

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ANA CAROLINA MARTINS MATOS

IDENTIFICAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL ATRAVÉS DE
ANÁLISE MULTICRITÉRIOS E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO: MUNICÍPIO
DE PATOS DE MINAS/MG

UBERABA

2020

ANA CAROLINA MARTINS MATOS

IDENTIFICAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL ATRAVÉS DE
ANÁLISE MULTICRITÉRIOS E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO: MUNICÍPIO
DE PATOS DE MINAS/MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres.

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira.

UBERABA

2020

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

M381i Matos, Ana Carolina Martins
Identificação da fragilidade ambiental potencial através de análise multicritérios e técnicas de geoprocessamento: município de Patos de Minas/MG / Ana Carolina Martins Matos. -- 2020.
105 f. : il., tab.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2020
Orientador: Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres
Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira

1. Ecossistemas. 2. Conservação dos Recursos Naturais. 3. Restauração.
4. Análise multicritério. 5. Ecossistemas – Manejo. 6. Mapas - Álgebra.
7. Sistemas de informações geográficas. I. Torres, José Luiz Rodrigues. II.
Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 574:528.8

ANA CAROLINA MARTINS MATOS

**IDENTIFICAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL ATRAVÉS DE ANÁLISE
MULTICRITÉRIO E TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO DO MUNICÍPIO DE PATOS
DE MINAS/MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, para obtenção do título de mestre.

Uberaba, 28 de agosto de 2020.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres
Orientador - IFTM/UFTM

Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior
Membro Titular - IFTM/UFTM

Prof^a. Dr^a. Vera Lúcia Abdala

Membro Titular - IFTM



Documento assinado eletronicamente por **José Luiz Rodrigues Torres, Usuário Externo**, em 28/08/2020, às 20:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renato Farias do Valle Junior, Usuário Externo**, em 02/09/2020, às 12:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vera Lúcia Abdala, Usuário Externo**, em 09/09/2020, às 08:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0390139** e o código CRC **0C8CE7E2**.

Dedico este estudo a Deus. A toda minha família, em especial meus pais, Rubens e Eva, e meus irmãos, Raquel e Eduardo e todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pelos momentos de felicidade em minha vida e também pelos momentos difíceis, pois com eles me torno cada vez mais forte para enfrentar qualquer obstáculo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Luiz Rodrigues Torres e ao coorientador, Prof. Dr. Ricardo Vicente Ferreira, pelas orientações, incentivos, pelas críticas e sugestões.

Gostaria também de agradecer a banca examinadora que cederam uma parte de seu tempo para poder contribuir com esse trabalho.

Aos colegas do mestrado, os quais se tornaram grandes amigos que carregarei para sempre, assim como todos os professores das disciplinas que participei, que foram de grande contribuição para o meu conhecimento.

Aos meus queridos pais, Rubens e Eva, pelo amor, paciência e dedicação.

Aos meus irmãos, Raquel e Eduardo, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos Willian e Rafael, pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao Tiago e ao Paulo, que me permitiram conciliar os estudos e o trabalho na Preservar Consultoria Ambiental.

A Universidade Federal do Triângulo Mineiro e ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental pela oportunidade concedida para a realização deste curso, permitindo a concretização de um sonho e a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, que contribuíram para essa realização.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

“O que quer que você possa fazer ou
possa sonhar, comece. A coragem tem força,
poder e magia”.

Johann Wolfgang von Goethe

RESUMO

Utilizando a análise multicritérios e técnicas de geoprocessamento, é possível identificar áreas sensíveis a impactos ambientais, expondo suas diferentes condições de fragilidade, que podem servir de base para o zoneamento ambiental e fornecer subsídios à gestão do território. O objetivo do estudo foi identificar a fragilidade ambiental potencial, através de técnicas de geoprocessamento e análise multicritérios, do município de Patos de Minas, MG, localizado nas coordenadas centrais 18°34'46,00" de latitude Sul e 46° 31'06,00" de longitude Oeste, com altitude média de 842 metros, na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e com área total de 3.190,456 km². A metodologia utilizada foi baseada no estabelecimento de graus de fragilidade, a partir da avaliação multicritérios de um conjunto de planos de informações ambientais. Aplicou-se então o método de hierarquização para tomada de decisões e determinação da importância dos critérios através do processo hierárquico analítico (AHP), com auxílio de *softwares*. Observou-se que 71,0% da área total do município vêm sendo utilizada para algum tipo de exploração agropecuária, na qual predominam as pastagens em 56,79% da região, Latossolos com até 20% de declividade, relevo ondulado e cursos de água de 1ª ordem. O índice de fragilidade potencial ambiental de Patos de Minas, MG foi considerado médio em 29,74% da área ou em 948,38 km² e baixo e muito baixo em 24,05% e 22,69% da área, respectivamente, em que a declividade, pluviosidade e hierarquia fluvial foram os fatores com maior influência no diagnóstico realizado. A metodologia do processo hierárquico analítico (AHP) e a análise multicritério que foram utilizados no estudo se mostraram eficientes na análise da fragilidade ambiental potencial do município.

Palavras-chave: Declividade. Uso e ocupação do solo. Degradação ambiental.

ABSTRACT

Using multicriteria analysis and geoprocessing techniques, it is possible to identify sensitive areas to environmental impacts, exposing their different fragility conditions, which can serve as a basis for zoning and provide subsidies for land management. The aim of the study was to identify the potential environmental fragility, through geographic information system techniques and multicriteria analysis, in the municipality of Patos de Minas, MG, located at the central coordinates 18°34'46.00" south latitude and 46°31'06.00" west longitude, with an average altitude of 842 meters, in the region of Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, with a total area of 3,190.456 km². The methodology used was based on the establishment of degrees of fragility, based on the multicriteria assessment of a set of environmental information plans. Then, the hierarchical method was applied for decision making and determination of the importance of the criteria through the analytical hierarchical process (AHP), with the assistance of software. It was observed that 71.0% of the total area of the municipality has been used for some type of agricultural exploration, in which pastures predominate in 56.79% of the area, Oxisols with up to 20% slope, undulating relief and water courses of 1st order. The potential environmental fragility index of Patos de Minas, MG was considered average in 29.74% of the area or in 948.38 km² and low and very low in 24.05% and 22.69% of the area, respectively, in which the slope, rainfall and river hierarchy were the factors with the greatest influence on the diagnosis made. The methodology of the analytical hierarchical process (AHP) and the multicriteria analysis that were used in the study proved to be efficient in the analysis of the potential environmental fragility of the municipality.

Keywords: Declivity. Land use and occupation. Environmental degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Grupos de aptidão agrícola (1 a 6) e suas alternativas de utilização dos solos de acordo com os graus de intensidade e limitação.....	36
Figura 2 – Localização geográfica do município de Patos de Minas, MG, no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil.	37
Figura 3 – Fluxograma do processo de desenvolvimento metodológico do estudo proposto..	38
Figura 4 – Mapa de declividade da área do município de Patos de Minas, MG.	54
Figura 5 – Mapa de fragilidade ambiental da declividade da área do município de Patos de Minas, MG.....	56
Figura 6 – Mapa de hipsometria da área do município de Patos de Minas, MG.....	58
Figura 7 – Mapa de geomorfologia da área do município de Patos de Minas, MG.	60
Figura 8 – Mapa de geologia da área do município de Patos de Minas, MG.....	62
Figura 9 – Mapa de fragilidade ambiental da geologia da área do município de Patos de Minas, MG.....	64
Figura 10 – Mapa de pedologia da área do município de Patos de Minas, MG.....	66
Figura 11 – Mapa de fragilidade ambiental dos tipos de solo da área do município de Patos de Minas, MG.....	68
Figura 12 – Mapa de hidrologia da área do município de Patos de Minas, MG.	71
Figura 13 - Mapa de fragilidade ambiental da hierarquia fluvial da área do município de Patos de Minas, MG.	72
Figura 14 – Mapa de uso e ocupação do solo da área do município de Patos de Minas, MG.	76
Figura 15 – Mapa de fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo da área do município de Patos de Minas, MG.	78
Figura 16 – Mapa de fragilidade ambiental potencial da área do município de Patos de Minas, MG.....	84
Figura 17 – Relação das áreas e classes de fragilidade (%), com representação de linha de tendência do tipo polinomial.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Atributos ambientais utilizados para as análises realizadas.	39
Tabela 2 – Dados referentes as Estações de precipitação pluviométrica (PP) na área de estudo analisada.	42
Tabela 3 – Graus de fragilidade (GF) para o parâmetro declividade.	45
Tabela 4 – Graus de fragilidade (GF) para a variável solo.....	45
Tabela 5 – Graus de fragilidade (GF) para a variável pluviosidade.....	46
Tabela 6 – Graus de fragilidade (GF) para a variável hierarquia fluvial.....	46
Tabela 7 – Graus de fragilidade (GF) para a variável geologia.....	47
Tabela 8 – Graus de fragilidade (GF) e de proteção (GP) para a variável cobertura vegetal e uso e ocupação do solo.	48
Tabela 9 – Escala referente à importância relativa a partir da comparação de critérios.	49
Tabela 10 – Índice randômico (IR) para matrizes quadradas de diversos tamanhos (n).....	52
Tabela 11 – Valores para o grau de fragilidade ambiental potencial (FAP).	52
Tabela 12 – Classes de declividade, relevo, fragilidade potencial, e dados da área total de Patos de Minas, MG.	55
Tabela 13 – Classes de hipsometria atribuídas a área de Patos de Minas, MG.....	59
Tabela 14 – Classes de geomorfologia atribuídas a área de Patos de Minas, MG.	61
Tabela 15 – Classes de geologia atribuídas à área de Patos de Minas, MG.....	63
Tabela 16 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator geologia.....	65
Tabela 17 – Classes de pedologia atribuídas a área de Patos de Minas, MG.....	67
Tabela 18 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator pedologia.....	68
Tabela 19 – Hierarquias fluviais atribuídas a área de Patos de Minas, MG.....	71
Tabela 20 - Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator hierarquia fluvial.	73
Tabela 21 – Quantificação dos usos na área do município de Patos de Minas, MG.....	76
Tabela 22 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator uso e ocupação do solo.	78
Tabela 23 – Matriz de comparação entre os parâmetros pedologia (PD), declividade (DV), geologia (Geo), pluviosidade (PL), hierarquia fluvial (HF) e o peso calculado (PC) para a área avaliada.	80
Tabela 24 – Matriz comparativa do grupo de critérios com valores não fracionados (pedologia (PD), declividade (DV), geologia (Geo), pluviosidade (PL) e hierarquia fluvial (HF)) entre os parâmetros avaliados.	82

Tabela 25 – Classes de fragilidade ambiental potencial da área do município de Patos de Minas, MG.....	84
--	----

LISTA DE SIGLAS

- AHP – *analytical hierarchy process*
- FAP – fragilidade ambiental potencial
- PI – planos de informação
- APP – áreas de preservação permanente
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- PPM – produção da pecuária municipal
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- Km² – quilômetro quadrado
- mm – milímetro
- m – metro
- MDE – modelo digital de elevação
- SIG – sistemas de informação geográfica
- GIS – *geographic information systems*
- CLP – combinação linear ponderada
- WLC – *weighted linear combination*
- MCE – *multicriteria evaluation*
- OWA – *ordered weighted average*
- F-AHP – *fuzzy analytic hierarchy process*
- ANP – *analytic network process*
- F-ANP – *fuzzy analytic network process*
- PUC – potencial de uso conservador
- ZAP – zoneamento ambiental produtivo
- RC – razão de consistência
- IC – índice de consistência
- CR – *consistency ratio*
- IR – índice randômico
- λ_{Max} – lambda máximo
- n – número de critérios
- Σ – somatório
- F_n – fragilidade dos “n” parâmetros
- X_n – pesos estatísticos dos “n” parâmetros

FD – fragilidade quanto à declividade do terreno
FS – fragilidade quanto às classes de solos
FDG – fragilidade quanto ao domínio geológico
FHF – fragilidade quanto à hierarquia fluvial
FP – fragilidade quanto à pluviosidade
w – pesos de importância de cada parâmetro
PP – precipitação pluviométrica
SRTM – *shuttle radar topography mission*
ESRI – *Environmental systems research institute*
AMC – avaliação multicritério
UTB – unidades territoriais básicas
SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
ANA – Agência Nacional de Águas
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
SR – sensoriamento remoto
FAO – *Food and Agriculture Organization*
CODEMIG – Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
UFV – Universidade Federal de Viçosa
CETEC – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
IPSA – *International Political Science Association*
ESRI – *Environmental systems research institute*
CTC – capacidade de troca catiônica
UHE – usina hidrelétrica
APA – Área de Proteção Ambiental
GF – grau de fragilidade
GP – grau de proteção
Geo – geologia
PD – pedologia
DV – declividade
PL – pluviosidade
HF – hierarquia fluvial
PC – peso calculado
ID – identificação
MG – Minas Gerais

RJ – Rio de Janeiro

PR – Paraná

Aw – clima tropical de altitude

CXbd – Cambissolo háplico Tb distrófico

CXbe – Cambissolo háplico Tb eutrófico

LVAd – Latossolo vermelho-amarelo distrófico

LVd – Latossolo vermelho distrófico

LVdf – Latossolo vermelho distroférico

PVAe – Argissolo vermelho-amarelo eutrófico

RLd – Neossolo litólico distrófico

RQo – Neossolo quartzênico órtico

Rube – Neossolo flúvico Tb distrófico

ENdl – Cobertura Superficial indiferenciada

K1a – Grupo Areado

K2mc – Grupo Mata da Corda

NP1cpasa – Grupo Canastra

NP1cphb – Membro Hidroelétrica da Batalha

NP3bldf – Lagoa Formosa, litofáceis diamictito

NP3blj – Formação Lagoa do Jacaré

NP3bsh – Formação Serra de Santa Helena

NP3bshP – Formação Serra de Santa Helena, litofácies fosfático

NP3bss – Formação Serra da Saudade

Qa – Depósito aluvial

% – porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1	A PAISAGEM NOS ESTUDOS AMBIENTAIS	23
3.2	GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) APLICADOS À ÁREA AMBIENTAL	25
3.2.1	Sobreposição de mapas e análise multicritérios	27
3.3	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	29
3.4	FRAGILIDADE AMBIENTAL	31
3.5	APTIDÃO DOS SOLOS	34
4	METODOLOGIA	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.2	DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL	38
4.2.1	Declividade do terreno	40
4.2.2	Classes de solos	41
4.2.3	Pluviosidade	41
4.2.4	Hierarquia fluvial	42
4.2.5	Geologia	42
4.2.6	Geomorfologia	43
4.2.7	Hipsometria	43
4.3	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	43
4.4	FRAGILIDADE AMBIENTAL	44
4.4.1	Processamento de dados	44
4.4.2	Análise hierárquica (AHP)	48
4.4.3	Razão de consistência AHP	51
4.4.4	Mapa de fragilidade ambiental potencial (FAP)	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1	DECLIVIDADE DO TERRENO	54
5.2	HIPSOMETRIA DO TERRENO	57
5.3	GEOMORFOLOGIA DO TERRENO	59

5.4	GEOLOGIA DO TERRENO.....	61
5.5	PEDOLOGIA DO TERRENO	66
5.6	HIERARQUIA FLUVIAL/HIDROLOGIA	70
5.7	PLUVIOSIDADE	73
5.8	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	75
5.9	FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL.....	80
5.9.1	Processo de hierarquia analítica ou (<i>analytic hierarchy process (AHP)</i>)	80
5.9.2	Razão de consistência e índice de consistência	81
5.9.3	Obtenção do mapa final de Fragilidade ambiental potencial (FAP)	83
6	CONCLUSÕES	90
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos naturais está atrelada a sobrevivência dos seres humanos desde os primórdios de sua existência. Entretanto, a variabilidade do ambiente físico apresenta respostas únicas à interferência humana que dele se apropriam, expondo suas diferentes condições de fragilidade e vulnerabilidades (MIARA; OKA-FIORI, 2007). Em contrapartida, estes ambientes naturais possuem uma tendência de se manter em equilíbrio dinâmico, mesmo que as intervenções antrópicas aumentem gradativamente, modificando este equilíbrio de modo contínuo (CRUZ; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2010).

De forma geral, estas alterações estão relacionadas ao uso indiscriminado dos recursos, pois este crescimento requer a conversão dos sistemas naturais em outros usos. Com isso, os danos ambientais gerados causam o comprometimento da capacidade de fornecimento de serviços ambientais, mesmo que haja uma sensibilização crescente sobre a importância do meio natural na manutenção da qualidade de vida da sociedade (FENGLER et al., 2015). Com a expansão do desenvolvimento econômico, aumento da população e ocupação desordenada do território brasileiro ao longo dos anos, aliada à diminuição dos recursos naturais, é perceptível o aumento dos impactos sobre o ambiente (NASCIMENTO et al., 2016).

Nesse sentido, os desenvolvimentos tecnológico, científico e econômico das sociedades humanas, contribuem, de forma decisiva, com o avanço da exploração dos recursos naturais, o que torna mais urgente o planejamento físico territorial, com enfoque socioeconômico e ambiental, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas, principalmente, a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas (DONHA; SOUZA; SUGAMOSTO, 2006).

Com os estudos desenvolvidos sobre fragilidade e vulnerabilidade ambiental, Zabeo et al. (2011) e Santos (2017) destacam que é possível identificar áreas suscetíveis a impactos ambientais, tanto de ordem natural como antrópica, integrando as características do relevo, tipo de solo, clima e as formas de uso e ocupação do solo. Por isso, são ferramentas importantes para a gestão e o planejamento ambiental e territorial (CREPANI et al., 2001).

Tal planejamento é fundamental para conhecer e organizar o espaço e propor informações com agilidade de respostas. Porém, durante a fase de diagnóstico, é produzido um grande número de variáveis que necessitam de critérios para a sua avaliação, atribuindo pesos e valores às mesmas, para em seguida priorizar as diferentes alternativas, de modo a facilitar a tomada de decisão (FRANCO et al., 2012).

Para Zuffo et al. (2002) e Oliveira et al. (2014), quando esta tomada de decisão envolve informações complexas, muitos agentes e diversos pontos de vista, a sistematização das respostas é fundamental. Para auxiliar esta decisão, vários métodos foram desenvolvidos, sendo o mais utilizado, a análise multicritério, bastante adequada para a aplicação em planejamentos ambientais.

A análise multicritério torna possível solucionar problemas com objetivos geralmente conflitantes, através de abordagens quantitativas e qualitativas, além de possibilitar a inserção de percepções de grupos de interesse. Em contrapartida, o problema deve abranger a análise de no mínimo duas alternativas com relação a diferentes critérios para a tomada de decisão (BERIA; MALTESE; MARIOTTI, 2012; GUARNIERI et al., 2015). A utilização de técnicas multicritério pode ser de natureza simples ou combinada, uma vez que existe uma gama de metodologias que propõem essas técnicas aliadas a diferentes abordagens (JANNUZZI; MIRANDA; SILVA, 2009; LIMA JÚNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2013).

Dentre os métodos multicritérios já empregados nas mais diversas áreas do conhecimento, tem-se a combinação linear ponderada (CLP) (*weighted linear combination - WLC*), aplicada no desenvolvimento de trabalhos de mapeamento de suscetibilidade a erosão (SUJATHA; SRIDHAR, 2019) e restauração florestal (LOPES et al., 2020). Já a média ponderada ordenada (*ordered weighted average - OWA*) pode ser utilizada na avaliação de fertilidade do solo (MOKARRAM; HOJATI, 2017) e em estudos sobre a expansão urbana (LIAO et al., 2019), enquanto que o processo hierárquico analítico (*analytic hierarchy process - AHP*) tem sido empregado na seleção de fornecedores na indústria automotiva (DWEIRI et al., 2016).

