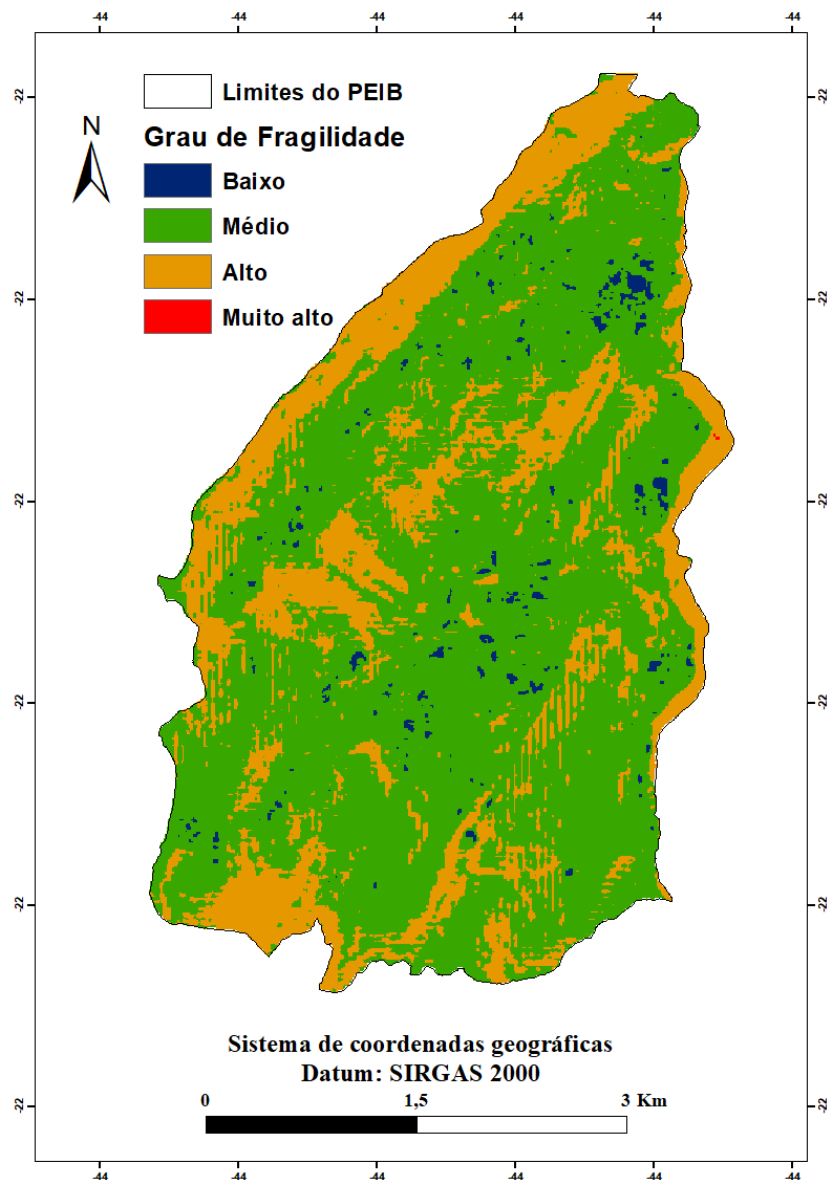


Figura 4 – Mapa de fragilidade ambiental do Parque Estadual do Ibitipoca.

Neste estudo, declividade, cobertura do solo e fluxo acumulado foram os fatores que mais contribuíram para a fragilidade ambiental, uma vez que a inclinação do terreno pode acelerar processos erosivos, que variam em função da cobertura do solo (QUEIROZ JUNIOR

et al., 2015). No entanto, a fragilidade ambiental do parque é resultado de uma interação complexa entre todos fatores analisados.

No contexto do manejo de parques e outras UCs, o mapeamento da fragilidade ambiental se mostrou como importante ferramenta para realizar o zoneamento da área e planejar técnicas e métodos, a fim de ordenar as atividades e orientar o uso dos recursos e serviços ecossistêmicos. Identificar as áreas mais sensíveis de uma área protegida, permite determinar, ainda, medidas de conservação mais eficientes (UDDIN et al., 2016).

Atividades humanas, quando não planejadas, podem acelerar a composição de ecossistemas, afetar as funções ecológicas de um determinado local (DAI et al., 2012), impossibilitando que as áreas protegidas alcancem os objetivos para os quais foram criadas.

Assim, os mapas de fragilidade ambiental são fundamentais para entender como os fatores ambientais, que muitas vezes estão em mapas isolados, interatuam e reagem aos processos naturais (FURLAN; BONOTTO; GUMIERE, 2011). A metodologia aqui proposta é dinâmica e permite que seja aplicada em outras áreas protegidas, incluindo fatores e outros dados que sejam pertinentes a área de estudo (NGUYEN et al., 2016). Além disso, esses mapas são documentos importantes para as autoridades governamentais, de forma a subsidiar decisões a ações de planejamento de políticas públicas (ROMANO et al., 2015).

Finalmente, é importante salientar a importância do uso público, no contexto dos parques brasileiros, para sensibilizar a sociedade a respeito da importância da biodiversidade e sua conservação. Uma comunidade que conheça os patrimônios naturais dos locais em que vive, tende a se engajar em campanhas de conservação (OLIVEIRA et al., 2017). Por isso, o esforço dos gestores deve estar em possibilitar um uso público sustentável, em um esforço para consolidar as unidades de conservação.

#### **4. Conclusão**

Neste estudo, observou-se que no PEIB predominam áreas com fragilidade ambiental classificadas como média e alta.

Os fatores declividade, cobertura do solo e fluxo acumulado foram os que mais contribuíram para a fragilidade ambiental no PEIB.

A aplicação da metodologia possibilitou a visualização da distribuição da fragilidade ambiental do PEIB, o que poderá servir de subsídio para o planejamento de uso público da unidade de conservação.

A metodologia permite que outros fatores possam ser avaliados, possibilitando sua aplicação durante a reavaliação de planos de manejos e podendo ser, inclusive, utilizada em outras unidades de conservação.

## 5. Referências bibliográficas

ANAYA, F. C.; ESPIRÍTO-SANTO, M. Protected areas and territorial exclusion of traditional communities: analyzing the social impacts of environmental compensation strategies in Brazil. **Ecology and Society**, v. 23, n. 1, 2018.

BALMFORD, A. et al. Walk on the Wild Side: Estimating the Global Magnitude of Visits to Protected Areas. **PLoS Biology**, v. 13, n. 2, 2015.

BELLINASSI, S.; PAVÃO, A. C.; CARDOSO-LEITE, E. Gestão e Uso Público de Unidades de Conservação: um olhar sobre os desafios e possibilidades. **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 4, n. 2, p. 274–293, 2011.

BENEVIDES SILVA, V. C.; MACHADO, P. S. Sig na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista De Geografia (UFPE)**, v. 31, n. 2, p. 66–87, 2014.

BENTO, L. C. M.; TRAVASSOS, L. E. P.; RODRIGUES, S. C. Considerações sobre as cavernas quartzíticas do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **Caminhos de Geografia**, v. 16, n. 54, p. 125–139, 2015.

BEZERRA, S. A. et al. Características hidráulicas da erosão em sulcos em um cambissolo do semiárido do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1325–1332, 2010.

BRASIL, 2021. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em <<https://antigo.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs.html>>. Acesso em: 04/06/2021

BOCKHEIM, J. G. Classification and development of shallow soils (< 50 cm) in the USA. **Geoderma Regional**, v. 6, p. 31–39, 2015.

BRAGA, C. D. C. et al. Mapeamento Da Fragilidade Ambiental Na Bacia Hidrográfica Do Reservatório Da Uhe Caçu - Goiás. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 81, 2017.

BUNRUAMKAEW, K.; MURAYAMA, Y. Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of surat Thani Province, Thailand. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 21, p. 269–278, 2011.

CAMPOS, J. A. et al. Environmental fragility and land use capacity as instruments of environmental planning, Caratinga River basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 7, p. 1–13, 2021.

CARVALHO FILHO, A. et al. Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 32, p. 221,



2003.

CASTRO, E. V. Changing a Brazilian Protected Areas Paradigm: Why Public Use is Not Just Optional. **Journal of Park and Recreation Administration**, v. 36, n. 3, p. 129–140, 2018.

CRUZ, B. B. et al. Environmental fragility framework for water supply systems: a case study in the Paulista Macro Metropolis area (SE Brazil). **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 12, 2017.

CRUZ, L. V. V. et al. Montane seasonal wetlands: An inventory of its associated flora in Parque Estadual do Ibitipoca, southeast Brazil. **Rodriguesia**, v. 71, p. 1–13, 2020.

DA NOBREGA SILVA, B. K. et al. Evaluation of erosivity extremes caused by precipitation in the apodi/ mossoró-RN river basin. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Special Issue, p. 871–879, 2020.

DA SILVA, H. A.; PASSOS, V. T. R.; SOUZA, R. S. Impactos do uso público e das atividades de pesquisa nas trilhas do Parque Zoobotânico - Ufac Impacts of public use and research activities on the trails of the Zoobotanical Park of Federal University of Acre. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 543–560, 2020.

DAI, X. et al. Assessment and zoning of eco-environmental sensitivity for a typical developing province in China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 26, n. 8, p. 1095–1107, 2012.

DALLA CORTE, A. P. et al. Fragilidade ambiental de la cuenca del río Iguazu, Paraná - Brasil. **Bosque**, v. 36, n. 2, p. 287–297, 2015.

DE BODAS TERASSI, P. M.; SILVEIRA, H.; BONIFÁCIO, C. M. Variação Da Estabilidade De Agregados E As Suas Relações Com a Vulnerabilidade Dos Solos Ao Longo De Uma Vertente Na Região Noroeste Do Paraná. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 1, p. 166, 2014.

DEODORO, S. C.; FONSECA, B. M. Análise morfométrica e multicriterial da bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara, nordeste do Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 68, p. 1837–1852, 2016.

DIAS, H. C. T. et al. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 777–786, 2002.

DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 469–481, 2003.

FEOLA, E.; PASSOS, E. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 123–131, 2010.

FERNANDEZ, P. et al. GIS environmental information analysis of the Darro River basin as the key for the management and hydrological forest restoration. **Science of the Total Environment**, v. 613–614, p. 1154–1164, 2018.

FLAUZINO, F. S. et al. Geotechnologies applied to natural resources management of river basin Paranaíba in the Cerrado of Minas Gerais Fabrício Silvério Flauzino Lu. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 1, p. 75–91, 2010.

FRANÇA, L. C. DE J. et al. Zoneamento Da Fragilidade Ambiental De Ecossistemas Naturais E Antropizados Por Meio De Avaliação Multicritério. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 589, 2019.

FURLAN, A.; BONOTTO, D. M.; GUMIERE, S. J. Development of environmental and natural vulnerability maps for Brazilian coastal at São Sebastião in São Paulo State. **Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 3, p. 659–669, 2011.

GENTRY, A. H. Tropical Forest Biodiversity: Distributional Patterns and Their Conservational Significance. **Oikos**, v. 63, n. 1, p. 19, 1992.

LEMAN, N.; RAMLI, M. F.; KHIROTDIN, R. P. K. GIS-based integrated evaluation of environmentally sensitive areas (ESAs) for land use planning in Langkawi, Malaysia. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 293–308, 2016.

LI, Y. et al. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: A case study of Lianyungang, China. **Landscape and Urban Planning**, v. 94, n. 3–4, p. 218–227, 2010.

LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A.; GONÇALVES, W. Avaliação da efetividade de manejo das unidades de conservação de proteção integral em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 647–653, 2005.

LOBO, H. A. S. et al. Projection of tourist scenarios onto fragility maps: Framework for determination of provisional tourist carrying capacity in a Brazilian show cave. **Tourism Management**, v. 35, p. 234–243, 2013.

LUMBRERAS, J. F. et al. Levantamento Pedológico, Vulnerabilidade e Potencialidade ao Uso das Terras - Quadrículas de Silva e Jardim e Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro. **Boletim de Pesquisa**, n. 23, p. 221, 2001.

MACEDO, D. R. et al. Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1267–1279, 2018.

MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; DE OLIVEIRA FILHO, P. C. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso flona de Irati-Pr. **Floresta**, v. 41, n. 2, p. 231–242, 2011.

MANFRÉ, L. A. et al. Environmental fragility evaluation and guidelines for environmental zoning: A study case on Ibiuna (the Southeastern Brazilian region). **Environmental Earth Sciences**, v. 69, n. 3, p. 947–957, 2013.

MARION, J. L. et al. A review and synthesis of recreation ecology research findings on visitor impacts to wilderness and protected natural areas. **Journal of Forestry**, v. 114, n. 3, p. 352–362, 2016.

MESSIAS, C. G. et al. Análise Empírica De Fragilidade Ambiental Utilizando Técnicas De Geoprocessamento : O Caso Da Área De Influência Da Hidrelétrica Do Funil – Mg. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 112–125, 2012.

MILLER, A. B.; KAYS, R.; LEUNG, Y. F. Wildlife response to recreational trail building: An experimental method and Appalachian case study. **Journal for Nature Conservation**, v. 56, p. 125815, 2020.

MOEINADDINI, M. et al. Siting MSW landfill using weighted linear combination and analytical hierarchy process (AHP) methodology in GIS environment (case study: Karaj). **Waste Management**, v. 30, n. 5, p. 912–920, 2010.

MOIANE, A.; MACHADO, A. M. L. Class-based affinity propagation for hyperspectral image dimensionality reduction and improvement of maximum likelihood classification accuracy. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, v. 25, n. 1, p. 1–20, 2019.

NANDY, S. et al. Environmental vulnerability assessment of eco-development zone of Great Himalayan National Park, Himachal Pradesh, India. **Ecological Indicators**, v. 57, p. 182–195, 2015.

NGUYEN, A. K. et al. Zoning eco-environmental vulnerability for environmental management and protection. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 100–117, 2016.

OLIVEIRA, P. T. S. DE et al. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 417–424, 2009.

OLIVEIRA, U. et al. Biodiversity conservation gaps in the Brazilian protected areas. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017.

OZULU, I. M.; GÖKGÖZ, T. Examining the stream threshold approaches used in hydrologic analysis. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 7, n. 6, p. 1–12, 2018.

PAIVA, B. C. A. DE. Impactos ambientais em Unidades de Conservação: Parque Nacional de Anavilhanas na visão dos profissionais envolvidos com a visitação. **Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur)**, v. 12, n. 1, p. 67–77, 2019.

PASSOLD, A. J. **Seleção de indicadores para o monitoramento do uso público em áreas naturais**. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PEREIRA NETO, M. C.; FERNANDES, E. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Seridó ( RN / PB – Brasil ) environmental fragility of the river basin of Seridó ( RN / PB – Brazil ). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, p. 399–411, 2015.

PIRES, P. S. “Capacidade de carga” como paradigma de gestão dos impactos da recreação e do turismo em áreas naturais. **Revista Turismo em Análise**, v. 16, n. 1, p. 5, 2005.

QUEIROZ JUNIOR, V. S. et al. Uso de geotecnologias na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia da UHE Foz do Rio Claro (GO). **GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica**, n. 15, p. 193–212, 2015.

- RAPINI, A. et al. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **MEGADIVERSIDADE**, v. 4, n. 1–2, 2008.
- REIS, T. E. DOS; COSTA, V. C. DA. Análise da vulnerabilidade na zona de amortecimento do Parque Estadual do Ibitipoca (MG), com o uso de SIG. **Geosul**, v. 32, n. 63, p. 77–96, 2017.
- REIS JUNIOR, W.; PARIZZI, M. G. Caracterização Das Unidades Geotécnicas Da Porção Leste Da Região Metropolitana De Belo Horizonte – Mg. **Geonomos**, v. 26, n. 2, p. 23–30, 2018.
- RIBEIRO, K. T.; FREITAS, L. Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 239–246, 2010.
- RODELA, L. G. Cerrados de altitude e campos rupestres do Parque Estadual Do Ibitipoca, sudeste de Minas Gerais: distribuição e florística por subfisionomias da vegetação. **Geography Department, University of Sao Paulo**, n. 12, p. 163–189, 1998.
- RODELA, L. G.; TARIFA, J. R. O clima da Serra do Ibitipoca. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 11, p. 101–113, 2002.
- ROMANO, G. et al. Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy. **Land Use Policy**, v. 48, p. 131–143, 2015.
- ROSS, J. L. S. Análise Empírica Da Fragilidade Dos Ambientes Naturais Antropizados. **Geography Department, University of Sao Paulo**, 1994.
- ROSS, J. L. S. Landforms and Environmental planning. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. Volume Esp, p. 38–51, 2012.
- SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, 2008.
- SANCHO-PIVOTO, A.; ALVES, A. F.; DIAS, V. N. Efeitos e transformações gerados pelo turismo no contexto territorial do parque estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, v. 14, n. 2, p. 46–63, 2020.
- SANTOS, H. G. et al. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos (5th ed.). Embrapa.
- SHIN, Y. B.; CHUN, S. G.; CHUNG, D. a Critical Review of Popular Multi-Criteria Decision Making Methodologies. **Issues In Information Systems**, v. 14, n. 1, p. 358–365, 2013.
- SILVA DE OLIVEIRA, C. Estrutura e distribuição espacial dos geoambientes na paisagem entre a Reserva Particular Do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Serra Negra e o Parque Estadual Do Ibitipoca. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 521, 2016.
- SILVA, N. M.; SILVA, A. M. Estratégias de conservação de trilhas do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães , Mato Grosso , Brasil . **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 3, p. 97–106, 2009.