Tem-se também o processo de hierarquia analítica difusa (*fuzzy analytic hierarchy process - F-AHP*), aplicado ao gerenciamento de projetos de engenharia (NGUYEN et al., 2018); o método TODIM, usado na seleção de produtos (LIU; TENG, 2019), TODIM difuso (*fuzzy TODIM*) para selecionar localização de aterro (HANINE et al., 2016), processo de rede analítica (*analytic network process - ANP*) que é empregado na avaliação de risco de investimento em energia renovável (WU et al., 2020), processo de rede analítica difusa (*fuzzy analytic network process - F-ANP*), utilizado na seleção de tipo de telhado verde (MAHDIYAR et al., 2019), dentre outros.

A análise de decisão multicritérios é uma ferramenta emergente que permite a integração de fatores relevantes e metodologias para facilitar os processos de avaliação de outras tecnologias (REZAEI; ORTT, 2013; CAMPOLINA et al., 2017). Zambon et al. (2005); Carvalho et al. (2011) e Oliveira et al. (2014), destacam que a integração de sistemas de

informação geográfica (SIGs) e de métodos de decisão multicritério, vem proporcionando inúmeros benefícios para a resolução de problemas de planejamento e gerenciamento do mundo real.

De acordo com Franco et al. (2012) e Nascimento et al. (2016), o estudo do meio físico em sua totalidade, somado à sua característica de uso e ocupação, propicia a obtenção de um diagnóstico de diversas categorias hierárquicas, no que se refere à fragilidade dos ambientes, propiciando a determinação da vulnerabilidade ambiental da área (SANTOS et al., 2007; CRUZ; PINESE JUNIOR; RODRIGUES, 2012).

Quanto aos estudos já desenvolvidos para a identificar a fragilidade ambiental de um local, tem-se a avaliação do potencial de uso conservador (PUC) de bacias hidrográficas (COSTA et al., 2019a; COSTA et al., 2019b; TENENWURCEL et al., 2020) e o zoneamento ambiental produtivo (ZAP) (LIU et al., 2020).

A metodologia AHP foi escolhida para identificar a fragilidade ambiental da área por ser de fácil entendimento e utilização, permitindo flexibilidade na tomada de decisão, com base na separação do problema em níveis hierárquicos, sendo um método para estabelecimento de prioridades, podendo ser integrado com outras técnicas (MARINS; SOUZA; BARROS, 2009). Ainda, oferece confiabilidade e aceitação, bem como uma extensa aplicação e avaliação nas diferentes áreas e a síntese dos resultados possibilita a comparação das prioridades e importância relativa de cada fator (AYALA; FRANK, 2013).

Identificar as características físicas que abrangem a área de um município, suas fragilidades e vulnerabilidades, é de extrema importância para subsidiar a tomada de decisão para o desenvolvimento do planejamento ambiental e territorial de sua área agrícola ou urbana, bem como melhorar a qualidade de vida de seus habitantes. Nesse sentido, o estudo consistiu em determinar com eficiência os diferentes níveis de fragilidade ambiental potencial do município de Patos de Minas, MG.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar a fragilidade ambiental potencial do município de Patos de Minas, MG, através de técnicas de geoprocessamento e análise multicritérios.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar o processo hierárquico analítico (*analytic hierarchy process* - AHP) na avaliação multicritério no contexto da fragilidade ambiental potencial;
- Avaliar o uso e ocupação do solo mais frequente na área, bem como a aptidão natural da área do município;
- Verificar a fragilidade ambiental potencial da área de Patos de Minas, MG;
- Identificar a suscetibilidade a degradação ambiental e capacidade de resiliência da área.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A PAISAGEM NOS ESTUDOS AMBIENTAIS

Ab'Saber (2003) conceitua a paisagem em uma perspectiva de herança, citando que:

A paisagem é sempre uma herança. Na verdade, ela é uma herança em todo o sentido da palavra: heranças de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades.

O termo “Paisagem”, ainda é descrito por Bertrand (2004) como ambíguo e pouco utilizado, muita das vezes quando empregado apresenta sentido restrito, já que o mesmo é associado a elementos da vegetação. Entretanto, tem-se que paisagem é a soma da interação entre os elementos físicos, biológicos e antrópicos de uma parcela do espaço. Por ser uma combinação que apresenta instabilidade, a paisagem pode ser definida como um conjunto de características únicas, em constante alteração.

A paisagem é heterogênea, composta por unidades que interagem entre si, em uma abordagem da ecologia de paisagens de cunho geográfico, que abrange os ecossistemas, as unidades de cobertura ou uso e ocupação do solo, considerando-se escalas de espaço ou tempo (METZGER, 2001; FRANÇA, 2018).

Conhecer as unidades de paisagem permite que seja feita uma análise organizacional das mesmas de maneira interligada, além de entender como se dá os processos ambientais e as intervenções antrópicas nas unidades, sendo esse conhecimento fundamentado em uma concepção sistêmica, ou seja, entender como ocorrem às relações entre os elementos que existem na paisagem, naturais ou não. Tal fato permite então um gerenciamento voltado à conservação da paisagem e biodiversidade (SPÖRL; ROSS, 2004; MELO, 2018).

Conforme Conti (2014), a paisagem manifesta a organização do espaço como um todo, bem como seu aspecto multifacetado. Assim, em um viés ambiental, a noção de paisagem se relaciona com o entendimento de como se manifestam os elementos e fatores que compõem a dinâmica ambiental, como, por exemplo, os fenômenos da superfície terrestre.

Para Bertrand; Bertrand (2009), enquanto o meio ambiente consiste no conjunto de elementos externos que rodeiam a sociedade e que interage com ela, a paisagem é, ao contrário, uma produção interna, nascida da sociedade e conferindo uma existência social àquilo que se encontra em contato com a faceta externa desta, ou seja, a interface sociedade-

natureza. Dessa forma, tem-se uma conexão entre os conceitos de meio ambiente, paisagem e sociedade.

A maneira que uma sociedade usufrui dos recursos ambientais disponíveis é decisivo, no que se refere ao surgimento de processos que comprometem a estabilidade e a qualidade do meio (ALVES, 2010).

Emídio (2006) cita que:

A paisagem reflete o equilíbrio ecológico ou atesta seu desequilíbrio. Nesse sentido, ela pode representar um fator de estímulo à conservação do entorno ou um alerta contra a sua degradação, ou ainda, um chamado à sua recuperação. A paisagem pode, assim, ser um sensor da qualidade ambiental.

O processo de evolução da paisagem pode ser entendido avaliando-se o seu estado de conservação ou de degradação, sendo que a mesma possibilita o entendimento de como as ações humanas e as alterações que desencadeiam no espaço geográfico, sobre a sua dinâmica natural, transformam os aspectos paisagísticos, o que caracteriza a evolução dos espaços ao longo do tempo (MELO, 2018).

De acordo com Crepani et al. (2001), para que se possa ter conhecimento e classificar a capacidade da paisagem de sustentação às atividades antrópicas, devem ser analisadas suas características no que se referem sua interação com o meio. Assim, é fundamental conhecer sua origem, composição física, forma, estágio de evolução e o tipo da cobertura vegetal do local, informações que são fornecidas pela geologia, geomorfologia, pedologia e fitogeografia e precisam ser intrínsecas, sendo também necessário conhecer a climatologia.

Atualmente, os estudos que utilizam da análise da paisagem para entender a realidade ambiental, contribuem de forma significativa, não somente no conhecimento acerca dos elementos naturais que fazem parte da dinâmica da superfície terrestre, mas também, na avaliação da paisagem que expresse a degradação ambiental e estudos baseados na elaboração de zoneamentos ambientais, socioeconômico e propostas de mitigação dos impactos provenientes da exploração dos recursos naturais em diferentes níveis (MELO, 2018).

Diante tal conjuntura, tem-se que identificar unidades naturais e os graus de fragilidade da paisagem, sejam potencial ou emergente, oferecem melhores definições para o processo de planejamento territorial, alicerce para delinear diretrizes e sugerir ações de zoneamento e gestão das áreas, como por exemplo, áreas especiais, que carecem de maiores esforços para a conservação do equilíbrio ambiental (TOMCZYK, 2011; MARTÍN- DUQUE; GARCÍA; URQUÍ, 2012; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Os polígonos de intervenção antrópica, que representam a área na forma física, ilustrando de modo concreto os locais onde se tem a atuação do homem, que altera as condições naturais na mesma, podem se situar sobre uma ou diversas unidades de paisagem naturais, tornando necessário conhecer todas de maneira prévia. Assim, antes de qualquer uso e ocupação do solo, é relevante conhecer os aspectos físicos e bióticos do meio, que estabelecem as unidades de paisagem natural, já que as ações humanas sobre as mesmas, podem afetar o equilíbrio dinâmico (CREPANI et al., 2001).

Ainda, tais autores corroboram que atividades como a agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil, em qualquer magnitude, realizadas nos polígonos de intervenção antrópica, introduzem estímulos externos ao sistema, o que pode modificar as suas condições de equilíbrio. Tem-se que, dependendo do tipo de atividade praticada em uma unidade de paisagem natural, esta pode desencadear sua deterioração, relacionada à sua capacidade de absorver estímulos oriundos das atividades.

3.2 GEOPROCESSAMENTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) APLICADOS À ÁREA AMBIENTAL

O termo geoprocessamento abrange várias tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais e técnicas matemáticas, sendo o mesmo amplo. Os sistemas de informações geográficas (SIG) (*geographic information system* - GIS) fazem parte dessas tecnologias, sendo estes sistemas computacionais aplicados ao entendimento dos fatos e fenômenos que acontecem no espaço geográfico (SANTOS; PINA; CARVALHO, 2000; PEREIRA, 2014).

O termo georreferenciamento, diz respeito ao processo de adicionar dados a um mapa, a partir da associação destes com um sistema de coordenadas terrestre, sendo que, em geral, tal processo acontece durante a digitalização, o que garante a possibilidade de combinar diferentes mapas, com isso, os sistemas de informação geográfica foram idealizados para ser um organizador eficiente das informações georreferenciadas (LIMA, 2016).

De acordo com Crepani et al. (2001), as unidades de paisagem natural, enquanto unidades territoriais básicas para as quais há a possibilidade de aplicação do georreferenciamento, possuem uma porção do terreno em que inscreve uma combinação de eventos e interações, visíveis ou não, sendo que o resultado registrado, pode ser visto na forma de imagem fotográfica de um determinado momento, representando um elo entre a Geografia e a Ecologia.

As áreas de mapeamento, análise de recursos naturais, planejamento urbano e regional são cada vez mais influenciadas pelo desenvolvimento de sistemas computacionais de empregabilidade gráfica e de imagens. Dentre tais tecnologias, têm-se os sistemas de informação geográfica (SIG), que apresentam o propósito de automatizar tarefas que antes eram feitas de modo manual, o que torna mais fácil proceder a análises de maior complexidade, por meio da integração de dados de várias fontes, bem como da concepção de um banco de dados geocodificado (ASSAD; SANO, 1998; CANDIDO, 2008).

Os SIGs são então, de acordo com Miranda (2010) e Nascimento et al. (2016), artificios fundamentais para a análise e monitoramento de diversos fatores, uma vez que, possibilitam a elaboração, edição e armazenamento de informações, por exemplo, das unidades de paisagens, permitindo a avaliação de impactos ambientais. Também, são relevantes, já que tais sistemas são aplicados com resultados satisfatórios no monitoramento e na detecção de condições de mudanças em áreas urbanas ou no campo, assim como na elaboração de mapas temáticos.

Outra característica desse sistema que tem base na coleta, armazenamento, recuperação, análise e tratamento de dados espaciais, não espaciais e temporais, amparando decisões e dando suporte às atividades de gerenciamento, manutenção, operação, análise e planejamento (RODRIGUES, 1990; TEIXEIRA; MORETTI; CHRISTOFOLETTI, 1992), é seu potencial relacionado à padronização e ligamento de dados originários das mais diversas fontes, que é imprescindível na análise multidisciplinar e sistêmica dos impactos ambientais (SINAY; LIMA JÚNIOR, 1998; CANDIDO, 2008; PEREIRA, 2014).

As ferramentas que compõem os SIGs tornam mais fáceis à concretização de operações de maior complexidade, possibilitando a integração de grande volume de dados de natureza e escalas distintas como, imagens de satélite, cartas topográficas e informações pontuais (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016). No que concerne à aplicação prática do SIG, existem várias áreas em que o mesmo pode ser empregado, separados em cinco grupos principais (PEREIRA, 2014):

- a) Atividades econômicas: planejamento de marketing, pesquisas socioeconômicas, transporte de matéria-prima, distribuição de produtos e serviços;
- b) Meio ambiente: controle de queimadas, estudos de modificações climáticas, acompanhamento de emissão e ação de poluentes, gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento;
- c) Ocupação humana: redes de infraestrutura, planejamento e supervisão de limpeza urbana, cadastramento territorial urbano, mapeamento eleitoral, rede hospitalar,

- rede de ensino, controle epidemiológico, roteamento de veículos, sistema de informações turísticas, controle de tráfego aéreo, sistemas de cartografia náutica, serviços de atendimentos emergenciais;
- d) Uso e ocupação do solo: planejamento agropecuário, estocagem e escoamento da produção agrícola, classificação dos solos, gerenciamento de bacias hidrográficas, planejamento de barragens, cadastramento de propriedades rurais, levantamento topográfico e planimétrico, mapeamento do uso e ocupação do solo;
 - e) Uso de recursos naturais: controle de extrativismo vegetal e mineral, classificação de poços petrolíferos, planejamento de gasodutos e oleodutos, distribuição de energia elétrica, identificação de mananciais, gerenciamento costeiro e marítimo.

Em relação ao processamento eletrônico de dados ambientais em SIG, de acordo com Silva (2001) e Candido (2008), este pode traduzir, em termos operacionais, diversos conceitos de cunho socioeconômico de extrema relevância. Tais sistemas tem a capacidade de expressar de modo eficiente, conceitos de expressão territorial tais como: unidades potenciais de uso e ocupação do solo, zonas de influência, áreas críticas, centros dinâmicos de poder, dentre outros. Em consequência disso, podem prestar serviços valiosos para o planejamento geoeconômico, a proteção ambiental, bem como para a análise geopolítica.

Ocorre uma diversidade grande quanto aos métodos referentes à tomada de decisão, entretanto, a análise multicritérios se apresenta coerente no que diz respeito a sua aplicabilidade em planejamentos ambientais (SANTOS, 2004). Para Padilha; Trevisan; Cruz (2014), dentre as características da avaliação multicritério (AMC), empregada como modelos ambientais, tem-se de contemplar a diversidade natural em vários fatores e considerar a sua variabilidade, conferindo a eles pesos de relevância em cada composição do modelo.

3.2.1 Sobreposição de mapas e análise multicritérios

Conforme Rafols; Porter; Leydesdorff (2010), a sobreposição de mapas é um método que através de comparações imediatas e intuitivamente ricas, possibilita realizar a análise de um problema. Nesse contexto, tem-se uma ferramenta essencial, no que concerne a auxiliar nas tomadas de decisão, sendo a análise multicritério, que é feita através do uso de diversos critérios simultâneos, em que um dos modos de representação ocorre através de camadas de dados geográficos, com o auxílio de ferramentas de SIG (FUSHITA et al., 2010).

De acordo com Huang; Keisler; Linkov (2011), as decisões que se relacionam às questões ambientais são, de modo geral, complexas e se pautam no conhecimento multidisciplinar. Nesse sentido, colabora para a efetivação de muitos estudos ambientais, a aplicabilidade do SIG, junto das técnicas de geoprocessamento e do sensoriamento remoto (FUJACO; LEITE; MESSIAS, 2010). Atualmente, pode-se utilizar o SIG integrado à abordagem multicriterial, que representa um avanço relacionado à aplicação de procedimentos convencionais de cruzamento de informações georreferenciadas (ÁVILA, 2016).

No que diz respeito à abordagem multicriterial, esta combina e transforma dados espaciais, que são as informações de entrada, em mapas finais empregados para analisar a problemática em questão, sendo que é fundamental considerar a capacidade do SIG de adquirir, armazenar, recuperar, manipular e analisar os dados georreferenciados, bem como combiná-los para influenciar as decisões (MALCZEWSKI, 2004; ÁVILA, 2016).

Dentre os métodos de análises multicritérios (*multi criteria evaluation* – MCE), um dos mais utilizados é o processo analítico hierárquico (*analytic hierarchy process* – AHP), que foi desenvolvido por Saaty (1980), com o intuito de auxiliar na definição de compensação dos fatores em problemas de tomada de decisão com priorização de alternativas (HERVA; ROCA, 2013; ÁVILA, 2016). Esta técnica pode ser empregada pelos tomadores de decisão como um instrumento na construção de consensos.

É importante destacar que a análise multicriterial considera o método de combinação linear ponderada (CLP), que tem o intuito de padronizar os valores para uma escala numérica comum, em que são atribuídos pesos aos fatores, depois os mesmos são combinados através de uma matriz de combinação pareada, conforme a importância relativa entre os pares, sendo o resultado, um mapa de prioridades (VALENTE; VETORAZZI, 2005; QUADROS, 2014)

De acordo com Eastman (2006), o método propicia uma maior consistência das ponderações feitas, promovendo um avanço em relação aos procedimentos convencionais de cruzamentos de planos de informações (PI), por meio de SIG, para a priorização de áreas.

Diante tais premissas, considera-se que a análise hierárquica de processos limita e separa os graus de relevância em relação aos parâmetros considerados no estudo. Ao mesmo tempo, mantém-se na decisão global, a participação dos fatores com menores importâncias, uma vez que se considera que existe uma relevância da inclusão destes na AHP, nesse caso, com seu peso relativo de importância conferido (FRANÇA, 2018).

No AHP, os elementos são comparados entre si (dois a dois), apontando quão mais relevante um é em relação ao outro, por meio de uma atribuição de um critério de importância relativo, conforme escala predefinida (INPE, 2005; HUANG; KEISLER; LINKOV, 2011).

Miara; Oka-Fiori (2007) citam que tal técnica tem como base uma matriz quadrada ‘n x n’, em que as linhas e colunas correspondem aos critérios analisados, dessa forma, o valor de cada célula da matriz representa a importância relativa do critério da linha, face ao critério da coluna.

A aplicação do método se dá por meio da concatenação dos mapas de fatores elaborados, em que a ferramenta de álgebra de mapas permite a execução da operação. Procede-se então, a análise de confronto entre os fatores, para gerar os pesos de importância, para aplicar em situações que envolvem julgamentos subjetivos e usa dados quantitativos e qualitativos, elabora-se uma matriz de análise par a par, resultando nos pesos atribuídos a cada camada. Por último, realiza-se uma soma ponderada das camadas, com base nos resultados de uma matriz matemática que apresentou os fatores por grau de importância (SAATY, 2008).

Após o procedimento descrito, calcula-se a razão de consistência (RC), que é considerada satisfatória quando inferior a 0,1, ou seja, 10% (SAATY, 1980; 2005). Quando se tem valores superiores a 0,1, é recomendado pelo mesmo autor na literatura, reavaliar os dados levantados junto aos especialistas, averiguando se não houve equívocos ou erros durante o processo de levantamento.

A razão de consistência possibilita analisar, determinar e decidir os vários critérios que agem sobre a tomada de decisão e, conseqüentemente, gerar informações que auxiliem o tomador de decisão a escolher a melhor das alternativas propostas, com base nos critérios analisados. Não apenas determinar a decisão certa, o método permite justificar a escolha de forma consistente e coerente (SANTOS; CRUZ, 2013).