SOUZA, T. DO V. S. B.; THAPA, B.; VIVEIROS DE CASTRO, E. B. Índice de Atratividade Turística das Unidades de Conservação Federais. n. February 2021, p. 17, 2017.

SOUZA, T. V. S. B.; SIMÕES, H. B. **Contribuições do Turismo em Unidades de Conservação para a Economia Brasileira - Efeitos dos Gastos dos Visitantes em 2018**. REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Ministério do Meio Ambiente Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2019. (Nota técnica).

SPÖRL, 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. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. APLICAÇÃO DE TRÊS MODELOS. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39–49, 2004.

TAKAHASHI, L. Y.; MILANO, M. S.; TORMENA, C. A. Indicadores de impacto para monitorar o uso público no Parque Estadual Pico do Marumbi - Paraná. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 159–167, 2005.

TERRA, L. G. et al. Geoprocessamento algébrico utilizado na caracterização da fragilidade ambiental do município de Santiago-RS. **Caminhos de Geografia**, v. 17, n. 57, p. 167–174, 2016.

TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. DE C. M.; LEITE, A. F. Precipitação Incidente e Fluxo de Atravessamento das Chuvas em Três Estágios Sucessionais de Floresta Atlântica no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Arvore**, v. 36, n. 5, p. 907–917, 2012.

TOMCZYK, A. M. A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 339–351, 2011.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. DE S. Unidades geoambientais na bacia hidrográfica do Rio Itu – oeste do estado do Rio Grande Do Sul, Brasil. **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 23, n. 2012, p. 267–287, 2012.

UDDIN, K. et al. Estimation of soil erosion dynamics in the koshi basin using gis and remote sensing to assess priority areas for conservation. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–19, 2016.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapping of environmental fragility in the Aldeia Velha River basin, state of Rio De Janeiro, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295–308, 2016.

VIANA, F. M. F. **Indicadores biológicos, físicos e sociais de impacto ambiental: caracterização e aplicação para as trilhas do Parque Estadual Do Ibitipoca, MG - Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação dos Recursos Naturais) - Instituto de Ciências Biológicas - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do Rio Verde,

região nordeste do estado de São Paulo, Brasil. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 35, p. 192–222, 2013.

WATSON, J. E. M. et al. The performance and potential of protected areas. **Nature**, v. 515, n. 7525, p. 67–73, 2014.

WEAVER, D. B.; LAWTON, L. J. A new visitation paradigm for protected areas. **Tourism Management**, v. 60, p. 140–146, 2017.

WRAY, R. A. L.; SAURO, F. An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites. **Earth-Science Reviews**, v. 171, p. 520–557, 2017.

ZHANG, J. et al. Combining a fuzzy matter-element model with a geographic information system in eco-environmental sensitivity and distribution of land use planning. **International journal of environmental research and public health**, v. 8, n. 4, p. 1206–1221, 2011.

**CAPÍTULO 2: ANÁLISE DO TRAÇADO DAS TRILHAS DO PARQUE ESTADUAL  
DO IBITIPOCA, MINAS GERAIS.**

## 1. Introdução

A partir da década de 1980, houve um aumento substancial do turismo nas unidades de conservação brasileiras (UCs) (FERREIRA et al., 2016). Entre os anos de 2000 a 2015, o número de visitantes cresceu de 1,9 milhão para 8 milhões (SOUZA; THAPA; VIVEIROS DE CASTRO, 2017). A promulgação da Lei Federal nº 9.985 em 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e estabeleceu diretrizes para a criação, implantação e gestão das UCs, foi essencial para o incremento observado na visitação (BRASIL, 2000).

Nas UCs abertas à visitação, as trilhas constituem a principal forma utilizada pelos visitantes para acessarem os recursos naturais, culturais e históricos. Ademais, as trilhas auxiliam no processo de conservação, uma vez que concentram o tráfego de pessoas em caminhos destinados para essa finalidade (MARION; LEUNG, 2004; MARION; WIMPEY, 2017; MILLER; KAYS; LEUNG, 2020; PARK et al., 2008; WIMPEY; MARION, 2010).

No entanto, a presença de visitantes nas UCs, inevitavelmente, degrada os recursos naturais (COLE, 1982; COLE; HALL, 1992), principalmente quando não são monitoradas adequadamente, podendo alterar a paisagem, afetar a dinâmica do ecossistema local e prejudicar a qualidade da experiência do visitante (LYNN; BROWN, 2003; RANGEL et al., 2019). Com isso, o aumento na visitação também levantou a preocupação com os distúrbios que essas atividades poderiam causar (MONZ; PICKERING; HADWEN, 2013). Por isso, um dos principais desafios dos gestores de UCs, sobretudo dos parques, é garantir a conservação dessas áreas e, ao mesmo tempo, possibilitar que a visitação ocorra com segurança e com o menor impacto ambiental possível, evitando assim a deterioração das trilhas, além de possíveis acidentes (DIXON; HAWES, 2015; MARION et al., 2016; MARION; WIMPEY, 2017; OLIVE; MARION, 2009).

O planejamento adequado de trilhas deve considerar localização e traçado ideais, propiciando uma menor degradação dos recursos naturais (LEUNG; MARION, 1999; WIMPEY; MARION, 2010). Um sistema de trilhas bem planejado facilita o acesso aos atrativos, proporciona experiências de alta qualidade para o visitante e consolida o tráfego de pessoas em caminhos pré-determinados, protegendo assim a infraestrutura e os recursos naturais adjacentes (MARION; LEUNG, 2004).

O projeto de trilhas, incluindo o traçado e a posição no terreno, influencia a conservação a longo prazo dessas estruturas (MARION et al., 2016; MARION; WIMPEY, 2017; MARION; WIMPEY; PARK, 2011; OLIVE; MARION, 2009; RAMOS-SCHARRÓN; REALE-MUNROE; ATKINSON, 2014). No entanto, muitas trilhas que hoje estão presentes nas UCs



são herdadas, isto é, no passado eram utilizadas para outra finalidade, sendo, raramente, planejadas de forma a conservar a paisagem (FIGUEIREDO et al., 2010; MARION; WIMPEY; PARK, 2011).

O manejo de impactos da visitação requer uma abordagem complexa, que leve em consideração a intensidade, extensão, distribuição espacial e os tipos de impactos. Todas essas variáveis são influenciadas pela quantidade e comportamento dos visitantes e pela suscetibilidade ambiental intrínseca da área (MARION; WIMPEY, 2017). Mesmo dentro de uma mesma UC, as áreas podem variar com relação ao valor de conservação, apresentando diferentes níveis de raridade, diversidade de fauna e flora e serviços ecossistêmicos (PICKERING, 2010). Por isso, a compreensão da dinâmica natural das UCs e de sua fragilidade ambiental frente à ação antrópica, permite a utilização coerente dos recursos disponíveis para sua gestão.