O método para Martins et al. (2014), calcula um conjunto de pesos e uma relação de consistência, permitindo ajustes repetidos na comparação. Nesse contexto, tem-se que o método AHP utiliza da capacidade humana de realizar julgamentos, ou seja, mesmo quando duas variáveis não são passíveis de comparação, com o conhecimento e a experiência técnico-científico do especialista, pode-se identificar qual dos critérios apresenta maior relevância (SAATY, 1991).

3.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para Lepsch et al. (1983) e Ramalho Filho; Beek (1995), a palavra “terra” não denomina apenas o solo em si como a base de sustentação do meio, mas sim todos os elementos e fatores ambientais que tem a capacidade de influenciar na manutenção do

ecossistema. Diante tal premissa, com o intuito de preservar e conservar os recursos naturais existentes no planeta, proceder ao levantamento de uso e ocupação do solo, torna-se uma ferramenta expressiva, já que auxilia no conhecimento dos vários tipos de uso do solo que existem (RODRÍGUEZ, 2005).

A expressão “uso dos solos” ou “uso da terra” conforme Rosa (2003), dentre suas interpretações, pode ser compreendida como a maneira pela qual a ocupação se dá no espaço físico, no entanto, o estudo do uso dos solos consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização antrópica, ou quando não é feito uso pelo homem, da caracterização dos tipos de vegetação natural que recobrem o solo (SOUZA; REIS, 2011).

A utilização de forma inadequada dos recursos naturais desencadeia a degradação ambiental, uma vez que pode resultar no assoreamento dos cursos d’água; menor disponibilidade de água para irrigação; redução da produtividade agrícola; dentre outras problemáticas (CANDIDO, 2008). Diante tal fato, Silva et al. (2013), cita que a gestão dos recursos naturais é fundamental para entender a realidade dos impactos do homem e o ecossistema de forma integrada, possibilitando a elaboração de formas de mitigar os impactos causados e assegurar o uso sustentável de recursos naturais.

Nesse contexto, torna-se indispensável para o estudo dos processos de erosão intensos, desertificação, inundações, assoreamentos de cursos d’água, dentre outros voltados para a questão ambiental, conhecer sobre as maneiras de uso e ocupação do solo, sendo de extrema relevância, já que o uso incorreto acarreta na deterioração do meio ambiente, ou ainda, na extinção de um determinado ecossistema (ROSA, 2003).

No decorrer das últimas décadas, as intervenções que o homem realiza no meio físico é motivo de preocupação, de modo que se elevam cada vez mais em relação ao sistema ambiental. Diante disso, as alterações no relevo, solo e cobertura vegetal, elementos que compõem o ambiente, resultam no comprometimento da funcionalidade do sistema, modificando seu equilíbrio dinâmico, sendo a interferência em maior ou menor grau, em relação às características ligadas ao meio (FRANCO, 2010; FRANCO et al., 2012).

Dentre os modos que são eficientes em delimitar o mais próximo da realidade o panorama do uso dos solos, tem-se as técnicas e ferramentas do sensoriamento remoto (SR), que é definido como a aquisição de dados de um objeto de estudo sem a existência de contato físico com a área. Assim, é possível obter o mapeamento da utilização dos solos de uma determinada região, sendo expressivo, já que permite conhecer a organização espacial e as alterações ocorridas, uma vez que o ambiente se transforma, seja por processos naturais, ou pelas interferências antrópicas (SOUZA; REIS, 2011).

O monitoramento da paisagem de uma área para o planejamento coerente do uso e ocupação do solo, é fator primordial, de forma que o sensoriamento remoto é relevante no seu gerenciamento (ASSAD, 1998). Nesse sentido, Valle; Francelino; Pinheiro (2016), citam que para que o planejamento do uso e ocupação do solo seja eficaz, este deve ponderar a fragilidade do ambiente à degradação, realizando monitoramento dos processos que atuam diretamente sobre o fornecimento de bens e serviços de cunho ambiental.

3.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL

A fragilidade ambiental “é uma medida da sensibilidade intrínseca dos ecossistemas às pressões ambientais, associadas também a quaisquer ameaças que sejam capazes de perturbar o equilíbrio de um sistema” (RATCLIFFE, 1971). Diante tal premissa, tem-se que os sistemas ambientais perante as intervenções nos componentes da paisagem, no relevo, solo, clima, recursos hídricos e cobertura vegetal têm diferentes respostas (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

O conceito de sistema é citado como o instrumento lógico de maior eficiência a ser aplicado para estudos que envolvem problemáticas relacionadas ao meio ambiente, já que admite a análise dos seus vários componentes de forma dinâmica e em conjunto, propiciando uma ação favorável ao meio, uma vez que permite a integração de conhecimentos avulsos. Ainda, torna possível identificar quais as modificações indiretas, ocasionadas pelas interferências, que atingem determinado ecossistema (TRICART, 1977; CRUZ; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2010).

Conforme Kawakubo et al. (2005), a fragilidade potencial é determinada como a vulnerabilidade natural do meio e a fragilidade emergente é conceituada como a vulnerabilidade natural atrelada aos graus de proteção que os diversos tipos de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal desempenham. Em relação ao mapa de fragilidade ambiental, este é um dos instrumentos fundamentais empregados pelos órgãos públicos, no que se refere ao desenvolvimento de planejamento territorial ambiental.

As técnicas de geoprocessamento, aplicadas às análises geomorfológicas, se mostram cada vez mais importantes, no que diz respeito aos estudos de fragilidade ambiental, uma vez que criam a possibilidade de concretizar mapeamentos temáticos das características ambientais, unindo e relacionando muitas variáveis (SILVA; MACHADO, 2014).

Mapear a fragilidade ambiental, em escala regional ou local, cria a possibilidade de delimitar as áreas mais sensíveis e que necessitam de maior atenção, uma vez que seu uso

inadequado pode acarretar no comprometimento de todo o sistema. Dependendo do tipo de interferência, o impacto sobre o seu equilíbrio pode ser em maior ou menor grau, em função das características que fazem parte do ambiente, ou seja, de sua fragilidade ambiental (FRANCO et al., 2013; VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Além disso, Kawakubo et al. (2005) aludem que possibilita uma avaliação das potencialidades do ambiente de maneira integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Nesse sentido, para Cruz; Pinese Júnior; Rodrigues (2010), anterior ao estudo da fragilidade ambiental, tem-se a classificação ou organização dos elementos presentes no espaço a ser analisado, considerando aspectos naturais e antrópicos. Dessa forma, o estudo da fragilidade dos ambientes analisa solo, relevo, vegetação, grau de uso antrópico e outras variáveis.

Proceder aos estudos de modo integrado de um determinado local, implica no entendimento da dinâmica de como funciona o ambiente natural com ou sem as intervenções antrópicas. Diante tal fato, é de extrema relevância o mapeamento de unidades de paisagens identificadas sob a perspectiva de suas fragilidades, frente às condições materiais e possíveis interferências humanas (ROSS, 1995; CRUZ; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2010).

Reiterando o conceito de fragilidade ambiental, que se refere à vulnerabilidade do meio de ser acometido por qualquer espécie de detrimento e fatores de desequilíbrio de ordem natural ou antropogênica, tem-se a partir do mesmo, a definição de ecossistemas ou áreas frágeis, caracterizados como àqueles que são individualmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação, devido suas características (TAMANINI, 2008; FRANÇA, 2018).

Além disso, para Franco et al. (2012), o estudo do meio físico de maneira conectada, somada a sua característica de uso e ocupação, possibilita a obtenção de um diagnóstico de diversas categorias hierárquicas da fragilidade dos meios, se resumido a um produto, nesse caso, o mapa de fragilidade ambiental, permitindo a avaliação, de maneira interligada, das potencialidades da área, conciliando características naturais com suas restrições.

A carta de fragilidade ambiental é um instrumento de alta relevância para o planejamento físico-territorial, com o intuito de destacar importantes e frágeis ecossistemas regionais, como também na identificação de áreas que precisam de uma intervenção para se mitigar ocorrentes problemas de ordem ambiental (SOARES FILHO; CARMO; NOGUEIRA, 1998). É válido ressaltar que tais estudos, como consideram dados colhidos em um período específico, devido às mudanças constantes quanto ao uso e ocupação do solo, devem ser

realizados periodicamente (CRUZ; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2010; PEREIRA, 2014).

Tem-se que a carta de fragilidade ambiental é de extrema relevância no que se refere ao entendimento da fragilidade do meio físico, face à intervenção das atividades humanas. Também, sinaliza para a necessidade de se praticar o planejamento ambiental, uma vez que, é um documento cartográfico resultante da análise integrada do relevo-solo e dos graus de proteção atribuídos pelo uso e ocupação do solo-vegetação (NAKASHIMA, 2001; FUSHITA et al., 2010).

No que se refere à classificação do mapa de fragilidade ambiental emergente, devem-se cruzar os mapas de fragilidade potencial e uso e ocupação do solo. Deste modo, serão atribuídos os impactos causados pelo homem sobre a litosfera, a partir dos modos de ocupação e alterações na vegetação original. Tem-se que a análise do uso e ocupação deve ser realizada por meio da interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas, identificando-se os graus de proteção e cobertura vegetal (ROSS, 1994; PEREIRA, 2014).

No que diz respeito aos métodos de análise da fragilidade ambiental, tem-se o modelo desenvolvido por Ross (1994) e o modelo proposto por Crepani et al. (2001). Nesse contexto, Padilha; Trevisan; Cruz (2014) descrevem que os modelos de análise de fragilidades ambientais buscam determinar a disposição dos sistemas naturais de tolerarem as intervenções antrópicas, através da avaliação de “n” fatores respectivos às características locais.

O modelo de cálculo de fragilidade desenvolvido por Ross (1994), utiliza do agrupamento dos índices de variáveis, tendo como variável principal, com maior relevância na definição dos graus de fragilidade, o relevo (mapa de declividade). Em contrapartida, o método proposto por Crepani et al. (2001), aplica valores aritméticos para o produto final, em que todas as variáveis apresentam a mesma relevância (peso), no estabelecimento dos graus de fragilidade das unidades territoriais básicas (UTB) (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Kawakubo et al. (2005) descrevem que a metodologia desenvolvida por Ross (1994), se baseia no princípio de que a natureza possui uma funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos. Dessa maneira, os estudos básicos do relevo, solo, geologia, clima, uso e ocupação do solo, cobertura vegetal e outros, são fundamentais para a elaboração, em um primeiro momento, dos procedimentos operacionais. A partir disso, as informações adquiridas são ponderadas de modo interligado, gerando um produto que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui.

Uma vez que o ambiente está submetido a inúmeros estados de equilíbrio e desequilíbrio, Ross (1994) estruturou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos, abrangendo cinco classes de acordo com sua fragilidade: muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4) e muito alta (5).

A metodologia para determinação da fragilidade ambiental, com base na classe de declividade, é a mais utilizada no meio científico (ROSS, 1994). Contudo, investigações científicas têm sido efetivadas ao longo dos anos com adaptações, objetivando alcançar resultados mais realísticos, bem como a inclusão de novos critérios (SPÖRL; ROSS, 2004; SANTOS et al., 2007; MAGANHOTTO; SANTOS; OLIVEIRA FILHO, 2011; ADAMI et al., 2012; ROSS, 2012; PADILHA; TREVISAN; CRUZ, 2014; FRANÇA; PIUZANA; ROSS, 2017).

Tem-se que a declividade ou gradiente de declive é a variação de altitude entre dois pontos de um terreno, ao se analisar a distância que os separa, ou seja, entre as curvas de nível (TONELLO et al., 2006), de modo que a inclinação da feição superficial do terreno, em relação ao plano horizontal, pode ser medida em graus (de 0° a 90°), bem como em porcentagem (%).

É um fator indispensável para o planejamento ambiental, pois a declividade torna possível entender elementos relevantes acerca das formas da paisagem, erosão, potencialidades para uso agrícola, restrições para ocupação urbana, manejo e conservação do solo (SANTOS, 2004). Dessa forma, se destaca auxiliando na detecção de áreas críticas para deslizamento de encostas e na identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações (LADEIRA NETO, 2010).

3.5 APTIDÃO DOS SOLOS

De acordo com Pedron et al. (2006), um fato recorrente que acarreta em impactos negativos ao meio ambiente, é o pouco conhecimento em relação a aptidão da utilização do solo, bem como do planejamento adequado para seu uso. No Brasil, o sistema de avaliação de aptidão iniciou-se na década de 1960 (BENNEMA; BEEK; CAMARGO, 1964), voltado para o âmbito agrícola, com o intuito de classificar o potencial das terras referente à agricultura tropical.

Em relação a adoção de níveis de manejo, no sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, este é considerado um procedimento extremamente importante, sobretudo em países como o Brasil, em que uma mesma região, abriga uma variedade extensa de condições

técnicas e socioeconômicas e, conseqüentemente, níveis de manejo distintos, que se localizam lado a lado (BENNEMA BEEK; CAMARGO, 1964; RESENDE et al, 1995).

O termo aptidão agrícola, de acordo com Curi et al. (1993), pode ser entendido como a adaptabilidade da terra para uma determinada utilização da mesma, voltada para o âmbito agrícola, pressupondo-se um ou mais diferentes níveis de manejo. No que diz respeito ao avanço do desenvolvimento das metodologias, dentre os pesquisadores que contribuíram para tal propósito, tem-se Ramalho Filho et al. (1970), Tomasi; Ramalho Filho (1971), Beek (1975) e Ramalho Filho; Beek (1995), dentre outros (PEREIRA; LOMBARDI NETO, 2004).

Quanto aos autores supracitados, o modelo de Ramalho Filho; Beek (1995), propõe a avaliação em quatro classes, sendo indicadas para lavouras nos mais diferentes níveis de manejo, tanto de ciclos curtos, quanto longos. Tal método de interpretação de levantamento de solos, é feito baseado nos resultados de levantamentos de pedologia, apoiado em características de solo, relevo, clima e vegetação. Como a metodologia buscou atender as condições de países em que a agricultura é pouco desenvolvida, em que diferentes níveis tecnológicos coexistiam lado a lado, este fato foi considerado inovador (FRANCISCO, 2010).

Tem-se que o sistema de classificação de aptidão é uma ferramenta de grande importância no que diz respeito avaliação das terras. No sistema proposto por Ramalho Filho; Beek (1995), existem grupos de aptidão agrícola identificados de 1 a 6, em que 1, 2 e 3 são referentes à identificação de lavouras com o tipo de uso prioritário. Os demais grupos identificam os tipos de utilização independentemente da classe de aptidão, sendo pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e fauna, respectivamente (FIGURA 1).

A metodologia do autor supracitado faz uso ainda do conceito de subgrupos de aptidão agrícola, que consiste no conjunto da avaliação da classe de aptidão relacionada com o nível de manejo, indicando o tipo de utilização. Tais grupos foram então dispostos em classes (boa, regular, restrita e inapta), em que o primeiro grupo, que é o de aptidão para preservação da flora ou fauna, foi compreendido na classe inapta, uma vez que apresenta todas as formas de restrições, não havendo possibilidade de aproveitamento agrícola (BARBOSA NETO, 2011).

As classes de aptidão que foram determinadas por Ramalho Filho; Beek (1995), fundamentadas no boletim da FAO (1976), são as seguintes:

- a) Classe boa: terras que não apresentam limitações expressivas para a produção sustentada de um determinado tipo de uso, observando as condições de manejo considerado;

- b) Classe regular: terras com limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de uso, observando as condições do manejo considerado;
- c) Classe restrita: terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de uso, observando as condições do manejo considerado;
- d) Classe inapta: terras que possuem condições que parecem excluir a produção sustentada do tipo de uso em questão.

Figura 1 – Grupos de aptidão agrícola (1 a 6) e suas alternativas de utilização dos solos de acordo com os graus de intensidade e limitação.

Grupo de aptidão agrícola	Aumento da intensidade de uso →					
	Preservação da flora e da fauna	Silvicultura e/ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras		
				Aptidão restrita	Aptidão regular	Aptidão boa
Aumento de intensidade da limitação ↓ Diminuição das alternativas de uso	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

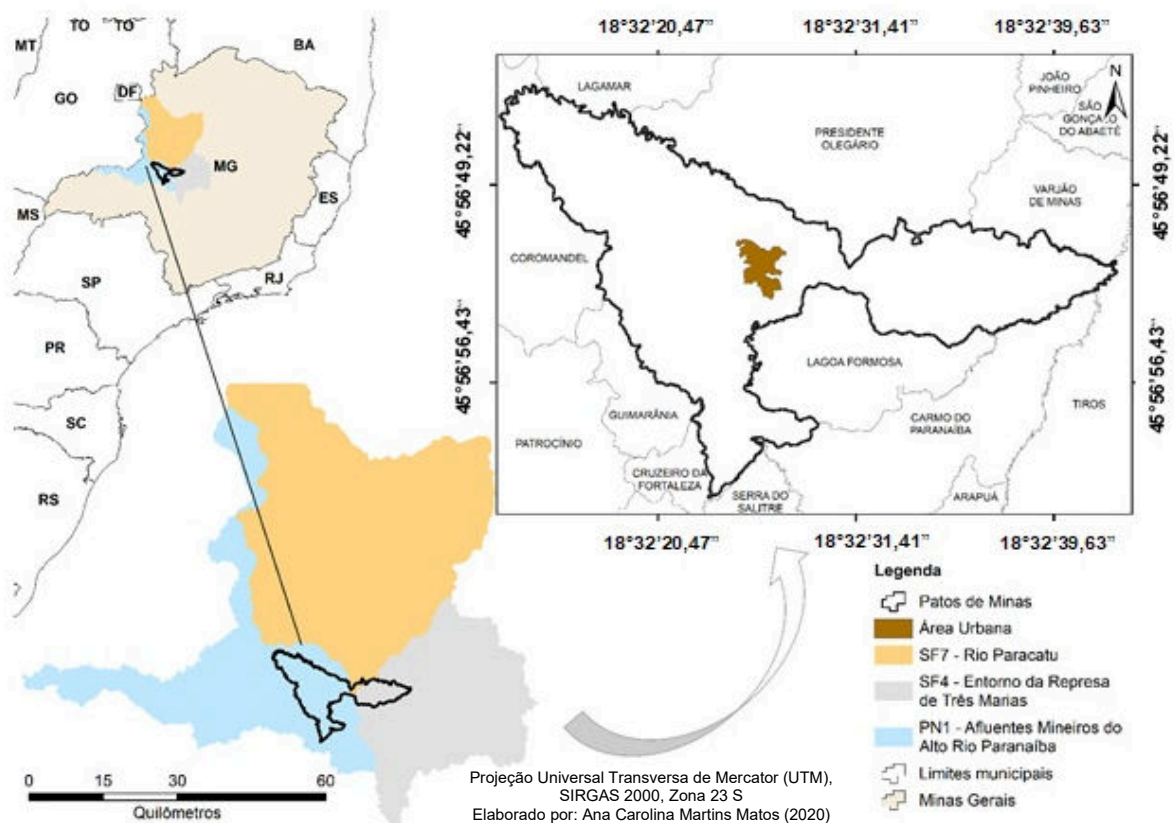
Fonte: Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Patos de Minas, MG, na região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, que se situa nas coordenadas centrais $18^{\circ} 34' 46,00''$ de latitude sul, $46^{\circ} 31' 06,00''$ de longitude oeste, com altitude média de 842 metros, abrangendo uma área de 3.190,456 km² (IBGE, 2010) (FIGURA 2). Além do distrito sede, a área compreende outros sete distritos, sendo eles Santana de Patos, Chumbo, Bom Sucesso de Patos, Major Porto, Pindaíbas, Pilar e Alagoas, além de comunidades e povoados.

Figura 2 – Localização geográfica do município de Patos de Minas, MG, no contexto do estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Do autor (2020).

De acordo com o último Censo Demográfico (IBGE, 2010), a população do município é de 138.710 pessoas. A atividade predominante em Patos de Minas, MG é a pastagem, sendo o município considerado a maior bacia leiteira da região do Triângulo Mineiro/Alto

Paranaíba, produzindo 152,8 milhões de litros de leite anualmente (IBGE/PPM, 2017). A agricultura local também é expressiva, com cultivo de milho, soja e café.

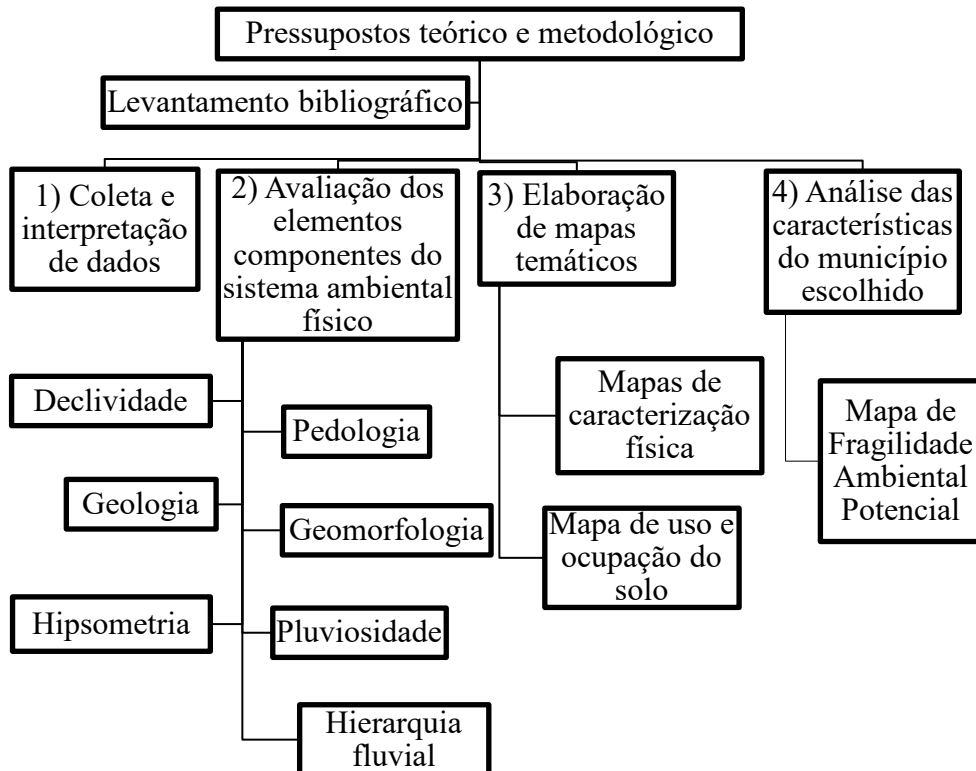
Na região predomina o Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018) de textura argilosa, com aproximadamente 658, 112 e 230 g kg⁻¹ de argila, areia e silte, respectivamente (SANTOS et al., 2013). A geologia da região estudada é representada pelo Grupo Bambuí, fazendo-se presente com a Formação Serra da Saudade (CPRM, 2013).

Já o clima da região é classificado como Clima tropical de altitude (Aw), de acordo com classificação Köppen (1936) (MARTINS et al., 2018), com precipitação e temperatura média anual em torno de 1.400 mm e 21,1 °C, respectivamente.

4.2 DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

O processo de investigação compreendeu as seguintes etapas: revisão bibliográfica, levantamento e análise de material cartográfico, artigos, coleta e interpretação de dados, elaboração de mapas temáticos e elaboração do texto final da dissertação (FIGURA 3).

Figura 3 – Fluxograma do processo de desenvolvimento metodológico do estudo proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

No que concerne ao referencial teórico, este se apoiou na leitura de artigos científicos, livros, dissertações, teses e outras diversas fontes que embasaram a construção do mesmo, tendo como princípio a análise integrada da paisagem e fragilidade ambiental (TRICART, 1977; ROSS, 1994, 2012; CREPANI et al., 2001; KAWAKUBO et al., 2005), dentre outros assuntos relevantes ao estudo.

O levantamento e a análise de material cartográfico de caracterização física, ocorreram através de consulta de bases de dados elaboradas por órgãos públicos, além de imagens de satélites e estudos e artigos publicados, de maneira a se obter dados de declividade, hipsometria, geologia, hidrografia, geomorfologia, pedologia, pluviosidade e uso e ocupação do solo (TABELA 1). Estes dados geográficos listados estão disponíveis para consulta em sites da internet, em que foram feitos os *downloads* dos mapas, imagens, cartas topográficas e demais documentos necessários, de fácil acessibilidade.

Tabela 1 – Atributos ambientais utilizados para as análises realizadas.

Tipo de dado	Elaboração de mapa	Fonte/dados	URL
Modelo digital de elevação	Declividade, hipsometria e pesos	Earth Data (2011)	https://search.asf.alaska.edu/#/
Tipos de solos	Pedologia e pesos	UFV/CETEC (2010)	http://www.dps.ufv.br/?page_id=74
Unidades geológicas	Geologia e pesos	CODEMIG (2014)	http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/?lang=en
Geomorfologia	Geomorfologia	CPRM (2009)	http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html
Precipitação pluviométrica	Pluviosidade e pesos	ANA (2015)	http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas
Hidrologia	Hierarquia fluvial e pesos	ANA (2015)	https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home
Uso e ocupação do solo	Uso e ocupação do solo e de pesos	MapBiomas v. 4.1 (2018)	https://mapbiomas.org/?cama_set_1
Arquivo do limite municipal	Todos os mapas	WebGis IDE-SISEMA (2017)	http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para obter uma melhor resolução destes, a escala preferencial das imagens utilizadas foi determinada de 1:100.000. Apenas quando não foram encontradas informações que atendiam tal escala, é que se selecionou escalas menores.

As informações cartográficas foram processadas a partir do uso de um SIG, sendo utilizado o *software* ArcGis 10.3 e suas extensões, versão de teste disponibilizada no site do Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais (IPSA) (*Environmental Systems Research Institute* (ESRI)), a partir de uma análise por múltiplos critérios, através de uma avaliação hierárquica entre as variáveis ambientais utilizadas na pesquisa.

O uso do SIG se baseia em uma estrutura do tipo vetorial para a representação de dados espaciais, em que se têm os itens observados representados por pontos, áreas ou linhas, com isso, a área sob análise foi dividida em uma malha formada por células regulares.

Para alcançar o objetivo do estudo, foram necessárias etapas intermediárias, em que foram gerados mapas, estes classificados a partir da metodologia de análise hierárquica de processos (AHP) (*analytical hierarchy process*), que forneceram a base para elaborar o mapa de fragilidade ambiental potencial. Ainda, foi analisado para a área sobre o uso e ocupação do solo e a disposição de atividades antrópicas, bem como a respeito da aptidão natural dos solos da região.

4.2.1 Declividade do terreno

As classes de declividade foram delimitadas através do uso de um modelo digital de elevação (MDE), elaborado a partir de dados altimétricos da imagem SRTM, de resolução espacial de 90 m, reamostrado para 30 m, sendo o limite do município recortado no *software* ArcGis 10.3. Para a elaboração do mapa, foi empregada a ferramenta de análise espacial (*spatial analyst*) e as opções superfície (*surface*) e inclinação (*slope*), sendo a declividade calculada em porcentagem.

O mapa de declividade gerado foi então reclassificado em seis classes, utilizando a ferramenta análise de reclassificação espacial (*reclass* do *spatial analyst*), empregando-se as classes de declividade atribuídas pela Embrapa (1979, 2006):

- a) Plano (0 - 3%): superfície de topografia lisa ou horizontal, em que os desnivelamentos são muito pequenos;
- b) Suave ondulado (3 - 8%): superfície de topografia ligeiramente movimentada, formada por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos);

- c) Ondulado (8 - 20%): superfície de topografia relativamente movimentada, composta por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos, pendentes ou encostas com declives maiores;
- d) Forte Ondulado (20 - 45%): superfície de topografia movimentada, com fortes desníveis, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes;
- e) Montanhoso (45 – 75%): superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente compostas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos, montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes;
- f) Escarpado (> 75%): áreas com predomínio de formas abruptas, abrangendo superfícies muito íngremes tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias e vertentes de declives muito fortes.

4.2.2 Classes de solos

Na área de estudo em questão, a identificação das classes de solo foi realizada através da análise de mapa de dados elaborado pelo convênio entre a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) (2010), sendo o mapa com escala 1:650.000. A partir da obtenção dos mesmos, foi realizada a extração do polígono da área do município e aplicada à nomenclatura com base na nova classificação brasileira de solos da EMBRAPA (2018).

4.2.3 Pluviosidade

A identificação dos dados de pluviometria do município de Patos de Minas, MG foi realizada através da consulta nos levantamentos históricos meteorológicos sobre as chuvas dos últimos 30 anos, de 1984 até 2014, disponíveis no banco de dados da ANA (2015), apresentado na Tabela 2, bem como dados desenvolvidos por Motta; Baruqui; Santos (2004) e Novais (2011). Para a variável pluviosidade, não foi elaborado mapa.

Tabela 2 – Dados referentes as Estações de precipitação pluviométrica (PP) na área de estudo analisada.

ID	Município	Estação	Operadora	Estação	X	Y	PP (mm)
1	Patos de Minas	Santana de Patos	ANA	01846007	-18,83	-46,275	1.229,73
2		Leal de Minas	ANA	01846017	-18,77	-46,88	1.143,03
3		Major Porto	ANA	01846003	-18,61	-46,18	1.269,60

Fonte: ANA (2015).

4.2.4 Hierarquia fluvial

O processamento dos dados para a elaboração do mapa de hierarquia fluvial se deu a partir de procedimentos para tratamento dos dados hidrológicos do município para hierarquização, estes obtidos de base de dados de hidrologia, em uma escala 1:100.000, junto a Agência Nacional das Águas (ANA, 2015).

Após a obtenção do mosaico referente à localização das bacias hidrográficas inseridas na área de estudo, e, por conseguinte, a extração dos cursos d'água referentes ao limite do município de Patos de Minas, MG, geraram-se as informações de direção de fluxo (*flow direction*) e fluxo acumulado (*flow accumulation*) dos mesmos, para, posteriormente, fazer a delimitação da hierarquia fluvial da drenagem através do uso das ferramentas do ArcGis na seguinte ordem (*spatial analyst tools > hydrology > stream order*), com base na direção de fluxo.

A classificação das ordens dos cursos d'água foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Strahler (1952a; 1952b), em que a identificação se inicia com os rios de 1ª ordem, que são aqueles que não recebem nenhum afluente. A partir da confluência de dois rios de 1ª ordem, forma-se um segmento de 2ª ordem. Da confluência de dois rios de 2ª ordem, forma-se um rio de 3ª ordem e assim por diante, entretanto, quando dois rios de ordens diferentes se juntam, prevalece a maior ordem.

4.2.5 Geologia

Para a caracterização dos dados de geologia da área do município, o plano de informação foi adquirido junto a Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG, 2014), através de carta elaborada em parceria com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Programa Geologia do Brasil, Integração, Atualização e Difusão de Dados da

Geologia do Brasil – Projeto Mapas Geológicos Estaduais, com escala 1:100.000, sendo a área de estudo recortada.

4.2.6 Geomorfologia

Para caracterização dos aspectos geomorfológicos da área de estudo, foi usado como base a carta geomorfológica desenvolvida pela CPRM (2009), com escala 1:250.000, sendo a área do município recortada da mesma. Estes aspectos geomorfológicos possibilitam interpretar e compreender questões relevantes acerca da paisagem, sendo assim, indispensável para a elaboração de planejamento ambiental.

4.2.7 Hipsometria

A elaboração do mapa se deu a partir da obtenção de dados de imagem SRTM, com resolução de 90 m, em que a área do município (arquivo *raster*) foi recortada no *software* ArcGis. O MDE foi então preparado com valores inteiros, as estatísticas do modelo de elevação foram calculadas, o MDE foi reclassificado para agrupamento das classes de elevação, sendo nesse caso, seis classes, e por último foram atribuídas cores para cada intervalo.

4.3 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Para proceder à análise das atividades produtivas e do uso e ocupação do solo na área delimitada, utilizou-se base de dados obtida do site MapBiomas v 4.1, sendo os mapas produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens dos satélites *Landsat*, em uma resolução de 30 m, do qual se obteve os dados de cobertura do solo do município de Patos de Minas, MG, referentes ao ano de 2018.

A partir desses dados foram definidas as classes de uso e ocupação do solo a serem consideradas, sendo áreas de vegetação nativa (formações campestre, florestal e savânica), pastagem, agricultura (culturas anuais e perenes), solo exposto, zona urbana, corpos d'água, mineração e silvicultura.

Levando em consideração a metodologia proposta por Ramalho Filho; Beek (1995), com base no boletim da FAO (1976), a aptidão dos solos da área do município foi analisada.

As aptidões consideradas são as seguintes: boa, regular e restrita (aptidão agrícola) e inapta (preservação, silvicultura e pastagem natural ou plantada). Assim, quanto mais plano o solo, mais apto às atividades agrícolas (lavouras) e quanto mais declivoso, tal solo tem aptidão para a preservação da fauna e flora.

4.4 FRAGILIDADE AMBIENTAL

4.4.1 Processamento de dados

A avaliação do grau de fragilidade ambiental da área selecionada foi realizada através da elaboração dos mapas temáticos para seguintes as variáveis: declividade, geomorfologia, pedologia e hierarquia fluvial, além da análise da pluviosidade, em uma adaptação a referida proposta metodológica de Ross (1994, 2012) e Crepani et al. (2001), em que foram utilizados além dos critérios comumente mais utilizados na literatura, novos elementos da paisagem.

Para cada uma destas variáveis, foram estabelecidas classes de fragilidades, variando de muito fraca a muito forte, conferindo pesos de 1 a 5, de acordo com os critérios propostos por Ross (1994). Ao fim, a junção destes mapas, culminou na carta de fragilidade ambiental potencial (FAP) do município.

Este mesmo autor destaca ainda que a metodologia aplicada para esse estudo se sustenta nos conceitos da análise da fragilidade ambiental, com base na classe de declividade, o qual encontra explicação em dois termos diferentes, a fragilidade potencial e a fragilidade emergente, porém, neste trabalho foi desenvolvido apenas o mapeamento da fragilidade potencial, se pautando na análise dos elementos físico-naturais.

Em relação a variável declividade, as classes utilizadas nesse estudo estão baseadas nos intervalos já descritos nos estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia, indicativos do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e inundações frequentes (TABELA 3).

Tabela 3 – Graus de fragilidade (GF) para o parâmetro declividade.

Declividade		Graus de fragilidade
Valores	%	--
1	0 - 3	Muito baixo
2	3 - 8	Baixo
3	8 - 20	Médio
4	20 - 45	Alto
5	>45	Muito alto

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

De acordo com o que é descrito por Ross (2012), para a confecção de um mapa de pedologia que demonstre o índice de fragilidade, considera-se as classes de solos com suas respectivas características: textura, estrutura, grau de coesão das partículas, plasticidade, densidade e profundidade/espessura dos horizontes. Tais características estão relacionadas de modo direto com o relevo, litologia e clima, elementos motores da pedogênese e fatores determinantes das características físicas e químicas dos solos. Para cada tipo de solo, Ross (1994) instituiu graus de fragilidade, hierarquizado em cinco categorias, conforme os valores descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Graus de fragilidade (GF) para a variável solo.

Tipos de solos	GF	Valores
Latossolo roxo, vermelho escuro e vermelho amarelo, argiloso	Muito baixo	1
Latossolo amarelo e vermelho com textura média/argilosa	Baixo	2
Latossolo vermelho amarelo, terra roxa, terra bruna, argissolos vermelho- amarelo textura média/argilosa	Médio	3
Argissolos vermelho- amarelo textura média/arenosa, Cambissolos	Alto	4
Neossolos litóicos e quartzarênicos	Muito alto	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

No que se refere à fragilidade ambiental para a variável pluviosidade (TABELA 5), os índices foram atribuídos por meio do critério de níveis de interferência na estabilidade do ambiente pressuposto por Ross (2012), em relação a distribuição e intensidade das chuvas, que têm ação direta sobre a dinâmica de superfície, sobretudo, no que concerne ao intemperismo de rochas e solos.

Tabela 5 – Graus de fragilidade (GF) para a variável pluviosidade.

Distribuição de chuvas	GF	Valores
Regular ao longo do ano, com volumes anuais, não muito acima de 1.000 mm ano ⁻¹ .	Muito baixo	1
Regular de chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 2.000 mm ano ⁻¹ .	Baixo	2
Precipitação anual distribuída desigualmente, com períodos de seca entre 2 e 3 meses no inverno; no verão, intensidades de dezembro a março, com volumes de 1.300 a 1.600 mm ano ⁻¹ .	Média	3
Precipitação anual distribuída desigualmente, com período seco, entre 3 e 6 meses e alta concentração de chuvas no verão, entre novembro e abril, quando há 70% a 80% da precipitação total, com volumes de 1.600 a 1.800 mm ano ⁻¹ .	Alto	4
Regular ou não durante todo o ano, com grandes volumes anuais superiores a 2.500 mm / ano ou até comportamentos irregulares de chuvas ao longo do ano, com episódios de alta intensidade de chuvas e fracos volumes anuais abaixo de 900 mm ano ⁻¹ .	Muito alto	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

Para determinar os níveis de fragilidade a respeito da hierarquia fluvial, levaram-se em consideração os graus de fragilidade propostos por Ross (1994, 2012), uma vez que o mesmo não categorizou essa classe. Assim, foi formulada uma classificação (TABELA 6), hierarquizando os cursos d'água de acordo com Strahler (1952a, 1952b), além de considerar que quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior é a fragilidade da paisagem, já que os mesmos apontam maior dissecação do relevo.

Tabela 6 – Graus de fragilidade (GF) para a variável hierarquia fluvial.

Hierarquia dos cursos d'água	Grau de fragilidade	Pesos atribuídos
6 ^a ordem em diante	Muito baixo	1
5 ^a ordem	Baixo	2
3 ^a e 4 ^a ordem	Médio	3
2 ^a ordem	Alto	4
1 ^a ordem	Muito alto	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

Quanto aos pesos de fragilidade para as unidades geológicas, estas se basearam nos valores de vulnerabilidades propostos por Crepani et al. (2001), que classifica a vulnerabilidade pelos litotipos, em uma escala de 1,0 a 3,0, utilizando valores decimais. Foi feito uma adaptação da mesma, de modo a igualá-la as cinco classes de fragilidade propostas por Ross (1994; 2012), para que não houvesse distinção das demais classificações de fragilidades empregadas nesse estudo (TABELA 7).

Para a variável geologia, destaca-se que o acesso do agente intemperizador (água) e a remoção do produto intemperizado (rocha), são aspectos relevantes a serem considerados, uma vez que, quanto mais o agente intemperizador fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado. Com isso, tem-se que quanto mais porosa/fraturada é a rocha, mais a água pode acometer seus grãos constituintes e mais rapidamente também são retirados os produtos do intemperismo para que novas superfícies do cristal sejam expostas e intemperizadas.