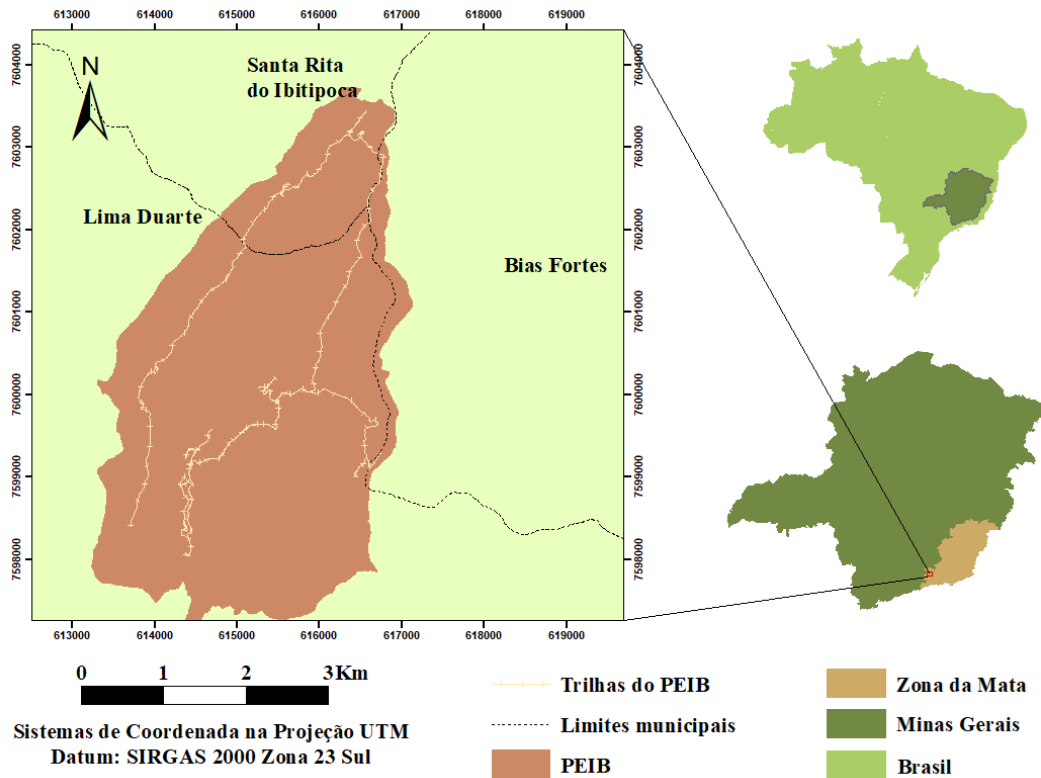
Técnicas de geoprocessamento têm se destacado na análise dos processos ecológicos e antrópicos (ARRIAGADA et al., 2019; NAHUELHUAL et al., 2013). Essas tecnologias contribuem na rapidez e eficiência de análises, auxiliando na tomada de decisões importantes na mitigação da degradação de recursos naturais (ALBUQUERQUE; SOUZA, 2016; LOUZADA FRANCIANE et al., 2012; SILVA; ROCHA; AQUINO, 2017). O caminho de menor custo é uma ferramenta baseada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) amplamente utilizada na delimitação de corredores ecológicos (FERRARI et al., 2012; LOUZADA FRANCIANE et al., 2012; MOREIRA, 2019; PINTO, 2020; SANTOS et al., 2018), podendo ser aplicada também no planejamento de trilhas. No entanto, há uma lacuna de pesquisas científicas sobre trilhas com enfoque em ferramentas capazes de gerar informações relacionadas a sustentabilidade das trilhas (MARION; WIMPEY, 2017). Por isso, análises envolvendo SIG podem contribuir para a gestão de UCs, uma vez que são capazes de reduzir o tempo gasto em levantamentos de campo e, conseqüentemente, reduzir custos (MARION et al., 2016; MARION; WIMPEY, 2017; MARION; WIMPEY; PARK, 2011). A utilização de SIG no planejamento da visitação é conhecida, no entanto, o mapeamento da fragilidade ambiental atrelado aos impactos da visitação ainda precisa ser mais estudado (TOMCZYK, 2011).

Neste contexto, o principal objetivo desse estudo foi analisar, por meio de ferramentas de SIG, o traçado das trilhas do Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB) quanto à sua fragilidade ambiental.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de estudo**

O estudo foi realizado no Parque Estadual do Ibitipoca (PEIB), situado na Zona da Mata do



estado de Minas Gerais, nos municípios de Lima Duarte (82,35%), Santa Rita de Ibitipoca (13,95%) e Bias Fortes (3,70%). O parque possui altitudes elevadas e localiza-se no Planalto de Andrelândia. As feições de grande beleza cênica existentes no PEIB foram formadas por processos geológicos e geomorfológicos (BENTO; RODRIGUES, 2013).

Os atrativos do parque estão distribuídos em três circuitos: Circuito das Águas, Circuito da Janela do Céu e Circuito do Pião. O primeiro possui 5 km de extensão, apresenta trilhas classificadas como de dificuldade baixa a média e seus principais atrativos são: Lago dos Espelhos, Ponte de Pedra e Cachoeira dos Macacos. O Circuito da Janela do Céu, com aproximadamente 16 km de extensão, é o mais longo e mais difícil, apresenta trilhas com intensas subidas e descidas, sendo seus principais atrativos: Lombada (ponto mais alto do PEIB, com 1784 m de altitude), Gruta da Cruz, Gruta dos Três Arcos e Janela do Céu. Por fim, o Circuito do Pião, com 10 km de extensão, apresenta dificuldade média e seus principais atrativos são: o Pico do Pião, a Gruta dos Viajantes, Cachoeira do Encanto, Poço do Campari e Cachoeira da Pedra Furada, sendo os três últimos abertos à visitação recentemente. (IEF, 2021) (Figura 1).

Figura 1 – Localização e distribuição da área do Parque Estadual do Ibitipoca nos municípios de Lima Duarte, Santa Rita do Ibitipoca e Bias Fortes, Minas Gerais, Brasil.

## 2.2.Dados espaciais

A base de dados para a realização da pesquisa incluiu o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 12,5 metros, do satélite ALOS (sensor PALSAR, modo FBS) disponível na plataforma online do *Alaska Satellite Facility*. Além disso, foi obtida uma imagem do satélite Sentinel 2 (capturada em junho de 2020) na plataforma online da *European Space Agency* (ESA), com resolução espacial de 10 metros nas bandas RGB e infravermelho próximo. Os dados vetoriais das isoietas anuais médias, referentes aos anos 1977 a 2006 foram obtidos na plataforma online do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. E por fim, os dados vetoriais de tipos de solo e dos limites do Parque Estadual do Ibitipoca foram obtidos no laboratório de geoprocessamento do Departamento de Solos – Universidade Federal de Viçosa e na plataforma online da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE – SISEMA), respectivamente.

O mapa de uso e cobertura do solo foi gerado por meio da classificação supervisionada da imagem do satélite Sentinel 2, utilizando o método de máxima verossimilhança (*Maximum Likelihood Classification*). Após a classificação, o Índice Kappa e Exatidão Global foram calculados a fim de validar o processo, os valores calculados foram 0,87 e 0,90, respectivamente, indicando acurácia muito boa (MOIANE; MACHADO, 2019). O mapa de declividade e de fluxo acumulado foram gerados a partir do MDE.

A fragilidade ambiental foi mapeada a partir da sobreposição dos mapas intermediários de precipitação, declividade, tipo de solo, uso e cobertura do solo e fluxo acumulado reclassificados segundo os graus de fragilidade ambiental de cada classe (Tabela 1) (BUNRUAMKAEW; MURAYAMA, 2011; SPÖRL; ROSS, 2004; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Tabela 1 – Classes de precipitação, declividade, tipo de solo, uso e cobertura do solo e fluxo acumulado e seus respectivos graus de fragilidade ambiental (GF) utilizados para confecção do mapa de fragilidade ambiental

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>GF</b>
Precipitação	1.600 a 1.800 mm anuais, 3 a 6 meses secos, chuvas concentradas no verão (70 a 80% do total)	4

Continua...

Tab. 1 – Cont.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>GF</b>
Declividade de terreno	0 - 3%	1
	3 - 8%	2
	8-20%	3
	20-45%	4
	Superior a 45%	5
Tipo de solo	CHd1 - Cambissolo Húmico Distrófico Latossólico + Latossolo Vermelho Amarelo câmbico	2
	CHd2 - Cambissolo Húmico Distrófico argissólico + Neossolo Litólico Distrófico	3
	RLh1 - Neossolo Litólico Húmico espódico + Espodossolo Ferrocárbico Órtico dúrico + Cambissolo Húmico Distrófico espódico	3
	RQo - Neossolo Quartzarênico órtico espódico + Neossolo Quartzarêncio òrtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	4
	RLd3 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico	4
	RLd1 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	4
	RLh3 - Neossolo Litólico Húmico típico + Neossolo Quartzarênico Órtico Húmico	5
	RLh2 - Neossolo Litólico Húmico típico + Afloramentos de rochas quartzíticas	5
	RLd2 - Neossolo Litólico Distrófico típico + Neossolo Litólico Húmico típico	5
	OOy- Neossolo Quartzarênico Órtico espódico + Neossolo Quartzarêncio òrtico Húmico + Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico + Organossolo Hálico Hêmico típico	5
Cobertura do solo	Vegetação	2
	Afloramento rochoso (Quartzito)	1
	Areia quartzítica	4
	Solo Exposto	5
Fluxo Acumulado	0 - 3.879	1
	3.879 - 19.396	2
	19.396 - 40.949	3
	40.949 - 75.863	4
	75.863 - 208.119	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994), Crepani et al (2011), Valle et al. (2016) e França et al. (2017).

Os dados dos traçados atuais das trilhas e da localização dos atrativos abertos para visitação foram coletados com o auxílio do GPS Garmin eTrex30 por meio de visitas em campo.