Tabela 7 – Graus de fragilidade (GF) para a variável geologia.

Rochas (litotipos)	GF	Valores
Quartzitos ou metaquartzitos/Riólito, Granito, Dacito/Granodorito, Quartzo Diorito, Granulitos/Migmatitos, Gnaisses/Fenólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito.	Muito baixo	1
Andesito, Diorito, Basalto/Anortosito, Gabro, Peridotito/Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto/ Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito.	Baixo	2
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto/Estaurolita xisto, Xistos granatíferos/Filito, Metassilito/Ardósia, Metargilito.	Médio	3
Mármore/Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos/Conglomerados, Subgrauvacas/Grauvacas, Arcózios.	Alto	4
Siltitos, Argilistos/ Folhelhos/ Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos/Sedimentos Inconsolidados: aluviões, colúvios.	Muito alto	5

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Para as informações e o mapeamento acerca do uso e ocupação do solo, Ross (1994, 2012) sugeriu cinco índices de fragilidades (TABELA 8) que expressam o grau de proteção dos solos pela cobertura vegetal e a degradação destes em diferentes classes de uso e ocupação do solo. Nesse caso, tem-se que o grau de fragilidade é inversamente proporcional ao grau de proteção.

Tabela 8 – Graus de fragilidade (GF) e de proteção (GP) para a variável cobertura vegetal e uso e ocupação do solo.

Tipo de cobertura vegetal	GF	GP	Valores
Florestas/matias naturais	Muito baixo a nulo	Muito alto	1
Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, pastagem cultivada com baixo pisoteio de gado	Baixo	Alto	2
Pastagem com baixo pisoteio de gado, silvicultura e sub-bosques de eucaliptos	Médio	Médio	3
Cultura de ciclo longo com baixa densidade, cultura de ciclo curto	Alto	Baixo	4
Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto, cultura de ciclo curto sem práticas conservacionistas	Muito alto	Muito baixo a nulo	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

4.4.2 Análise hierárquica (AHP)

Com o intuito de que o processo de análise hierárquica admitisse integração com a plataforma SIG, para a elaboração de um mapa final de fragilidade ambiental que fosse o mais próximo possível da realidade do terreno, a metodologia aplicada empregou 5 (cinco) fatores físico-naturais, enquadrados no método do processo hierárquico analítico (*analytic hierarchy process* - AHP) (SAATY, 1980). Para utilizar o método AHP, para se tomar a melhor decisão e de maneira organizada, é imprescindível adotar as seguintes condições:

- a) Definição do problema e o objetivo que se almeja alcançar;
- b) Estruturação dos critérios em forma de hierarquia;
- c) Construção de uma matriz quadrada de comparação de pares, em que os critérios são comparados par a par;
- d) Atribuição de um peso a cada um dos critérios, de maneira a obter o grau de importância de cada um.

Para a aplicação do método de decisão multicritério, a concatenação de todos os mapas de fatores gerados foi feita em plataforma SIG, de forma que a ferramenta de álgebra de mapas possibilitou a execução da operação. Posteriormente, foi concretizada a análise de confronto entre os fatores, com o objetivo de gerar os pesos de importância. É válido ressaltar

que tal método possui aplicabilidade em situações que abarcam julgamentos subjetivos e faz uso tanto de dados quantitativos, como de dados qualitativos.

Dessa maneira, foi possível elaborar a matriz matemática de análise par a par, derivando nos pesos atribuídos a cada camada. Essa matriz determina quanto o critério da coluna da esquerda é mais relevante em relação a cada critério correspondente na linha superior e, quando confrontado com ele mesmo, a única possibilidade de valor será 1. A seguir, calculou-se a soma ponderada de todas as camadas, com base nos resultados da matriz que exibiu os fatores por grau de importância. A resolução da matriz se deu através do uso de uma escala de comparação de critérios elaborada por Saaty (1980) (TABELA 9).

Tabela 9 – Escala referente à importância relativa a partir da comparação de critérios.

Escala numérica	Escala verbal	Explicação
1	Ambos os elementos são de igual importância.	Ambos elementos contribuem de igual forma.
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro.	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro.
5	Forte importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é fortemente favorecido.
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro.	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro.
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro.	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença.
2; 4; 6; 8	Valores intermediários entre opiniões adjacentes.	Usados como valores de consenso entre opiniões.
Incremento 0,1	Valores intermediários na graduação mais fina de 0,1.	Usados para graduações mais finas de opiniões.

Fonte: Adaptado de Saaty (1980) por Freitas; Marins; Souza (2006).

O AHP deve acatar três pressupostos: reciprocidade (se $a_{ij} = x$, então $a_{ji} = 1/x$, com $1/9 \leq x \leq 9$); homogeneidade (se os elementos i e j são considerados importantes de modo

igual, então, $a_{ij} = a_{ji} = 1$, além disso $a_i = 1$ para todo i); e consistência (índice de consistência (IC) e razão de consistência (RC)).

A aplicação do método necessita do julgamento e avaliação técnica de vários especialistas de diversas áreas do conhecimento ligadas à temática da pesquisa, que dão suas ponderações à matriz AHP, conforme seus conhecimentos técnico-científico e experiências. Por fim, realiza-se a ponderação e balizamento do consenso entre as análises.

Quando há a necessidade, a tabela de Saaty (1980) apresenta a possibilidade do uso de valores intermediários (2; 4; 6; 8), por exemplo, se não houver consenso entre algum item de julgamento. Logo, busca-se condições de compromisso entre duas definições, fazendo-se indispensável o acordo.

Após a etapa de atribuição numérica da análise pareada, faz-se as operações matemáticas das matrizes, compreendendo 5 sub-etapas (SAATY, 1991), sendo as seguintes:

- a) Cálculo do autovetor principal: calcula-se o somatório dos pesos da avaliação. Posteriormente, normaliza-se a matriz de comparação, em que se divide os valores de cada comparação (célula) pelo somatório da coluna a que pertence. Por último, apresenta o autovetor, que é a somatória dos elementos da linha da matriz de comparação normalizada dividida pelo somatório dos elementos da matriz de comparação;
- b) Cálculo do autovalor máximo: calculado pela soma do produto entre a matriz dos pesos pelo autovetor;
- c) Cálculo do índice de consistência (IC): o IC é calculado por meio do autovalor, em que o λ_{Max} é o autovalor e “n” é o número de critérios comparados;
- d) Cálculo do grau ou razão de consistência (*consistency ratio* – CR): aponta o nível de coerência do julgamento do avaliador. O cálculo se dá pela equação 2 apresentada abaixo. A verificação da consistência dos dados tem o objetivo de captar se os operadores foram consistentes nas suas opiniões para a tomada de decisão;
- e) Análise dos dados: o limite aceitável para a razão de consistência é de $RC \leq 0,10$, porém, nota-se que a incoerência nas comparações tem papel de alerta, sendo necessária a revisão para $RC > 0,10$.

4.4.3 Razão de consistência AHP

Com base na metodologia científica, o método AHP além de determinar a decisão certa, possibilita justificar a escolha de maneira consistente e coerente (SANTOS; CRUZ, 2013), calculando um conjunto de pesos e uma relação de consistência, admitindo repetidos ajustes na comparação (MARTINS et al., 2014).

Porém, existe a necessidade de verificar a inconsistência dos dados, para constatar se os decisores foram consistentes nas suas opiniões para a tomada de decisão. Dessa forma, tem-se pela seguinte equação, o cálculo do índice de consistência (SAATY, 2005):

$$IC = (\lambda_{Max} - n) / (n - 1) \quad (1)$$

Em que:

IC = índice de consistência;

n = número de critérios avaliados;

λ_{Max} = número principal de Eigen.

De acordo com Santos; Cruz (2013) obtém-se o autovetor ou vetor principal de Eigen (λ_{Max}) a partir do cálculo que soma o produto de cada elemento da matriz de comparação pelo vetor de prioridade (Eigen) de cada critério, dividindo o resultado dessa expressão pelo vetor de prioridade, do qual se calcula a média aritmética. Com isso, é indispensável averiguar se o valor descoberto do índice de consistência (IC) é apropriado.

Saaty (2005) sugeriu uma relação ou razão de consistência (RC), determinada pela razão entre o valor do índice de consistência (IC) e o índice randômico (IR), que varia com o tamanho “n” da amostra. Tem-se que a matriz apenas será considerada consistente, quando a razão for $\leq 0,10$ ou 10%. A relação é demonstrada pela expressão a seguir:

$$RC = IC / IR \quad (2)$$

Em que:

IR = valor constante dependente da dimensão da matriz que se está comparando, ou seja, do número de critérios avaliados (TABELA 10).

Tabela 10 – Índice randômico (IR) para matrizes quadradas de diversos tamanhos (n).

Dimensão da matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (2005).





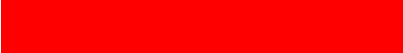
Quando o RC encontrado ultrapassar o valor de 0,10 (10%), é recomendado proceder uma nova avaliação dos dados levantados, averiguando se não houve equívocos durante o processo de levantamento. Os procedimentos de aplicação do método AHP, índice e razão de consistência foram concretizados no *software* de dados Excel.

4.4.4 Mapa de fragilidade ambiental potencial (FAP)

Posterior ao desenvolvimento dos mapas de caracterização física e uso ocupação do solo e as cartas de fragilidades, confeccionou-se a carta síntese com classes hierárquicas que variam de 1 a 5, que vão de muito baixa a muito alta, respectivamente, que expressem o índice de fragilidade potencial da área.

O mapa de fragilidade potencial indica o grau de fragilidade natural do ambiente, que é obtido através da derivação do cruzamento dos mapas de declividade, tipos de solos, geologia, hierarquia fluvial e da pluviosidade, estabelecendo-se, assim, o índice de fragilidade (TABELA 11).

Tabela 11 – Valores para o grau de fragilidade ambiental potencial (FAP).

Valores	FAP	
	Classes	Escala de cores
1	Muito baixa	
2	Baixa	
3	Média	
4	Alta	
5	Muito Alta	

Fonte: Adaptado de Ross (1994, 2012).

Para a elaboração do mapa síntese de fragilidade potencial, foram aplicados os métodos de combinação de mapas (álgebra de campo), através de sobreposição ponderada no *software* ArcGis 10.3. Em um primeiro momento, fez-se a conversão dos dados vetoriais para a estrutura matricial (formato *Grid.*), posteriormente fez-se a reclassificação, utilizando a

ferramenta de análise espacial/reclassificar (*spatial analyst tools/reclassify*). Por último, as etapas percorridas foram as seguintes: ferramentas de análise espacial/álgebra de mapas/calculadora *raster* (*spatial analyst tools/map algebra/raster calculator*).

Conforme Deodoro; Fonseca (2016), a álgebra de mapas é o procedimento de combinação de variáveis que ampara a análise multicritérios, ou seja, são operações matemáticas fazendo uso de mapas e dados *raster*, levando em consideração as variáveis desejadas, que produzem novos resultados para a análise e síntese da informação.

Por meio do processamento dos planos de informação (PI), que são referentes a cada parâmetro avaliado, além de seus pesos de importância de acordo com a matriz desenvolvida, executou-se a álgebra de mapas, através da análise multicriterial em ambiente SIG.

Para elaboração do mapa final de FAP, aplicou-se a seguinte equação para cálculo de soma algébrica (Σ) dos PI:

$$FAP = \Sigma (F_n * X_n) \quad (3)$$

Em que:

FAP = fragilidade ambiental potencial;

F_n = fragilidade dos “n” parâmetros;

X_n = pesos estatísticos dos “n” parâmetros.

A sobreposição das informações algébricas no *software* de SIG consistiu no somatório dos produtos estabelecidos para análise neste estudo, de acordo com a expressão abaixo:

$$FAP = (FD * w) + (FCS * w) + (FDG * w) + (FHF * w) + (FP * w) \quad (4)$$

Em que:

FAP = fragilidade ambiental potencial;

FD = fragilidade quanto à declividade do terreno;

FS = fragilidade quanto às classes de solos;

FDG = fragilidade quanto ao domínio geológico;

FHF = fragilidade quanto à hierarquia fluvial;

FP = fragilidade quanto à pluviosidade;

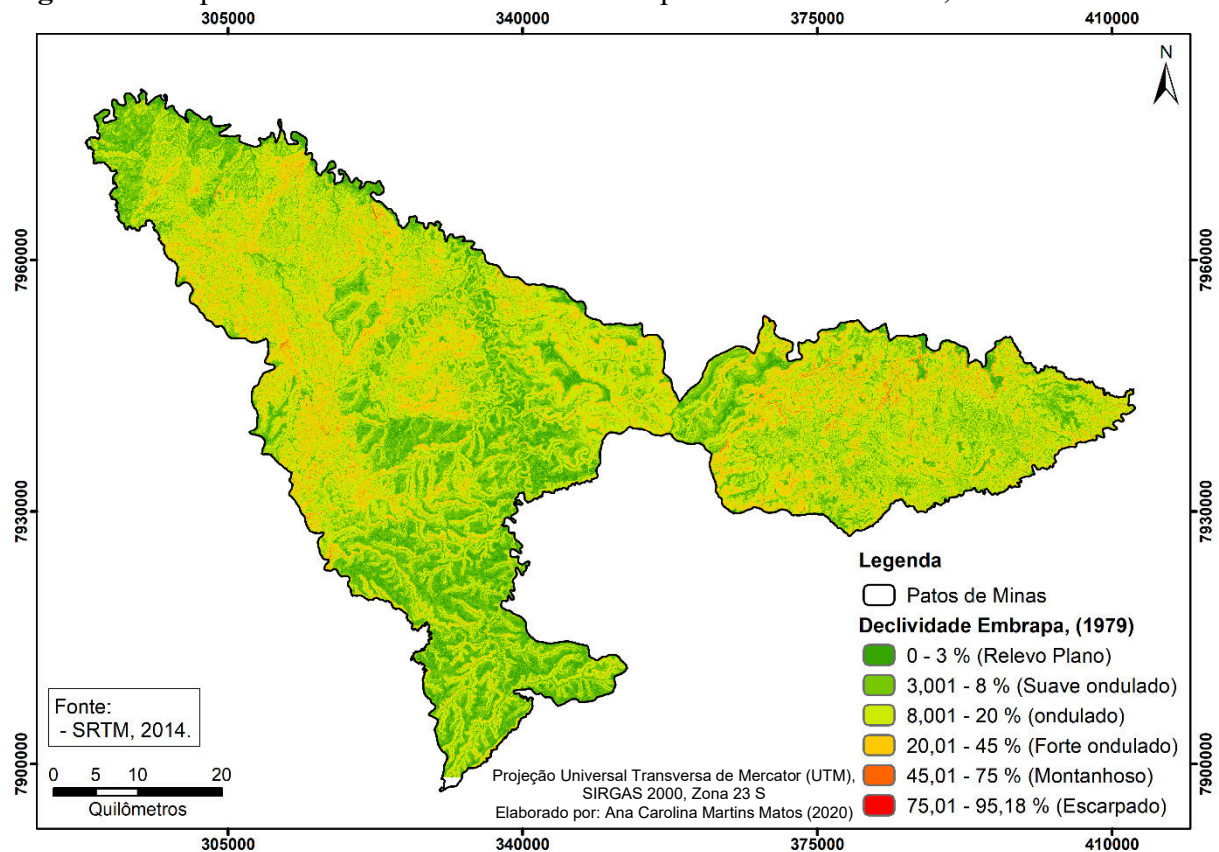
w = pesos de importância de cada parâmetro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DECLIVIDADE DO TERRENO

Analisando o mapa de declividade do município de Patos de Minas, pode-se observar que na maior parte da área predominam valores variando entre 0 e 20%, ou seja, relevo plano de plano a ondulado (FIGURA 4). Esta condição favorece as atividades agrícolas mecanizadas, tanto para a produção de alimentos, quanto de carne e leite (pastagens), que se não utilizadas técnicas de manejo adequadas, podem contribuir com a degradação ambiental na área.

Figura 4 – Mapa de declividade da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Com a quantificação das áreas do mapa da declividade para determinação da fragilidade potencial, observou-se que uma área total de 1.191,62 km² (37,76%) tem declividade até 8% e 1.441,15 km² (45,19%) até 20% e que somente 556,11 km² (17,45%) possuem áreas com declividade acima de 20% (TABELA 12). A maior parte destas áreas

agricultáveis está próxima aos cursos d'água, onde os terrenos dão forma às calhas dos cursos d'água (encostas) e em locais como topo de morros.

Tabela 12 – Classes de declividade, relevo, fragilidade potencial, e dados da área total de Patos de Minas, MG.

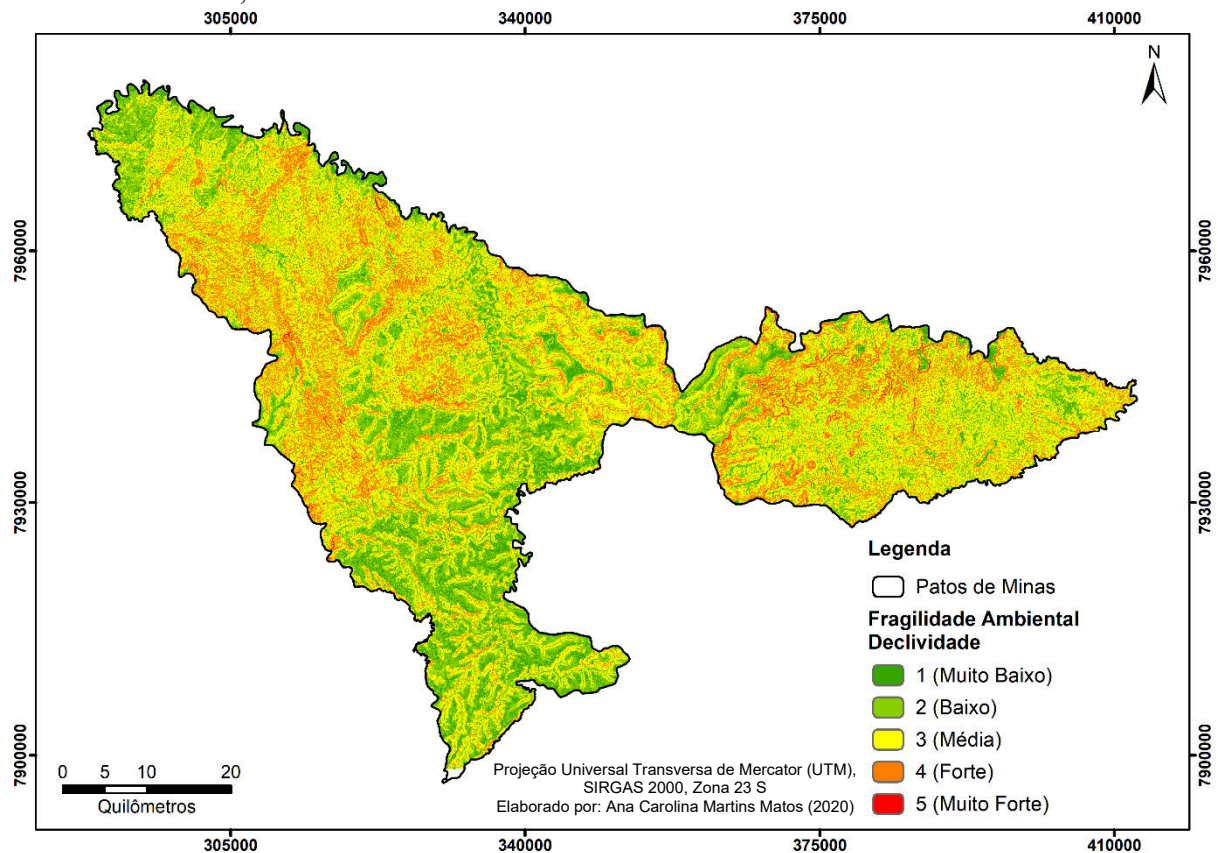
Declividade	Relevo	Fragilidade potencial		Área total	
		Valor	Classe	km ²	%
%	--	--	--	km ²	%
0 - 3	Plano	1	Muito Fraca	306,90	9,62
3 - 8	Suave-ondulado	2	Fraca	884,75	27,74
8 - 20	Ondulado	3	Média	1441,15	45,19
20 - 40	Forte- Ondulado	4	Forte	545,22	17,11
> 45	Montanhoso/Escarpado	5	Muito Forte	10,89	0,34
Área total	--	--	--	3188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os valores de declividade apontam as características do relevo que produzem energia potencial para o acontecimento de processos geomorfológicos, como erosão laminar e deslizamentos, conforme destacado por Ross (1994). Nesse contexto, tem-se que as classes de fragilidades e seus respectivos valores se alteram de acordo com o percentual de declividade, de modo que, as declividades menores indicam às classes de fragilidade mais baixas e as áreas de declives mais acentuados, às de fragilidade maior. Com isso, tem-se que a maior parcela do município configura fragilidade ambiental média a alta (45,19 e 17,11%, respectivamente), de modo que as superfícies onduladas a forte onduladas são predominantes, sobretudo, nas parcelas leste e oeste, onde a ocupação do território é de menor intensidade (FIGURA 5).

Outros 0,34% da área são classificadas por fragilidade muito alta. Nestes locais existem áreas de preservação permanente (APPs), sendo em sua maioria localizadas nos topos de morros e nas encostas dos cursos d'água, com declividades montanhosas e escarpadas que, conforme o Código Florestal, Lei Federal nº 12.651, de 2012, são áreas destinadas exclusivamente à proteção da vegetação nativa, devido sua suscetibilidade aos processos erosivos, movimentação de massas e favorecimento de escoamento superficial das águas (BRASIL, 2012).

Figura 5 – Mapa de fragilidade ambiental da declividade da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Nestas regiões em que a fragilidade é menor, classificadas como muito baixa e baixa, são as áreas de maior desenvolvimento do município, onde se localizam as principais atividades mantenedoras da economia, bem como o distrito-sede. De acordo com Valente e Vettorazi (2005), as declividades entre 3 a 15% são ideais para a ocupação urbana, bem como elucida a Lei Federal nº 6.766, de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, ressaltando que mais critérios (especificidades) devem ser enfatizados pelo plano diretor de cada município, quando as declividades para tais ocupações forem superiores à 30%.

Em seu estudo, Nascimento et al. (2016) observaram que 42,65% da área total da microbacia do ribeirão Candidópolis apresentou declividade variando entre 8 a 20%, com relevo ondulado, semelhante ao encontrado nesse estudo, onde a topografia foi pouca movimentada, constituída por colinas e declives acentuados. Conforme Ross (1994), nestas classes de até 20% de declividade, o grau de influência dos processos erosivos é considerado fraco ou muito fraco. Entretanto, Lepsch (2002), recomenda que estas áreas sejam utilizadas para cultura perenes, com o intuito de proporcionar uma maior proteção ao solo.

No estudo desenvolvido por Santos (2017), utilizando a análise multicritério entre fragilidade e vulnerabilidade ambiental, foi avaliada a bacia formada em usina hidrelétrica (UHE), observando que a área apresentava maior quantidade de relevos planos (0-6 % e 6-12 %) a suave ondulada (12-20 %), o que evidencia a grande probabilidade de ocupação antrópica na área, devido à declividade ser favorável a atividades agrícolas mecanizadas, porém, se estas não forem realizadas de forma criteriosa e planejadas, podem causar a degradação da vegetação natural e contribuir para a geração de erosão do solo.

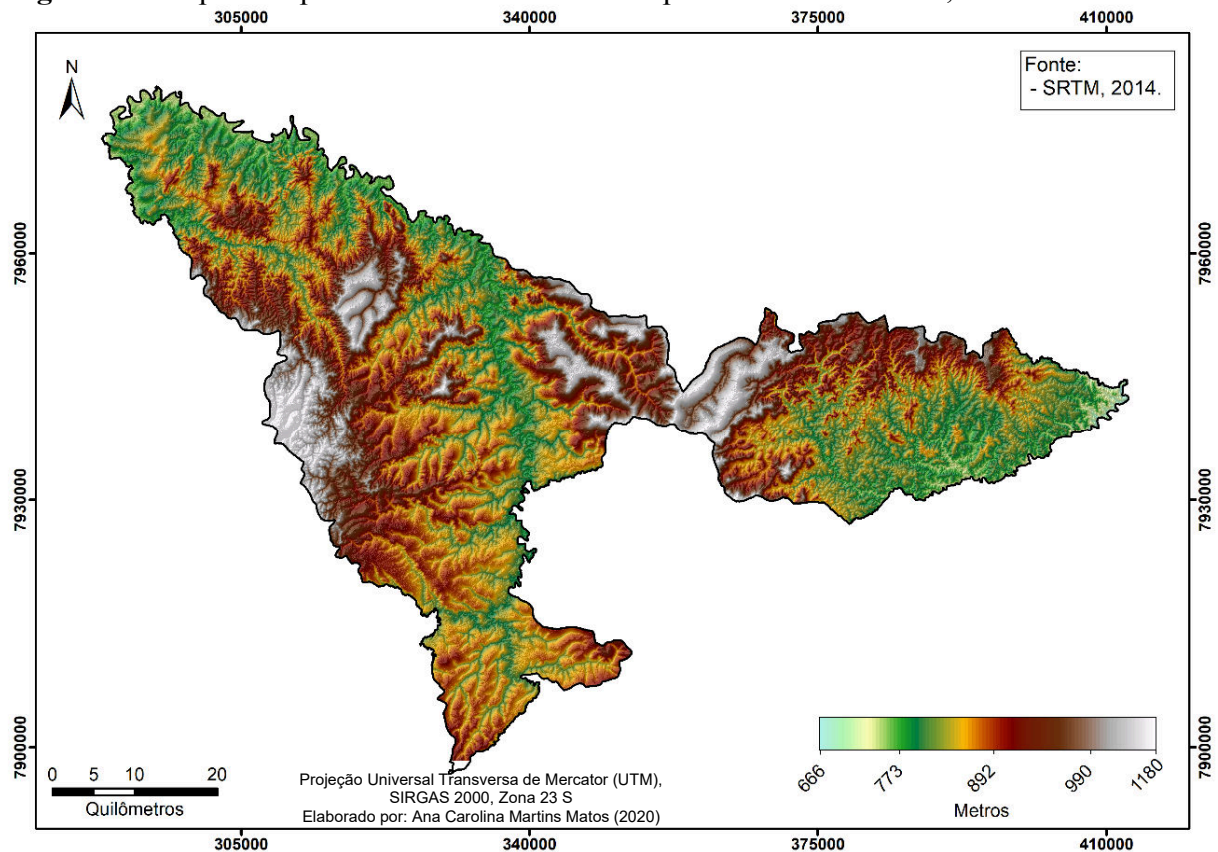
Nesse sentido, tem-se que a declividade média é expressiva na gestão e ordenamento de territórios, tanto em relação ao cumprimento da legislação ambiental, quanto para garantir a eficiência de intervenções do homem no ambiente (FRANÇA, 2018). De acordo com Lepsch (2002), a declividade do terreno influencia na concentração, dispersão e na velocidade da enxurrada, o que influencia no maior ou menor arrastamento superficial das partículas de solo.

5.2 HIPSOMETRIA DO TERRENO

De modo a complementar os dados de declividade e com o intuito de analisar a aptidão e o uso e ocupação do solo posteriormente, levando em consideração os diversos aspectos apontados nesse estudo, a hipsometria da área de Patos de Minas, MG foi determinada, sendo que a mesma variou de 666 metros a 1.180 metros (FIGURA 6).

Estas informações tem grande importância ao se determinar o tipo de exploração agrícola que vai ser introduzida em uma área, entretanto, para determinar a fragilidade ambiental potencial do município, esta variável não foi considerada, visto que a metodologia de Ross (1994) propõe a utilização da declividade.

Figura 6 – Mapa de hipsometria da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Os intervalos de classe foram baseados em uma divisão de seis intervalos a cada elevação de 100 metros (TABELA 13), para uma melhor visualização da hipsometria do local, sendo que a maioria do território apresenta altitude entre 800 a 900 metros (55,674%). Como forma de analisar se os dados encontrados são válidos, tem-se que as áreas de maiores altitudes se situam sobre os locais de maior declividade identificados na Figura 5, compreendendo 32,487% da área (altitudes entre 900 a 1.200 m).

A hipsometria é a representação gráfica das altitudes, sendo que essas influenciam diretamente o clima, pois quanto maior a altitude, menor a temperatura e radiação solar, que interferem diretamente no desenvolvimento de atividades agrícolas, visto que a maioria das culturas é sensível a estas variáveis, pois afeta diretamente a fotossíntese das plantas, a dormência (repouso vegetativo) das sementes ou quebra da mesma e florescimento, além da questão da produtividade e crescimento de mudas (MONTEIRO, 2009).

A representação da hipsometria, de acordo com manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009), por meio de mapas temáticos, é um instrumento expressivo para a identificação de superfícies delimitadas em níveis altimétricos conhecidos previamente, principalmente no que se refere aos perfis topográficos, em que podem ser feitas deduções quantitativas a

respeito da extensão dos interflúvios, aprofundamento da drenagem, bem como da declividade das vertentes.

Tabela 13 – Classes de hipsometria atribuídas a área de Patos de Minas, MG.

Hipsometria	Área do mapa		
	m	km ²	%
600 a 700	3,162	0,099	
700 a 800	373,132	11,701	
800 a 900	1775,383	55,674	
900 a 1000	679,102	21,296	
1.000 1.100	334,454	10,488	
1.100 a 1.200	23,682	0,743	
Área total	3.188,915	100,00	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

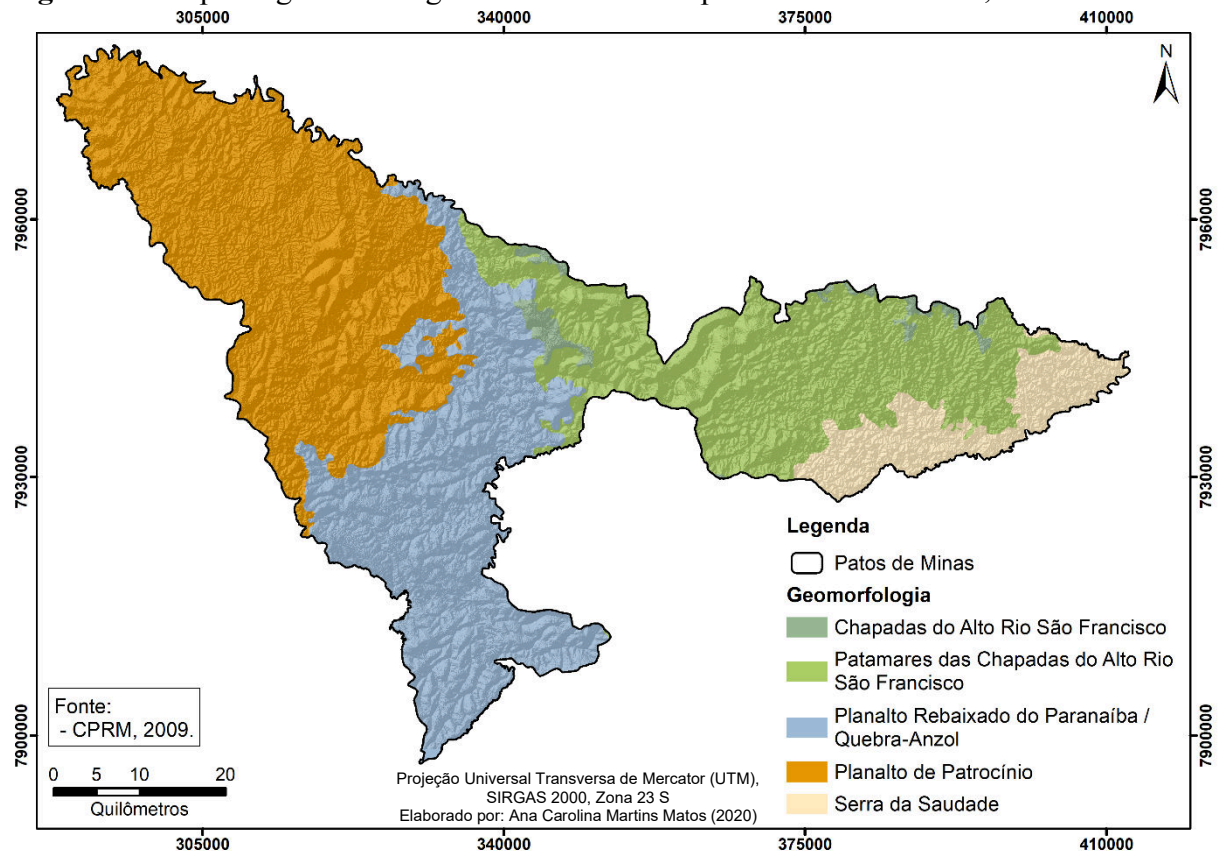
Como supracitado, Patos de Minas apresenta altitudes entre 666 e 1.180 metros. Nesse sentido, tem-se que o município não apresenta altitudes elevadas, o que implica em relação a variável clima que a temperatura e radiação solar não são baixas na região, sendo ainda perceptível que as áreas em que se têm as maiores altitudes se sobrepõem sobre as áreas com maiores declividades, ilustradas na Figura 4, conforme já citado, de modo a atestar que a representação da hipsometria é relevante para a análise dessa variável.

5.3 GEOMORFOLOGIA DO TERRENO

Na geomorfologia são analisadas as superfícies terrestres, intrínsecas as formas de relevo de uma região, de modo que a formação de elementos da superfície terrestre possa ser identificada pela natureza das rochas, pelo clima e por fatores endógenos e exógenos. Neste contexto, observou-se que o município de Patos de Minas, MG está inserido, em sua maioria, no planalto rebaixado do Paranaíba/Quebra-anzol (FIGURA 7).

Ressalta-se que tal variável não foi incluída na determinação da fragilidade ambiental potencial do município, sendo utilizada como complementação para a avaliação relacionada ao uso e ocupação do solo posteriormente, no que diz respeito à declividade da área.

Figura 7 – Mapa de geomorfologia da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Na Tabela 14 foram quantificadas a área total e a porcentagem que as geomorfologias identificadas representam dentro do município, na qual se observou que os planaltos predominam a área, compreendendo 65,10% da região, seguido dos patamares (25,88%), serras (7,38%) e chapadas (1,63%). Tais determinações são nomeadas unidades geomorfológicas, que são um arranjo de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes em seus vários tipos de modelados, em que cada unidade geomorfológica demonstra seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados distintos dos demais (IBGE, 2009).

Os conjuntos de formas de relevo que compreendem as unidades geomorfológicas constituem compartimentos identificados como: planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, patamares, planaltos e serras, caracterizados abaixo pelo manual técnico de geomorfologia (IBGE, 2009):

- a) Planícies: conjuntos de formas de relevo planas ou suavemente onduladas, geralmente dispostas em baixa altitude, com bordas nítidas. Os processos de sedimentação superam os de erosão;

- b) Tabuleiros e chapadas: conjuntos de formas de relevo de topo plano, formadas em rochas sedimentares, na maioria das vezes limitadas por escarpas. Os tabuleiros apresentam altitudes relativamente baixas, diferente das chapadas que se situam em altitudes mais elevadas;
- c) Depressões: conjuntos de relevos planos ou ondulados localizados abaixo do nível das regiões vizinhas, formados em rochas de classes variadas;
- d) Patamares: relevos planos ou ondulados, formados em classes de rochas distintas, compondo superfícies intermediárias ou degraus entre áreas de relevos mais elevados e áreas topograficamente mais baixas;
- e) Planaltos: conjuntos de relevos planos ou dissecados, de elevadas altitudes, limitados, ao menos em um lado, por superfícies mais baixas. Os processos de erosão superam os de sedimentação;
- f) Serras: compreendem relevos acidentados, elaborados em rochas diferentes, formando cristas e cumeadas ou as bordas escarpadas de planaltos.

Tabela 14 – Classes de geomorfologia atribuídas a área de Patos de Minas, MG.

Geomorfologia	Área do mapa	
	km ²	%
Chapadas do Alto Rio São Francisco	52,13	1,63
Patamares das Chapadas do Alto Rio São Francisco	825,35	25,88
Planalto Rebaixado do Paranaíba/Quebra-anzol	1205,70	37,81
Planalto do Patrocínio	870,23	27,29
Serra da Saudade	235,51	7,38
Área total	3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

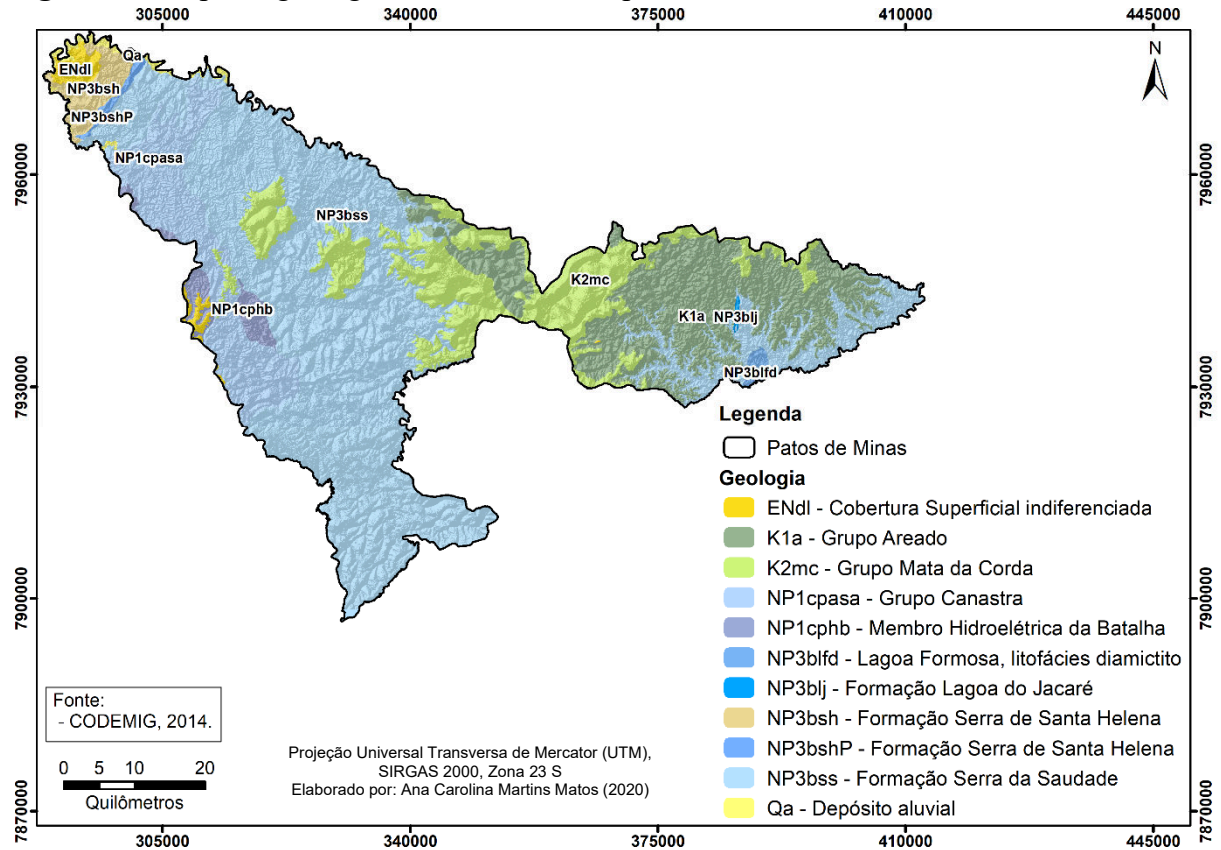
Nos tipos de relevo que abrangem os topos e encostas altas, estes apresentam encostas muito íngremes e com algumas áreas de rochas expostas, o que é característico do relevo forte ondulado e montanhoso (MAGALHÃES JUNIOR; MOREIRA, 1998).