As análises foram realizadas no software ArcMap 10.5 utilizando a resolução de 5 metros, os dados foram reprojatados para UTM (*Universal Transverse Mercator*) Zona 23 Sul, datum SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

### 2.3. Definição de traçado ideal

As trilhas ideais foram definidas considerando os atrativos utilizados para o turismo, procurando interligá-los com o intuito de diminuir os custos ambientais e, conseqüentemente, os impactos negativos que o uso público pode acarretar. É importante ressaltar que, com a intenção de priorizar a experiência dos visitantes e visto que o PEIB possui visitação consolidada, os caminhos ideais foram traçados de forma a manter a seqüência e os atrativos dos circuitos.

Assim, os traçados ideais foram definidos por meio de SIG, mais especificamente de uma adaptação da técnica do caminho de menor custo (LOUZADA FRANCIANE et al., 2012).

Os fatores analisados neste estudo para definição do traçado ideal das trilhas foram uso e cobertura do solo, declividade, fluxo acumulado e fragilidade ambiental. Mapas, no formato *Raster*, foram gerados para cada um desses fatores. Os custos de cada classe foram atribuídos com o auxílio de outros pesquisadores, baseado no princípio de menor custo acumulado possível (EFFAT; HASSAN, 2013; MOREIRA, 2019).

As classes dos fatores analisados receberam pesos de 1 a 100, sendo que os valores mais elevados correspondem àquelas por onde o traçado da trilha, preferencialmente, não deve passar (Tabela 2).

Tabela 2 – Classes de uso e cobertura do solo, declividade, fluxo acumulado e fragilidade ambiental, com seus respectivos custos ambientais

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Custo</b>
Uso e cobertura do solo	Afloramento rochoso	1
	Vegetação	25
	Areia quartzítica	75
	Solo exposto	100
Declividade	0-3,00%	1
	3,01-8,00%	25
	8,01-20,00%	50
	20,01-45,00%	75

Continua...

Tab. 2 – Cont.

<b>Fator</b>	<b>Classes</b>	<b>Custo</b>
Declividade	> 45%	100
	0 - 3.879	1
	3.879 - 19.396	100
	19.396 - 40.949	100
	40.949 - 75.863	100
Fluxo acumulado (nº de pixels)	Fragilidade baixa	25
	Fragilidade média	50
	Fragilidade alta	75
	Fragilidade muito alta	100

Fonte: Adaptado de Louzada et al. (2012), Santos et al. (2018), Moreira (2019), Pinto (2020).

O método AHP, proposto por Saaty (1977), foi utilizado para atribuir o peso de cada fator (Tabela 3 e 4), facilitando a tomada de decisão (EFFAT; HASSAN, 2013). Assim, cada imagem matricial foi multiplicada pelo respectivo peso estatístico e posteriormente, somadas para gerar a imagem matricial de custo total.

Tabela 3 – Matriz de comparação pareada

<b>Fatores</b>	<b>Uso e cobertura do solo</b>	<b>Declividade</b>	<b>Fluxo acumulado</b>	<b>Fragilidade ambiental</b>
Uso e cobertura do solo	1	1/2	1/3	1/4
Declividade	2	1	1/3	1/3
Fluxo acumulado	3	1/4	1	1/2
Fragilidade ambiental	4	3	2	1

Fonte: Adaptado de Effat & Hassan (2013).

Tabela 4 – Determinação dos pesos estatísticos para cada variável

<b>Fatores</b>	<b>Cobertura do solo</b>	<b>Fluxo acumulado</b>	<b>Declividade</b>	<b>Fragilidade ambiental</b>	<b>Pesos</b>
<b>Cobertura do solo</b>	1,00/10,00 = 0,1	0,33/3,67 = 0,0909	0,5/4,75 = 0,1053	0,25/2,08 = 0,1200	<b>0,1040</b>
<b>Fluxo acumulado</b>	3,00/10,00 = 0,3	1,00/3,67 = 0,2727	0,25/4,75 = 0,0526	0,5/2,08 = 0,2400	<b>0,2163</b>
<b>Declividade</b>	2,00/10,00 = 0,2	0,33/3,67 = 0,0909	1,00/4,75 = 0,2105	0,33/2,08 = 0,1600	<b>0,1654</b>
<b>Fragilidade ambiental</b>	4,00/10,00 = 0,4	2,00/3,67 = 0,5455	3,00/4,75 = 0,6316	1,00/2,08 = 0,4800	<b>0,5143</b>

A razão de consistência (RC) da matriz de comparação pareada foi calculada para garantir a confiabilidade dos valores atribuídos e, para ser considerada satisfatória, seu valor

deve ser menor que 0,1 (SAATY, 2008). Os pesos estatísticos e a RC foram calculados pelo *software* Microsoft Excel 2016. A RC obtida foi de 0,05 e foi calculada pela equação 1:

$$RC = IC / IR \quad (1)$$

Em que:

RC = razão de consistência.

IR = índice aleatório que pode ser extraído da Tabela 5

IC = índice de consistência, calculado pela equação 2:

$$IC = (\lambda_{m\acute{a}x} - n) / (n - 1) \quad (2)$$

Em que:

n = número de variáveis testadas que corresponde ao número de colunas ou de linhas; e

$\lambda_{m\acute{a}x}$  = autovetor, calculado pela equação 3:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[A_w]i}{w_i} \quad (3)$$

Em que,

$[A_w]i$  = Matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada (Tabela 4) pela matriz dos pesos calculados ( $W_i$ ); e

$W_i$  = pesos calculados.

Tabela 5 – Valores de IR para matrizes quadradas de ordem n

n	2	3	4	5	6	7
IR	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32

Fonte: Adaptado de Santos et al., (2018)

Em seguida, foram calculados os caminhos ótimos com menores custos acumulados entre os atrativos (MOREIRA, 2019). Após definidas as trilhas ideais, foi adicionada uma zona de 5m à largura da trilha atual e da trilha ideal gerada. Posteriormente, a imagem vetorial da fragilidade ambiental do PEIB foi recortada para analisar a distribuição das classes de fragilidade dentro das trilhas.

### 3. Resultados e Discussão

No Circuito das Águas, 88,68% dos traçados ideais foram classificados como sendo de média fragilidade ambiental. Já nos Circuitos do Pico do Pião e da Janela do Céu, os valores obtidos foram 84,50% e 87,03%, respectivamente (Tabela 4). A distribuição dos trechos de alta

fragilidade se deu de forma não homogênea e caracteriza locais onde as trilhas podem sofrer mais com o impacto da visitação.

Tabela 6 – Distribuição dos traçados das trilhas dos Circuitos das Águas, do Pico do Pião e da Janela do Céu entre as classes de fragilidade ambiental

	Classes	GF	ATUAL (m)	ATUAL (%)	IDEAL (m)	IDEAL (%)	Variação (m)	Variação (%)
<b>Circuito das Águas</b>	Baixa	2	25,54	0,55	219,73	6,08	+194,19	+5,53
	<b>Média</b>	<b>3</b>	<b>4289,97</b>	<b>90,68</b>	<b>3204,90</b>	<b>88,68</b>	<b>-1085,07</b>	<b>-2,00</b>
	Alta	4	414,85	8,77	189,37	5,24	-225,48	-3,53
<b>Circuito do Pico do Pião</b>	Baixa	2	294,66	4,72	650,15	14,78	+355,49	+10,06
	<b>Média</b>	<b>3</b>	<b>5576,06</b>	<b>89,32</b>	<b>3717,05</b>	<b>84,50</b>	<b>-1859,01</b>	<b>-4,82</b>
	Alta	4	372,07	5,96	31,67	0,72	-340,40	-5,24
<b>Circuito Janela do Céu</b>	Baixa	2	545,24	3,80	1310,31	10,72	+765,07	+6,92
	<b>Média</b>	<b>3</b>	<b>13128,70</b>	<b>91,50</b>	<b>10637,68</b>	<b>87,03</b>	<b>-2491,02</b>	<b>-4,47</b>
	Alta	4	674,37	4,70	275,02	2,25	-399,35	-2,45

O Circuito do Pico do Pião foi o que apresentou maior variação (20,12%) entre as classes de fragilidade quando comparados os traçados atuais e ideais. Isto significa que as trilhas atuais que compõem os outros circuitos foram as que mais se aproximaram das ideais.

Os Circuitos da Janela do Céu e das Águas apresentaram menor variação entre os traçados atuais e ideais, quando comparados aos traçados do Circuito do Pico do Pião. Isto se deve, principalmente, ao fato primeiros circuitos citados apresentarem o piso da trilha composto, principalmente, por afloramentos rochosos de quartzito, essas rochas garantem maior resistência a esses traçados. Por isso, concentrar a visitação nessas superfícies significa reduzir os impactos (MONZ; PICKERING; HADWEN, 2013).