5.4 GEOLOGIA DO TERRENO

A geologia do município de Patos de Minas, MG foi classificada com base no mapa geológico de Minas Gerais, que comprova o predomínio da Formação Serra da Saudade,

pertencente ao Grupo Bambuí (CPRM, 2013), com uma área de 1.590,51 km², que corresponde a 49,88% da área total (FIGURA 8, TABELA 15).

Figura 8 – Mapa de geologia da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Das demais unidades geológicas existentes na região, o Grupo Areado (17,93%), Grupo Mata da Corda (15,23%) e o Grupo Canastra (10,20%) se destacam com áreas representativas no município, enquanto que as demais classes geológicas identificadas ocupam uma pequena parcela da região, variando entre 0,09 e 2,01% da área total (TABELA 15).

O suporte da geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural, abrange as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente em que a unidade se encontra e as informações referentes ao grau de coesão das rochas que a compõem (QUARTAROLI; ARAÚJO; GARÇON, 2013).

Tabela 15 – Classes de geologia atribuídas à área de Patos de Minas, MG.

Geologia	Área do mapa	
	km ²	%
Cobertura Superficial indiferenciada	39,81	1,25
Grupo Areado	571,67	17,93
Grupo Mata da Corda	485,61	15,23
Grupo Canastra	325,44	10,20
Membro Hidroelétrica da Batalha	55,16	1,73
Lagoa Formosa, litofáceis diamictito	14,02	0,44
Formação Lagoa do Jacaré	2,92	0,09
Formação Serra de Santa Helena	64,33	2,02
Formação Serra de Santa Helena, litofácies fosfático	13,39	0,42
Formação Serra da Saudade	1590,51	49,88
Depósito aluvial	26,05	0,82
Área total	3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com base nos dados de caracterização física da região explanado abaixo e utilizando os valores de vulnerabilidade sugeridos por Crepani et al. (2001), foi gerado o mapa da fragilidade ambiental da geologia da área do município que evidenciou que a maior parte da área tem fragilidade forte ou muito forte (FIGURA 9).

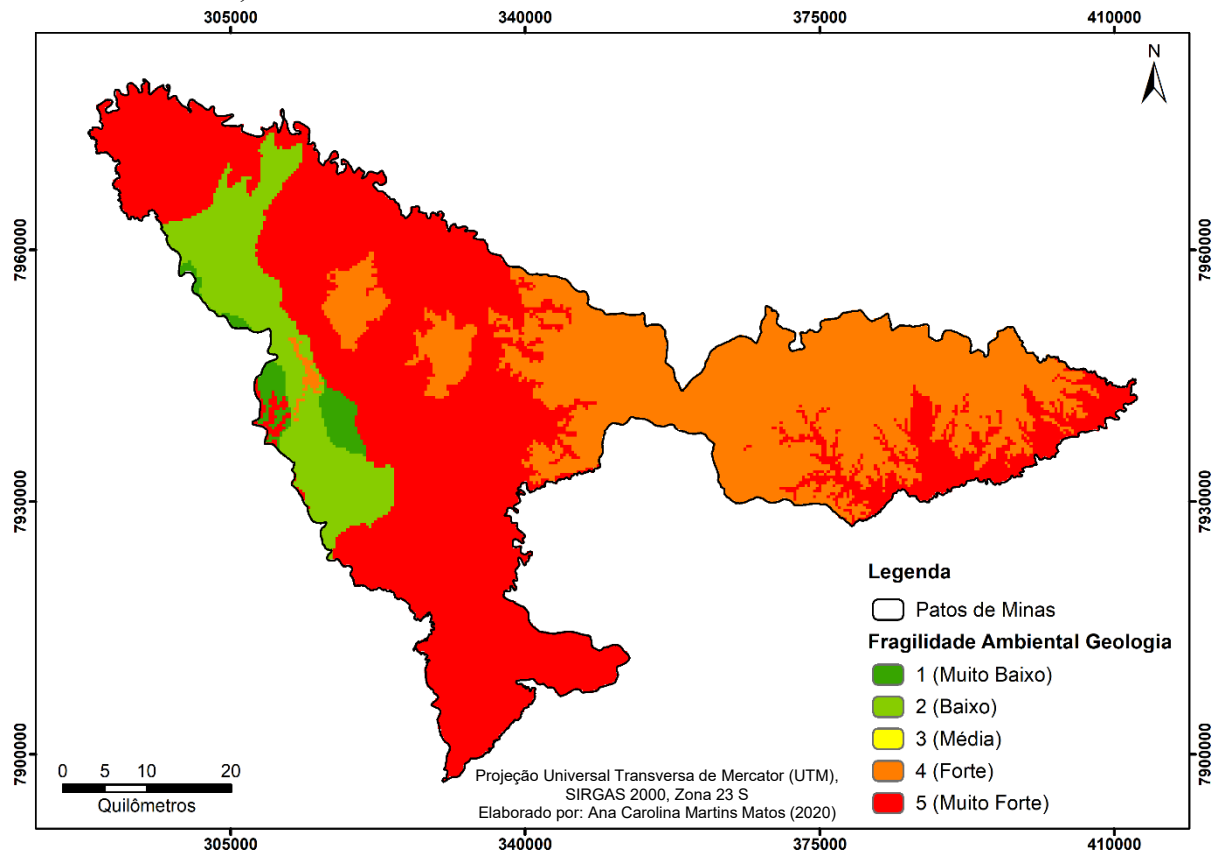
De acordo com Rezende et al. (2018), os Depósitos Aluviais compreendem sedimentos clásticos inconsolidados, com coberturas superficiais indiferenciadas, sedimentos clásticos e lateríticos ferruginosos. Já o Grupo Areado apresenta folhelhos, arenito feldspático, arenito lítico, arenito conglomerático, conglomerado polimítico e siltitol.

A Formação Lagoa do Jacaré é caracterizada pela associação de depósitos carbonáticos de retrabalhamento, principalmente calcarenitos oolíticos a pisolíticos, cinza escuros, fétidos, calciruditos e doloruditos, intercalados com níveis de espessura variável de siltitos e, raras bioconstruções carbonáticas. Quanto a Formação Serra de Santa Helena, esta é formada por uma espessa unidade dominada por siliciclásticos finos, principalmente siltitos, folhelhos esverdeados e arenitos muito finos e impuros, arenitos, ardósias e lentes de calcário (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007).

A Formação Serra da Saudade é predominantemente siliciclástica, formada por ritmitos silto-arenosos, localmente fosfáticos, siltitos, arenitos grauvaquianos e subarcosianos e, mais

raramente, por pelitos verdes conhecidos na literatura geológica como verdetes (LIMA, 2005). A Formação Lagoa Formosa é composta predominantemente por siltito, com pequenas intercalações de siltito argiloso, argilito e, em menor quantidade, arenito (FRAGOSO et al. 2011).

Figura 9 – Mapa de fragilidade ambiental da geologia da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

O Grupo Canastra se apresenta como um conjunto de intercalações, mais ou menos espessas, de filitos e quartzitos (PEREIRA et al., 1994), enquanto que a unidade Membro Hidroelétrica Batalha é essencialmente composta por quartzitos (SILVA, 2003). O Grupo Mata da Corda é representado por paraconglomerado e apresenta matriz areno-argilosa, de coloração vermelha a branca e clastos tamanho grânulo a matacão, arredondados a subangulares, compostos especialmente por rocha vulcânica, assim como arenito lítico, originados a partir da erosão das rochas vulcânicas (FRAGOSO et al. 2011).

O município apresenta fragilidade alta e muito alta em 2.808,31 km², que equivale a 80,34% da área total, onde predominam os domínios geológicos Grupo Mata da Corda, Grupo Areado, Cobertura Superficial indiferenciada, Depósito aluvial, Formação Lagoa Formosa,

litofáceis diamictito, Formação Lagoa do Jacaré, Formação Serra de Santa Helena e Formação Serra da Saudade (TABELA 16).

Tabela 16 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator geologia.

Geologia	Pesos atribuídos		Área do mapa	
	Classe	Valor	km ²	%
Membro Hidroelétrica da Batalha	Muito baixo	1	55,16	1,73
Grupo Canastra	Baixo	2	325,44	10,20
-	Médio	3	0	0
Grupo Mata da Corda/ Grupo Areado/	Alto	4	1057,28	25,43
Cobertura Superficial indiferenciada/ Depósito aluvial/ Lagoa Formosa, litofáceis diamictito/ Formação Lagoa do Jacaré/ Formação Serra de Santa Helena/ Formação Serra de Santa Helena, litofácies fosfático/ Formação Serra da Saudade	Muito Alto	5	1751,03	54,91
Área total	--	--	3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Em contrapartida, no domínio Membro Hidroelétrica da Batalha foi observada uma fragilidade muito baixa, em uma área de 55,16 km², que equivale 1,73% da área total, pouco representativa na região. Para o nível hierárquico médio, não houve unidades geológicas que se encaixaram. Em estudo semelhante, Fitz (2016) observou valores de fragilidade de geologia análogos, em uma área avaliada no estado do Rio Grande do Sul.

Em estudo desenvolvido por Rassi et al. (2017) em Patos de Minas, observou-se a fragilidade erosiva da Formação Neoproterozoica na região, especialmente em contato com a cobertura de superfície, em que se registrou a presença de concreções ferruginosas em médias vertentes, sendo que as unidades geológicas identificadas no município foram Formação Serra da Saudade, Grupo Mata da Corda Indiviso e Coberturas Detríticas Cenozoicas Indiferenciadas, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo.

De acordo com Crepani et al. (2001), a informação básica da geologia a ser agregada, por meio da ecodinâmica, é o grau de coesão, uma vez que representa a magnitude da ligação entre os minerais ou partículas que compõem as rochas, sendo que, em rochas pouco coesas devem prevalecer os processos erosivos, responsáveis por alterar as formas de relevo,

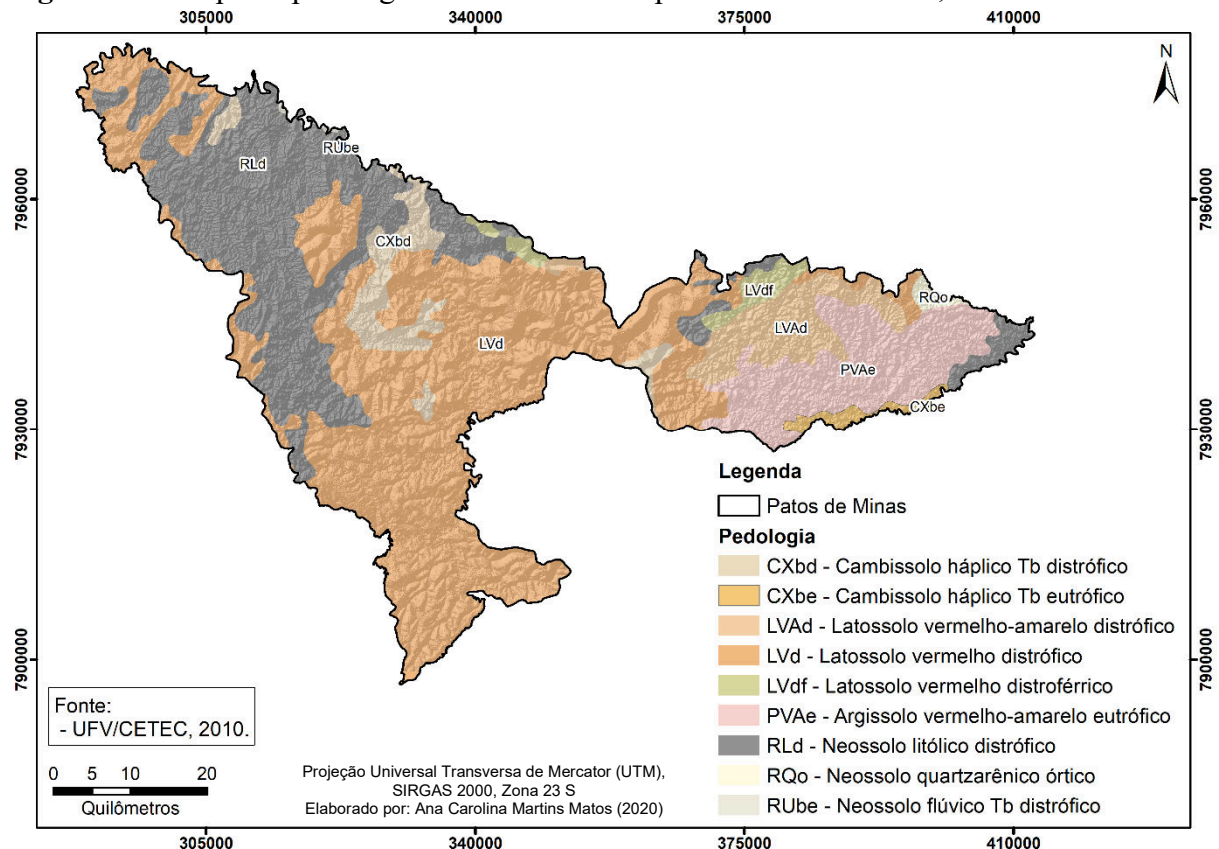
enquanto, em rochas bastante coesas, devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos.

O suporte da geologia com relação à análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural, abrange as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações referentes ao grau de coesão das rochas que a compõem (QUARTAROLI, ARAÚJO; GARÇON, 2013). Nesse contexto, o critério domínios geológicos foi analisado neste estudo, devido sua relevância no entendimento da fragilidade ambiental natural de um ecossistema.

5.5 PEDOLOGIA DO TERRENO

O mapa de pedologia do município de Patos de Minas, MG apresenta tipologias de solos do 4º nível de ordens do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), distribuídos entre Latossolos, Cambissolos, Argissolos e Neossolos (FIGURA 10) (SANTOS et al., 2018).

Figura 10 – Mapa de pedologia da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Os Latossolos predominam na região com 55,34% da área total, sendo nas variações vermelho-amarelo distrófico, vermelho distrófico e vermelho distroférico, seguido dos Neossolos (27,86%), divididos entre litólico distrófico, quartzênico órtico e flúvico Tb distrófico, assim como ocorre no estado de Minas Gerais e no Brasil (EMBRAPA, 2006), Argissolos na variação vermelho-amarelo eutrófico (10,98%) e Cambissolos, nas variações háplico Tb distrófico e háplico Tb eutrófico, com 5,42% da área total (TABELA 17).

Em relação à associação dos tipos de solo com os relevos, Amaral et al. (2004) cita que os Latossolos vermelhos se encontram no relevo plano ao suave ondulado, enquanto os Vermelho-amarelos em relevo plano ao forte ondulado. Já os Argissolos Vermelho-amarelos estão sobre relevo ondulado e forte ondulado, assim como os Cambissolos háplicos. Em relação aos Neossolos, os litólicos se encontram em relevo forte ondulado e montanhoso, os flúvicos em relevo plano e os quartzênicos em relevo plano e suave ondulado.

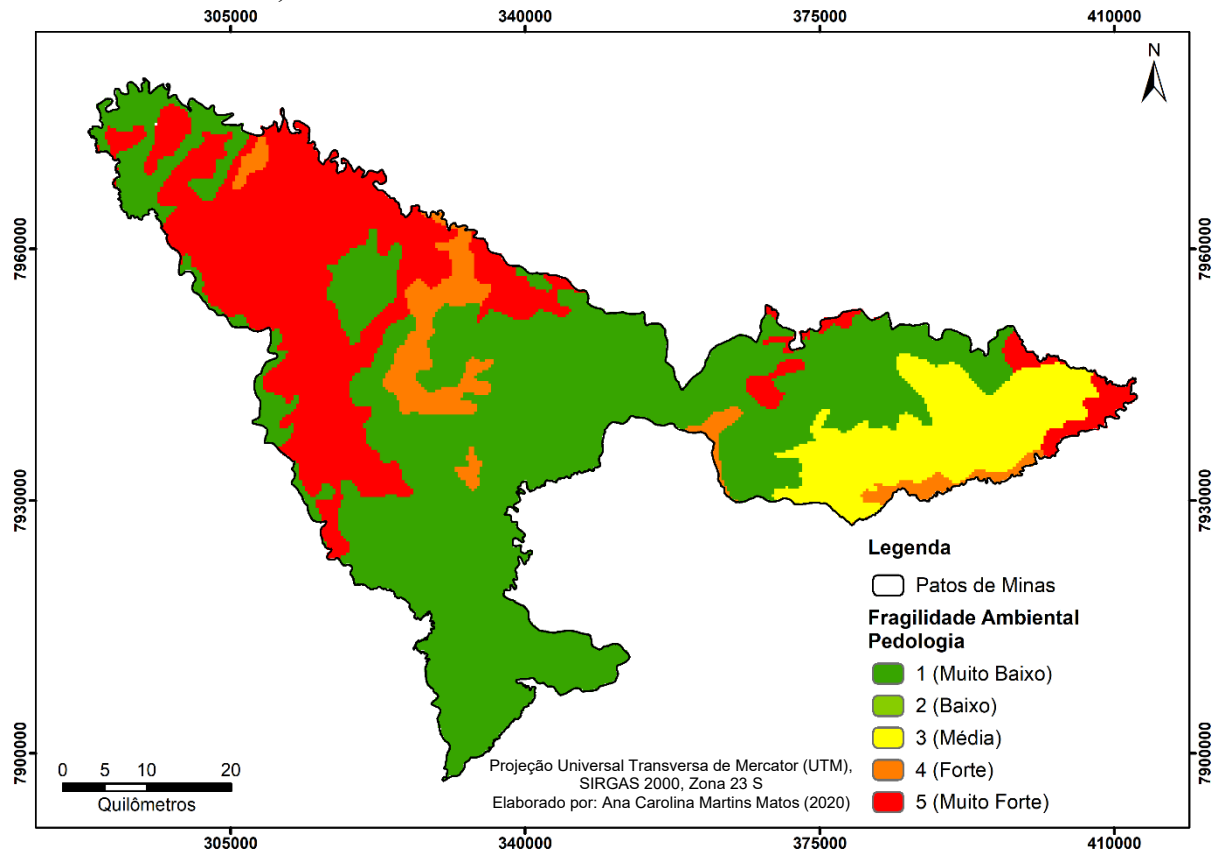
Tabela 17 – Classes de pedologia atribuídas a área de Patos de Minas, MG.