Os trechos classificados com a cor vermelha foram aqueles nos quais o traçado da trilha passou por uma área de alta fragilidade ambiental, sendo assim, são locais que demandam maiores esforços de monitoramento e podem, inclusive, necessitar de desvios de trajeto (Figuras 2, 3 e 4).



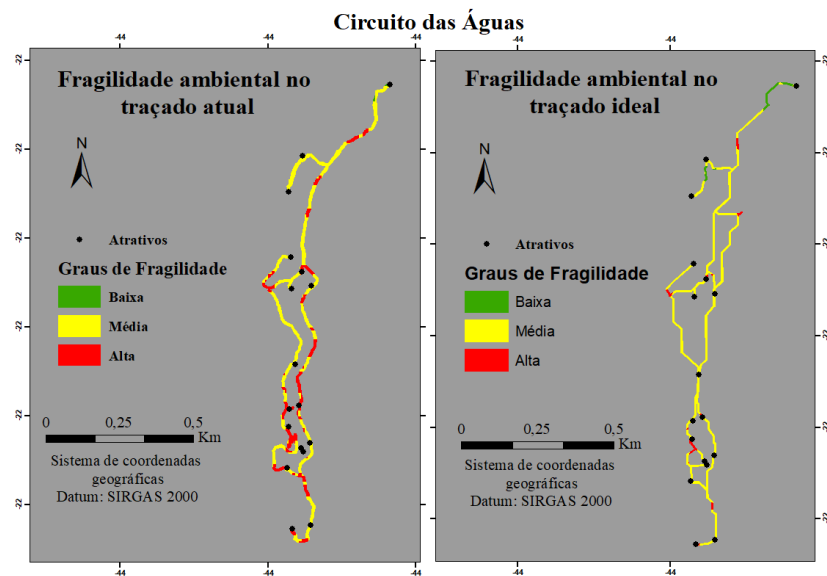


Figura 2 – Distribuição da fragilidade ambiental nos traçados atuais e ideais do Circuito das Águas.

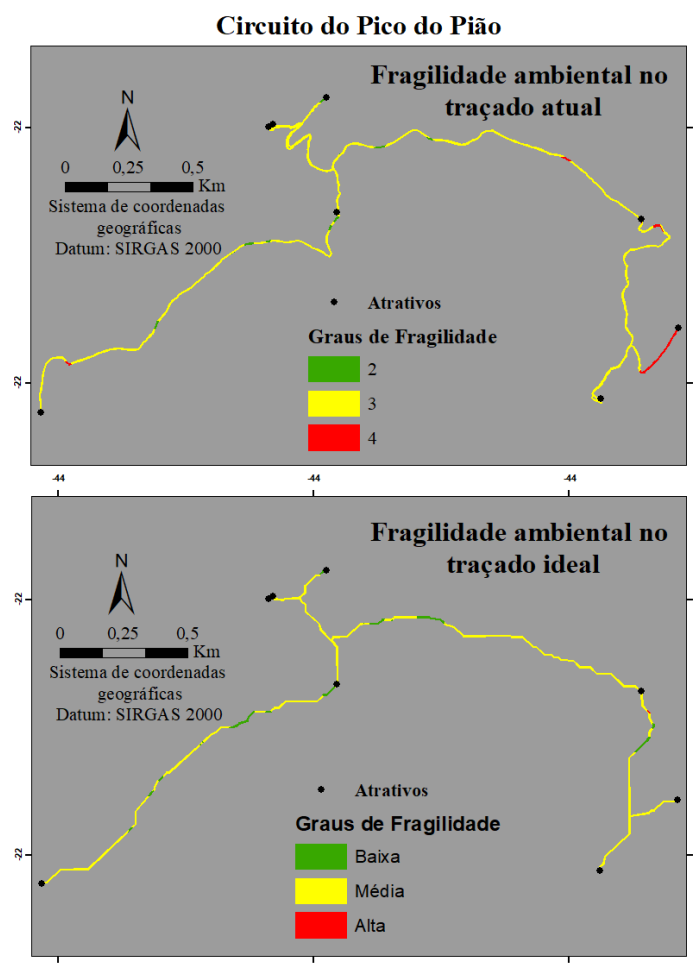


Figura 3 – Distribuição da fragilidade ambiental nos traçados atuais e ideais do Circuito do Pico do Pião.

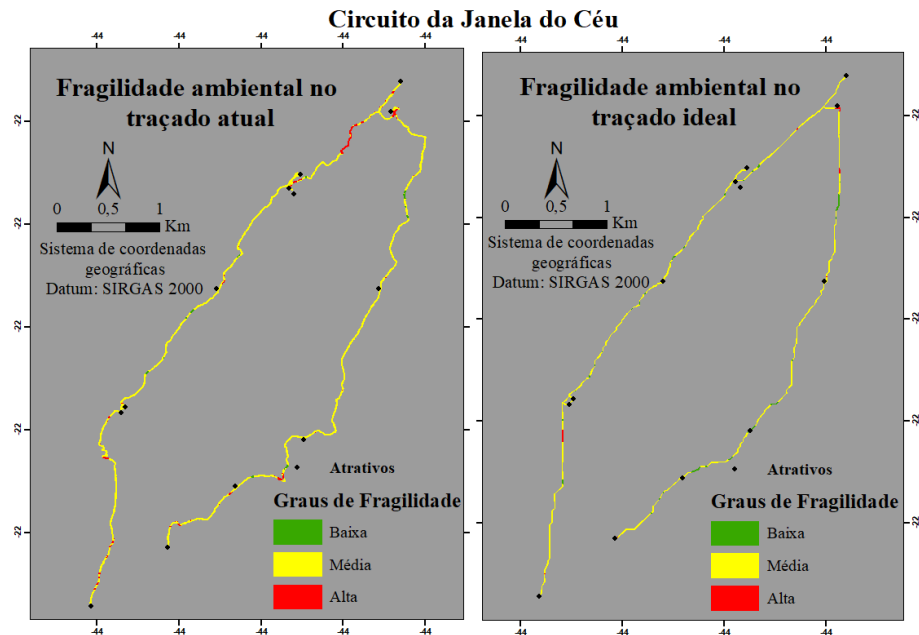


Figura 4 – Distribuição da fragilidade ambiental nos traçados atuais e ideais do Circuito da Janela do Céu.

No entanto, alterar grande parte do caminho da trilha com o intuito de desviar de rotas com alta fragilidade ecoturística, pode significar solução dispendiosa e alteração nas experiências recreativas dos visitantes (MARION; LEUNG, 2004). Uma vez que, geralmente, áreas que apresentam alta fragilidade ambiental são ecologicamente valiosas e atraentes para a visitação (TOMCZYK, 2011). No caso do PEIB, onde a rocha presente na maior parte da cobertura do solo é o quartzito, que apresenta resistência frente à alteração e intemperismo (DIAS et al., 2002, 2003), inclinações mais íngremes são aceitáveis em distâncias curtas. Caso haja necessidade, os gestores podem substituir trechos por desvios com intuito de adequar ao traçado ideal da trilha, optando por caminhos que estejam alinhados com as encostas e apresentem baixos declives (MARION; WIMPEY, 2017; TOMCZYK et al., 2017; WOLF; CROFT, 2014).

Na ecologia da recreação entende-se que os distúrbios advindos da visitação são altamente influenciados pelo comportamento dos turistas, ainda assim, conhecer as características do ecossistema bem como das espécies que podem ser afetadas, significa grande avanço na tentativa de mitigar esses impactos negativos (MONZ et al., 2010; MONZ; PICKERING; HADWEN, 2013; SUMANAPALA; WOLF, 2019).

Via de regra, a degradação advinda do impacto ambiental não é resultado de apenas um fator, e sim da combinação das relações entre eles que condicionam determinada situação (ICMBIO, 2011). Frente a esta problemática, as ferramentas de geoprocessamento tornaram-se

imprescindíveis para este trabalho, uma vez que possibilitou entender a inter-relação de condições naturais diversas que podem ser afetadas pela visitação, na tentativa de prever os impactos recreativos, mitigá-los e assim, apoiar tomadas de decisões (BEECO et al., 2013; DA COSTA et al., 2009). Além disso, algumas mudanças advindas da visitação podem ocorrer de forma rápida, o que reafirma a importância do entendimento dos distúrbios em escalas espaciais (GUTZWILLER; D'ANTONIO; MONZ, 2017).

As informações geradas também podem amparar tomadas de decisões que reduzirão custos recorrentes de manutenção (HAWES; DIXON; LING, 2013; MARION; WIMPEY; PARK, 2011). Trilhas projetadas de forma sustentável tendem a sustentar os usos sem mudanças indesejáveis (MONZ et al., 2010). Além disso, os resultados auxiliam no planejamento das ações de manejo, indicando onde o monitoramento pode ser necessário e quais atividades recreativas são adequadas para aqueles locais e os níveis de infraestruturas exigida (DA COSTA et al., 2009; PICKERING, 2010).

O PEIB é um dos parques brasileiros mais visitados (SANCHO-PIVOTO; ALVES; DIAS, 2020). Isto se deve, principalmente, a enorme exuberância das paisagens e às oportunidades recreativas de alta qualidade. Este cenário, requer dos gestores o esforço em manter a saúde e a sustentabilidade dos ecossistemas e recursos (MONZ et al., 2021; MOORE et al., 2012).

As técnicas de geoprocessamento se mostraram relevantes para auxiliar no planejamento das trilhas. A busca contínua pela compreensão de como os visitantes podem impactar a paisagem eleva a importância da análise espacial para estas questões (AKLIBAŞINDA; BULUT, 2014; BEECO et al., 2013). O uso dessas técnicas auxilia no planejamento e na definição de objetivos e prioridades, que muitas vezes possuem um caráter subjetivo (WATSON et al., 2011). No entanto, o fato do parque apresentar pequena extensão (1440ha) e as imagens possuírem baixa resolução (5m), foi um fator limitante para o estudo. As técnicas baseadas em análises por meio de SIG estão sendo desenvolvidas para estudar sistemas de trilhas maiores e mais complexas. Estas ferramentas trarão a possibilidade de avaliar as trilhas de forma remota, reduzindo o tempo da equipe em campo e auxiliando na compreensão dos fatores que influenciam a degradação das trilhas (HAWES; DIXON; LING, 2013; MARION; WIMPEY; PARK, 2011).

É importante ressaltar que, os traçados ideais encontrados nesta pesquisa não são, necessariamente, os traçados finais (FERRARINI et al., 2008). Vale destacar que para chegar a este traçado ótimo, outras variáveis devem ser observadas, como a atratividade do local, técnicas de construção de trilhas interpretativas, além de respeitar orientações e documentos já

existentes, como o plano de manejo (OLAFSSON; SKOV-PETERSEN, 2014). Além disso, mesmo em condições de fragilidade ambiental baixo, os impactos negativos nas trilhas podem acontecer, por isso, a gestão das UCs não devem abrir mão das técnicas de manejo eficientes e monitoramento contínuo (COURTENAY; LOOKINGBILL, 2014; TOMCZYK; EWERTOWSKI, 2013).

Para aplicação da metodologia em outras áreas, as especificidades dos locais devem ser observadas, ao passo que, as variáveis utilizadas para calcular o custo ambiental do parque podem depender de outros fatores que não os abordados neste estudo (HAWES; DIXON, 2014). A metodologia utilizada neste estudo possui potencial de utilização em unidades de conservação recém-criadas, uma vez que pode fornecer subsídios para um planejamento inicial de uso público, bem como para monitorar e manejar trilhas já existentes. As trilhas são atividades prioritárias, e muitas vezes as primeiras estruturas a serem viabilizadas, para dar início a atividade de visitação.

Cabe ressaltar, por fim, que os resultados deste estudo trazem contribuições para a área de ecologia da recreação no intuito de somar esforços para que cada vez mais esta área seja baseada em estudos científicos locais, com intuito de garantir a viabilidade dos recursos e as oportunidades e benefícios que eles fornecem, além de serem úteis para o cotidiano das UCs (BEECO et al., 2013; BEECO; BROWN, 2013; TOMCZYK, 2011). Contudo, o manejo dos impactos da visitação é uma atividade que tem por característica a dinâmica e mudança constante, logo, a pesquisa por metodologias viáveis não se esgota e deve incorporar atualizações com o passar do tempo.

#### **4. Conclusões**

No Parque Estadual do Ibitipoca, a maior parte das trilhas que compõem os circuitos abertos para a visitação possuem médio grau de fragilidade ambiental.

O Circuito do Pico do Pião foi o que apresentou os traçados atuais mais diferentes dos traçados ideais, concluindo que neste percurso as atividades de manejo e monitoramento devem demandar maior atenção por parte da equipe gestora.

O mapeamento da fragilidade dos circuitos auxilia monitoramento contínuo das condições dos caminhos. Entretanto, caso haja necessidade, as trilhas podem ser deslocadas com o intuito de se adequarem ao traçado ideal.

Melhorar o entendimento da fragilidade ambiental das trilhas permite que os técnicos prevejam e gerenciem trechos com maior risco de sofrer impactos, bem como auxiliar a tomada de decisão sobre onde destinar os recursos.

A metodologia aqui utilizada possui abordagem flexível. Podendo ser ajustada para outras UCs, inclusive aquelas recém-criadas. Destaca-se a importância de se observar a qualidade da base de dados de entrada, uma vez que os resultados irão depender destas escolhas.

À medida que as pesquisas avançam, o uso do SIG pode se tornar ainda mais viável para o planejamento de trilhas com baixo impacto ambiental.

## 5. Referências bibliográficas

AKLIBAŞINDA, M.; BULUT, Y. Analysis of terrains suitable for tourism and recreation by using geographic information system (GIS). **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 9, p. 5711–5719, 2014.

ALBUQUERQUE, E. L. S.; SOUZA, M. J. N. DE. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 110–14, 2016.

ARRIAGADA, L. et al. A new method to evaluate the vulnerability of watersheds facing several stressors: A case study in mediterranean Chile. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1517–1533, 2019.

BEECO, J. A. et al. The importance of spatial nested data in understanding the relationship between visitor use and landscape impacts. **Applied Geography**, v. 45, p. 147–157, 2013.

BEECO, J. A.; BROWN, G. Integrating space, spatial tools, and spatial analysis into the human dimensions of parks and outdoor recreation. **Applied Geography**, v. 38, n. 1, p. 76–85, 2013.

BENTO, L. C. M.; RODRIGUES, S. C. Aspectos geológico-geomorfológicos do Parque Estadual do Ibitipoca/MG: base para o entendimento do seu geopatrimônio. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 379–394, 2013.

BRASIL. 2000. Ministério do Meio Ambiente. SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 05 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006. Brasília: MMA, 2011. 76 p.

BUNRUAMKAEW, K.; MURAYAMA, Y. Site suitability evaluation for ecotourism using GIS & AHP: A case study of surat Thani Province, Thailand. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 21, p. 269–278, 2011.

COLE, D. N. Wilderness campsite impacts: effect of amount of use. **US Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper**, n. INT-284, 1982.

COLE, D. N.; HALL, T. E. Trends in campsite condition: Eagle Cap Wilderness, Bob Marshall Wilderness, and Grand Canyon National Park. **Research Paper - US Department of Agriculture, Forest Service**, n. INT-453, 1992.

CONRADI, T. et al. Impacts of visitor trampling on the taxonomic and functional community structure of calcareous grassland. **Applied Vegetation Science**, v. 18, n. 3, p. 359–367, 2015.

- COURTENAY, C. I.; LOOKINGBILL, T. R. Designing a regional trail network of high conservation value using principles of green infrastructure. **Southeastern Geographer**, v. 54, n. 3, p. 270–290, 2014.
- DA COSTA, N. M. C. et al. Fragilidade Ecoturística Em Áreas De Atrativos No Parque Estadual Da Pedra Branca (Rj). **Geo UERJ**, v. 2, n. 19, p. 138–160, 2009.
- DIAS, H. C. T. et al. Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 777–786, 2002.
- DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 469–481, 2003.
- DIXON, G.; HAWES, M. A longitudinal multi-method study of recreational impacts in the Arthur Range, Tasmania, Australia. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, v. 9, p. 64–76, 2015.
- EFFAT, H. A.; HASSAN, O. A. Designing and evaluation of three alternatives highway routes using the Analytical Hierarchy Process and the least-cost path analysis, application in Sinai Peninsula, Egypt. **Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 16, n. 2, p. 141–151, 2013.
- FERRARI, J. L. et al. Corredores ecológicos potenciais na subbacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre-ES, indicados por meio de SIG. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 133–141, 2012.
- FERRARINI, A. et al. Planning low-impact tourist paths within a Site of Community Importance through the optimisation of biological and logistic criteria. **Biological Conservation**, v. 141, n. 4, p. 1067–1077, 2008.
- FERREIRA, A. C. et al. Estudos Geoecológicos Aplicados ao Manejo da Trilha das Macaúbas na Floresta Nacional de Ritópolis – Minas Gerais / Applied Geoecological Studies to the Macaúbas Trail Management in the Ritópolis National Forest – Minas Gerais State, Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 47, p. 714, 2016.
- FIGUEIREDO, M. DO A. et al. Compactação do solo em trilhas de unidade de conservação. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 165–174, 2010.
- GUTZWILLER, K. J.; D'ANTONIO, A. L.; MONZ, C. A. Wildland recreation disturbance: broad-scale spatial analysis and management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 9, p. 517–524, 2017.
- HAWES, M.; DIXON, G. A methodology for prioritising management tasks for an extensive recreational walking track system. **Journal of Outdoor Recreation and Tourism**, v. 5–6, p. 11–16, 2014.
- HAWES, M.; DIXON, G.; LING, R. A GIS-based methodology for predicting walking track stability. **Journal of Environmental Management**, v. 115, p. 295–299, 2013.
- LEUNG, Y. F.; MARION, J. L. Assessing trail conditions in protected areas: Application of a problem-assessment method in Great Smoky Mountains National Park, USA. **Environmental**

**Conservation**, v. 26, n. 4, p. 270–279, 1999.

ICMBio. 2011. Roteiro metodológico para manejo de impactos da visitação com enfoque na experiência do visitantes e na proteção dos recursos naturais e culturais. Instituto Chico Mendes de Conservação da Natureza. Brasília, DF, Brasil.

IEF. 2021. Instituto Estadual de Florestas. **Parque Estadual do Ibitipoca**. Disponível em <<http://www.ief.mg.gov.br/component/content/192?task=view>>. Acesso em: 04/06/2021

LOUZADA FRANCIANE, L. R. DE O. et al. Proposta de corredores ecológicos para interligação de parques estaduais utilizando geotecnologia, Espírito Santo (ES)-Brasil. **Revista Geográfica Venezuelana**, v. 53, n. 2, p. 239–254, 2012.

LYNN, N. A.; BROWN, R. D. Effects of recreational use impacts on hiking experiences in natural areas. **Landscape and Urban Planning**, v. 64, n. 1–2, p. 77–87, 2003.

MARION, J. L. et al. A review and synthesis of recreation ecology research findings on visitor impacts to wilderness and protected natural areas. **Journal of Forestry**, v. 114, n. 3, p. 352–362, 2016.

MARION, J. L.; LEUNG, Y. F. Environmentally sustainable trail management. In: **Environmental impacts of ecotourism (ed. R. Buckley)**. [s.l.: s.n.]. p. 229–243.

MARION, J. L.; WIMPEY, J. Assessing the influence of sustainable trail design and maintenance on soil loss. **Journal of Environmental Management**, v. 189, p. 46–57, 2017.

MARION, J. L.; WIMPEY, J. F.; PARK, L. O. The science of trail surveys: Recreation ecology provides new tools for managing wilderness trails. **Park Science**, v. 28, n. 3, 2011.

MILLER, A. B.; KAYS, R.; LEUNG, Y. F. Wildlife response to recreational trail building: An experimental method and Appalachian case study. **Journal for Nature Conservation**, v. 56, p. 125815, 2020.

MOIANE, A.; MACHADO, A. M. L. Class-based affinity propagation for hyperspectral image dimensionality reduction and improvement of maximum likelihood classification accuracy. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, v. 25, n. 1, p. 1–20, 2019.

MONZ, C. A. et al. Sustaining visitor use in protected areas: Future opportunities in recreation ecology research based on the USA experience. **Environmental Management**, v. 45, n. 3, p. 551–562, 2010.

MONZ, C. A. et al. Understanding and managing the interactions of impacts from nature-based recreation and climate change. **Ambio**, v. 50, n. 3, p. 631–643, 2021.

MONZ, C. A.; PICKERING, C. M.; HADWEN, W. L. Recent advances in recreation ecology and the implications of different relationships between recreation use and ecological impacts. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 11, n. 8, p. 441–446, 2013.

MOORE, R. L. et al. Understanding users' perceptions of trail resource impacts and how they affect experiences: An integrated approach. **Landscape and Urban Planning**, v. 107, n. 4, p.

343–350, 2012.

MOREIRA, T. R. **Proposta de implementação de corredores ecológicos como estratégia para mitigação de impactos ambientais na bacia hidrográfica do Rio Doce, Brasil.** [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

NAHUELHUAL, L. et al. Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile. **Applied Geography**, v. 40, p. 71–82, 2013.

OLAFSSON, A. S.; SKOV-PETERSEN, H. The use of GIS-based support of recreational trail planning by local governments. **Applied Spatial Analysis and Policy**, v. 7, n. 2, p. 149–168, 2014.

OLIVE, N. D.; MARION, J. L. The influence of use-related, environmental, and managerial factors on soil loss from recreational trails. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 3, p. 1483–1493, 2009.

PARK, L. O. et al. Managing Visitor Impacts in Parks: A Multi-Method Study of the Effectiveness of Alternative Management Practices. **Journal of Park and Recreation Administration**, v. 26, n. 1, p. 97–121, 2008.

PICKERING, C. M. Ten factors that affect the severity of environmental impacts of visitors in protected areas. **Ambio**, v. 39, n. 1, p. 70–77, 2010.

PINTO, D. L. **Estudo da paisagem e aplicação da lógica fuzzy na criação de corredores ecológicos entre fragmentos florestais e áreas protegidas na Zona da Mata, Minas Gerais, Brasil.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2020.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E.; REALE-MUNROE, K.; ATKINSON, S. C. Quantification and modeling of foot trail surface erosion in a dry sub-tropical setting. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 13, p. 1764–1777, 2014.

RANGEL, L. et al. Soil erosion and land degradation on trail systems in mountainous areas: Two case studies from South-East Brazil. **Soil Systems**, v. 3, n. 3, p. 1–14, 2019.

SANCHO-PIVOTO, A.; ALVES, A. F.; DIAS, V. N. Efeitos e transformações gerados pelo turismo no contexto territorial do parque estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo**, v. 14, n. 2, p. 46–63, 2020.

SANTOS, J. S. et al. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 88, n. July 2017, p. 414–424, 2018.

SILVA, F. J. L. T. DA; ROCHA, D. F.; AQUINO, C. M. S. DE. GEOGRAFIA, GEOTECNOLOGIAS E AS NOVAS TENDÊNCIAS DA GEOINFORMAÇÃO: indicação de estudos realizados na região Nordeste. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 6, p. 176, 2017.

SOUZA, T. DO V. S. B.; THAPA, B.; VIVEIROS DE CASTRO, E. B. Índice de Atratividade Turística das Unidades de Conservação Federais. n. February 2021, p. 17, 2017.



SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. APLICAÇÃO DE TRÊS MODELOS. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, n. 15, p. 39–49, 2004.

SUMANAPALA, D.; WOLF, I. D. Recreational ecology: A review of research and gap analysis. **Environments - MDPI**, v. 6, n. 7, p. 20–23, 2019.

TOMCZYK, A. M. A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland. **Applied Geography**, v. 31, n. 1, p. 339–351, 2011.

TOMCZYK, A. M. et al. A new framework for prioritising decisions on recreational trail management. **Landscape and Urban Planning**, v. 167, n. April, p. 1–13, 2017.

TOMCZYK, A. M.; EWERTOWSKI, M. Planning of recreational trails in protected areas: Application of regression tree analysis and geographic information systems. **Applied Geography**, v. 40, p. 129–139, 2013.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ TT - Mapping of Environmental Fragility in the Aldeia Velha River Basin, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295–308, 2016.

WATSON, J. E. M. et al. Systematic Conservation Planning: Past, Present and Future. **Conservation Biogeography**, p. 136–160, 2011.

WIMPEY, J. F.; MARION, J. L. The influence of use, environmental and managerial factors on the width of recreational trails. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 10, p. 2028–2037, 2010.

WOLF, I. D.; CROFT, D. B. Impacts of tourism hotspots on vegetation communities show a higher potential for self-propagation along roads than hiking trails. **Journal of Environmental Management**, v. 143, p. 173–185, 2014.

## CONCLUSÕES GERAIS

A maior parte da área (71,39%) do Parque Estadual do Ibitipoca, bem como os traçados dos circuitos abertos à visitação podem ser classificados como de média fragilidade ambiental.

Definir prioridades no que diz respeito as atividades de manejo da visitação em unidades de conservação é um desafio e, inevitavelmente, possui um caráter subjetivo. Por isso, a utilização de modelos que auxiliem na identificação de áreas mais frágeis e, conseqüentemente, mais suscetíveis a degradação são ferramentas fundamentais para o planejamento e o monitoramento das trilhas.

As trilhas do Circuito do Pico do Pião possuem maior suscetibilidade a impactos oriundos da visitação.

As técnicas utilizadas neste estudo podem ser adaptadas a outras áreas e fatores, permitindo, inclusive, a utilização no planejamento do uso público de unidades de conservação recém-criadas.