Tipos de solos	Área do mapa	
	km ²	%
Cambissolo háplico Tb distrófico	155,61	4,88
Cambissolo háplico Tb eutrófico	30,02	0,94
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	181,99	5,71
Latossolo vermelho distrófico	1525,89	47,85
Latossolo vermelho distroférico	56,77	1,78
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	350,19	10,98
Neossolo litólico distrófico	869,57	27,27
Neossolo quartzênico órtico	13,96	0,44
Neossolo flúvico Tb distrófico	4,91	0,15
Área total	3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Através do mapa de fragilidade ambiental dos tipos de solo da área do município de Patos de Minas, MG, fundamentados na metodologia proposta por Ross (1994), observou-se que na maior parte da área em estudo, a fragilidade é muito baixa (55,34%), ou alta (5,82%) e muito alta (27,86%), sendo que apenas 16,80% da região estão classificadas como baixa ou média fragilidade (FIGURA 11, TABELA 18).

Figura 11 – Mapa de fragilidade ambiental dos tipos de solo da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 18 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator pedologia.

Tipos de solos	Fragilidade		Área do mapa	
	Classe	Valor	km ²	%
	--	--		
Latossolo vermelho-amarelo distrófico, Latossolo vermelho distrófico e Latossolo vermelho distroférico	Muito baixa	1	1.764,66	55,34
--	Baixa	2	0	0
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	Média	3	350,19	10,98
Cambissolo háplico Tb distrófico e Cambissolo háplico Tb eutrófico	Alta	4	185,63	5,82
Neossolo litólico distrófico, Neossolo quartzarênico órtico e Neossolo flúvico Tb distrófico	Muito alta	5	888,44	27,86
Área total			3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Nestas áreas classificadas como alta e muito alta, que equivalem a 33,68% da área total, se explorados indevidamente, podem contribuir para o aumento do nível de degradação ambiental da sua estrutura e qualidade, o que gera a necessidade de manejo e uso adequados do solo, uma vez que o uso incorreto pode desencadear processos erosivos e consequentes deslizamentos.

Dentre as características principais dos solos, a determinação da textura é um atributo físico importante ao se determinar a suscetibilidade à erosão, pois afeta vários atributos químicos e físicos do solo, como a capacidade de troca catiônica (CTC), retenção de água, erodibilidade do solo, infiltração de água, drenagem, entre outras (STRECK et al., 2002).

Os Neossolos são solos jovens, rasos, que não apresentam horizonte B e o horizonte A e se situam assentados sobre a rocha ou sobre um horizonte C (< 50 cm). O fato da rocha se achar próxima da superfície dificulta a drenagem do solo, beneficiando sua saturação. Tais solos se encontram na sua maioria em áreas declivosas, propiciando o escoamento superficial e o acontecimento de erosão hídrica (BONNA, 2011). O mesmo autor descreve os Cambissolos, também considerados solos jovens, contudo, mais desenvolvidos que os Neossolos, e que se encontram em relevos mais declivosos, onde o desenvolvimento de movimentos de massa dificulta a infiltração da água no solo, o que faz aumentar seu escoamento, bem como processos erosivos decorrentes.

O Cambissolo Háptico Tb eutrófico (CXbe) e o Neossolo Flúvico Tb distrófico (RUbe) são solos minerais, que apresentam baixo desenvolvimento pedogenético, que geralmente são encontrados em várzeas, planícies fluviais e terraços aluviais, ao longo das linhas de drenagens das principais bacias hidrográficas (EMBRAPA, 2006), o que foi observado neste estudo, já que estão presentes na linha de drenagem do rio Paranaíba, curso d'água principal na região.

De acordo com Santos et al. (2018), em relação aos Latossolos, estes são solos evoluídos, profundos e muito bem drenados, pois apresentam avançado estágio de intemperismo, sendo geralmente encontrados em áreas planas ou de relevo suavemente ondulado, como ocorre neste estudo, indicados para cultivo de culturas anuais mecanizadas (LEPSCH, 2002).

As áreas com a presença de Latossolos, que apresentam fragilidade muito baixa, geralmente são associadas a baixas declividades, menores que 3%. Fushita et al. (2011) destacam que a baixa fragilidade para esta classe de solos se dá ainda devido a sua textura argilosa e ao fato da baixa erodibilidade, uma vez que, além de serem muito profundos, são

compostos em sua maioria por argilas, conferindo assim, características de maiores permeabilidades.

Conforme Crepani et al. (2001), o grau desenvolvimento do solo é um importante elemento para estabelecer valores as classes de vulnerabilidade/fragilidade, por isso mesmo, os solos mais evoluídos e bem drenados, como os Latossolos, recebem os menores índices.

Os Argissolos são profundos ou pouco profundos, de bem a moderadamente drenados, acontecendo ocasionalmente solos rasos, com transição abrupta e argila de atividade alta, além de solos com teores variáveis de cascalho e estrutura em blocos subangulares e angulares (AMARAL et al., 2004).

De acordo com Rassi et al. (2017), os solos predominantes na região de Patos de Minas, MG são classificados como Latossolos, além de serem encontrados Cambissolos, Argissolos e Neossolos, que são solos susceptíveis a ocorrência de processos erosivos, o que também foi observado neste estudo.

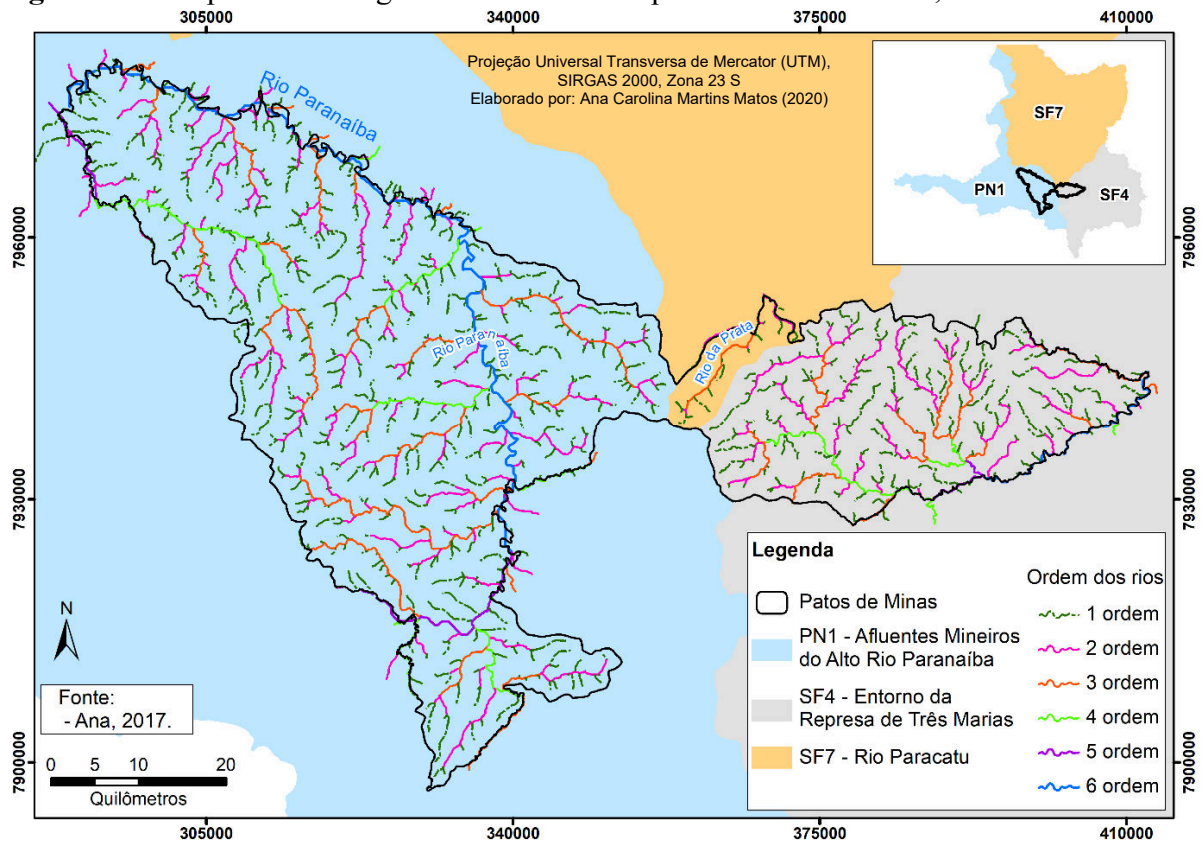
5.6 HIERARQUIA FLUVIAL/HIDROLOGIA

Em relação às ordens dos cursos d'água (hierarquia fluvial) situados no limite territorial do município de Patos de Minas, MG, observou-se que a maioria dos córregos é de 1ª (45,33% do total da área) e de 2ª ordem (25,20%), enquanto a minoria é de 5ª ordem (2,20%) (FIGURA 12, TABELA 19).

Os rios mais importantes da área são o Paranaíba (6ª ordem) e o da Prata (3ª ordem), que apresentam o maior volume de água que abastecem a região. De acordo com Bernardi et al. (2012), o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exutório, sendo que a partir deste momento, o volume de água passa a fazer parte de outra bacia hidrográfica maior ou do oceano.

Na Tabela 19 são quantificadas as quantidades de curso d'água e as ordens dos córregos, ribeirões e rios existentes na região, sendo observado que existem 3.174 cursos d'água situados no município. É importante ressaltar que Patos de Minas, MG está inserido no limiar de duas bacias hidrográficas de alta relevância, sendo a Bacia do Rio Paraná e a Bacia do Rio São Francisco, com a área urbana do distrito-sede localizada em totalidade na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, sendo este afluente da região hidrográfica do rio Paraná (SILVA, 2019).

Figura 12 – Mapa de hidrologia da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 19 – Hierarquias fluviais atribuídas a área de Patos de Minas, MG.

Cursos d'água		Área do mapa
Ordem	Quantidade	%
--	--	%
1 ^a	1.439	45,33
2 ^a	800	25,20
3 ^a	499	15,72
4 ^a	168	5,29
5 ^a	70	2,20
6 ^a	198	6,25
Área total	3.174	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

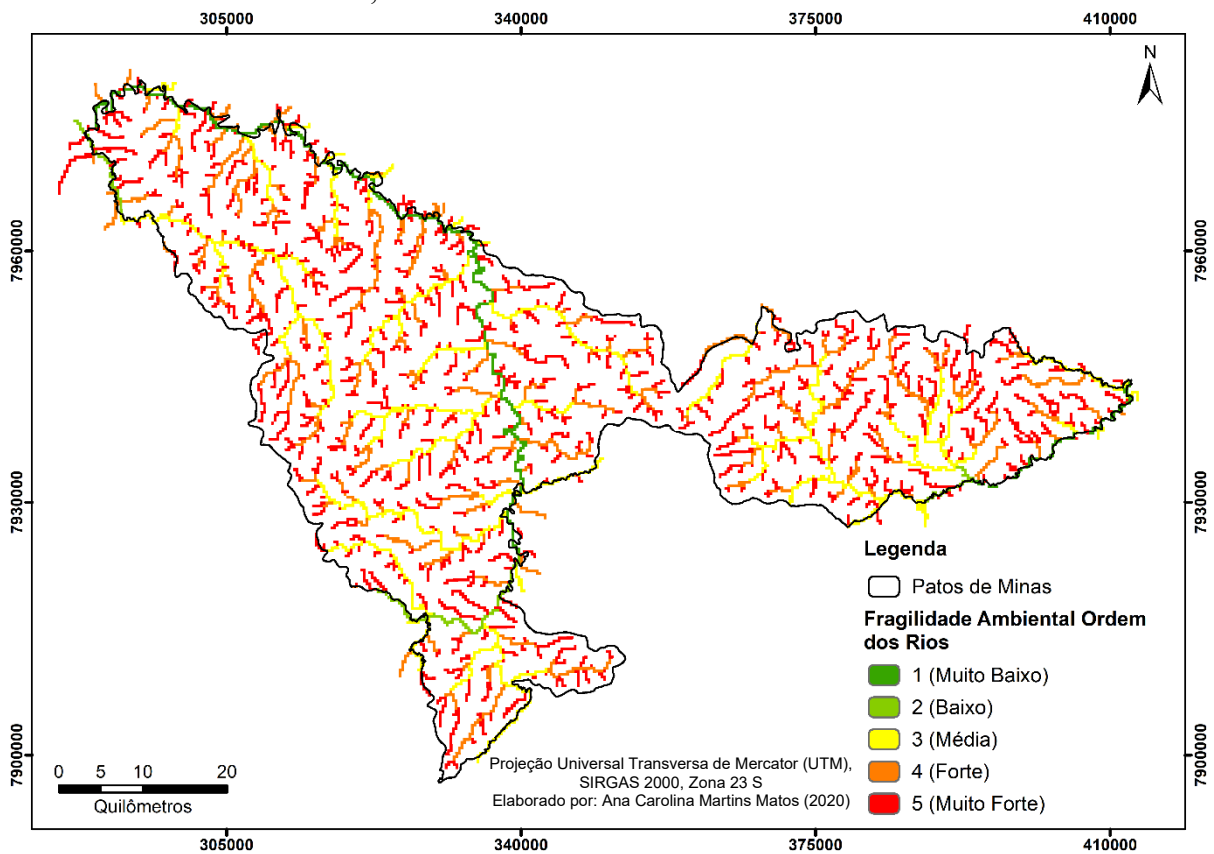
Com base nos conceitos descritos por Christofolletti (1980), Vitte; Villela Filho (2006), a fragilidade potencial do relevo será cada vez maior em relação à participação percentual de canais de 1^a ordem, uma vez que a drenagem de 1^a ordem está intrínseca a uma maior instabilidade do ambiente, já que são os cursos d'água iniciais que dão origem aos demais e

onde os processos morfodinâmicos associados à dissecação são mais intensos, além de serem os pontos em que se localizam as nascentes.

Diante tal premissa e após a consulta de outros estudos semelhantes, o mapa de fragilidade ambiental da hierarquia fluvial da área do município de Patos de Minas, MG foi incorporado neste trabalho devido ao fato de se perceber a sua importância no contexto de uma análise conjunta com os demais valores de fragilidade da declividade, solos, geologia e pluviosidade, uma vez que a ordem dos cursos d'água afeta diretamente na movimentação das formas de relevo (FIGURA 13, TABELA 20).

Na área de estudo analisada, os canais de 1ª ordem configuram-se associados especialmente às zonas de maiores altitudes, visto que nas nascentes o volume de água ainda é pequeno. França (2018) observou para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha (MG) nas maiores cotas altimétricas, o maior número de canais de primeira ordem, que, por conseguinte, apresentam uma maior suscetibilidade e/ou vulnerabilidade a processos morfogenéticos, corroborando com este estudo.

Figura 13 - Mapa de fragilidade ambiental da hierarquia fluvial da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 20 - Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator hierarquia fluvial.

Ordem	Hierarquia fluvial		Área do mapa	
	Quantidade	Valor	Classe	%
6 ^a em diante	198	1	Muito baixo	6,25
5 ^a	70	2	Baixo	2,20
3 ^a e 4 ^a	667	3	Médio	21,01
2 ^a	800	4	Alto	25,20
1 ^a	1.439	5	Muito alto	45,33
Total	3.174	--	--	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tem-se que os canais de 1^a ordem correspondem a sistemas naturais que apresentam maior fragilidade, levando em consideração o aspecto que representa os pontos de erosão regressiva dos perfis longitudinais. Ligado a este fato, as cabeceiras correspondem a pontos de exfiltração do aquífero, abastecendo os canais fluviais, fato que deveria ocasionar uma preocupação ambiental extrema por parte de planejadores urbanos. Com o aumento da densidade urbana somado a um maior escoamento da água superficial, pode ocorrer a intensificação de processos erosivos nas cabeceiras de drenagem, desencadeando maior assoreamento para os canais, podendo derivar em situações de enchentes ou mesmo na instabilidade das construções (VITTE; VILLELA FILHO, 2006).

5.7 PLUVIOSIDADE

As classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator pluviosidade foram determinadas com base no levantamento das características climáticas da região, em que foi observado que os dados analisados se enquadram em um único nível hierárquico de classificação, sendo 3 (médio), que apresenta uma situação com precipitação anual distribuída desigualmente, com períodos de seca entre 2 e 3 meses no inverno, no verão apresenta maiores intensidades de dezembro a março, com volumes de 1.300 a 1.600 mm/ano (TABELA 5). Com base nas considerações de Ross (1994, 2012), não foram elaborados mapas de pluviosidade, nem de fragilidade para essa variável.

Conforme Motta; Baruqui; Santos (2004) e Novais (2011), a precipitação média anual no município é de 1.476 mm/ano, sendo janeiro o mês mais chuvoso (306 mm) e junho o de

menor precipitação (09 mm), com temperatura média anual de 22,5° C, sendo outubro o mês mais quente (24,0° C) e julho o mais frio (19,2° C).

Em relação à classificação de Koppen-Geiger, o clima de Patos de Minas, MG é considerado tropical de savana (Cerrado) com estação seca no inverno (Aw), tipo de clima predominante no estado de Minas Gerais (REBOITA et al., 2015).

Além de influenciar na modelagem da terra, o clima é responsável pelos ventos, temperaturas e precipitações (NOVAIS, 2011), que se relaciona com a disponibilidade de água, alterando o seu ciclo.

De acordo com Novais (2019), a pluviosidade de um local é influenciada pelas características geográficas que podem potencializar ou minimizar os fatores climáticos, pois em uma mesma zona de circulação atmosférica, uma área pode ser mais ou menos chuvosa do que outra, relacionada à sua posição, no que diz respeito aos sistemas produtores de chuva, da orientação do relevo, assim como da proximidade do mar.

Tem-se que enquadrar uma única classificação hierárquica para a pluviosidade em uma região é um fator recorrente em estudos que utilizam tal variável para analisar a fragilidade ambiental.

Resultados semelhantes foram observados por Silva et al. (2013) analisando a fragilidade ambiental da área de proteção ambiental (APA) municipal das nascentes do rio APA, sendo nesse caso média e por Valle; Francelino; Pinheiro (2016) na avaliação da fragilidade da bacia do rio Aldeia Velha, RJ, em que se encontrou fragilidade forte.

Crepani et al. (2001) destacam que as principais características físicas das chuvas relacionadas aos processos de movimentação de solos ou erosões, são a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade ou intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Entretanto, para avaliações mais detalhadas, é necessário a análise da intensidade pluviométrica, ou seja, a relação entre a quantidade de chuva e quando chove, determinando a quantidade de energia potencial disponível para se transformar em energia cinética.

A ação das chuvas pode ser considerada o fator erosivo principal em regiões tropicais ou subtropicais úmidas (PANAGOS et al., 2017). Através de mapeamento da erosividade global, os mesmos autores examinaram áreas em todo o globo em que a chuva tem maior potencial de acarretar movimentação do solo, constatando que elas se concentram na faixa tropical do planeta, principalmente nos países da América do Sul, sendo a maior parte dessas áreas no Brasil.

Freitas et al. (2001) e Almeida et al. (2011) constataram que a variabilidade da erosividade acompanha a da precipitação, levando em consideração que existe uma correlação

expressiva entre a precipitação e o índice de erosividade. Corroborando com esses dados, Spörl; Ross (2004), citam que os valores das características pluviométricas podem ser considerados representantes da erosividade da chuva, de maneira que se pode dizer que quanto maiores os valores da distribuição pluviométrica, maior é a erosividade da chuva.

A erosividade da chuva depende também da intensidade na qual acontece, bem como da sua energia cinética, que determinam a erodibilidade das gotas de chuva sobre a superfície do solo (ARAI et al., 2010). Contudo, as técnicas de espacialização, através dos sistemas de informações geográficas (SIGs), viabilizam a análise do modo como as precipitações se distribuem no espaço, bem como a associação com múltiplos fatores do ambiente, permitindo estudos mais abrangentes, com rapidez e precisão (FREITAS et al., 2001).

5.8 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

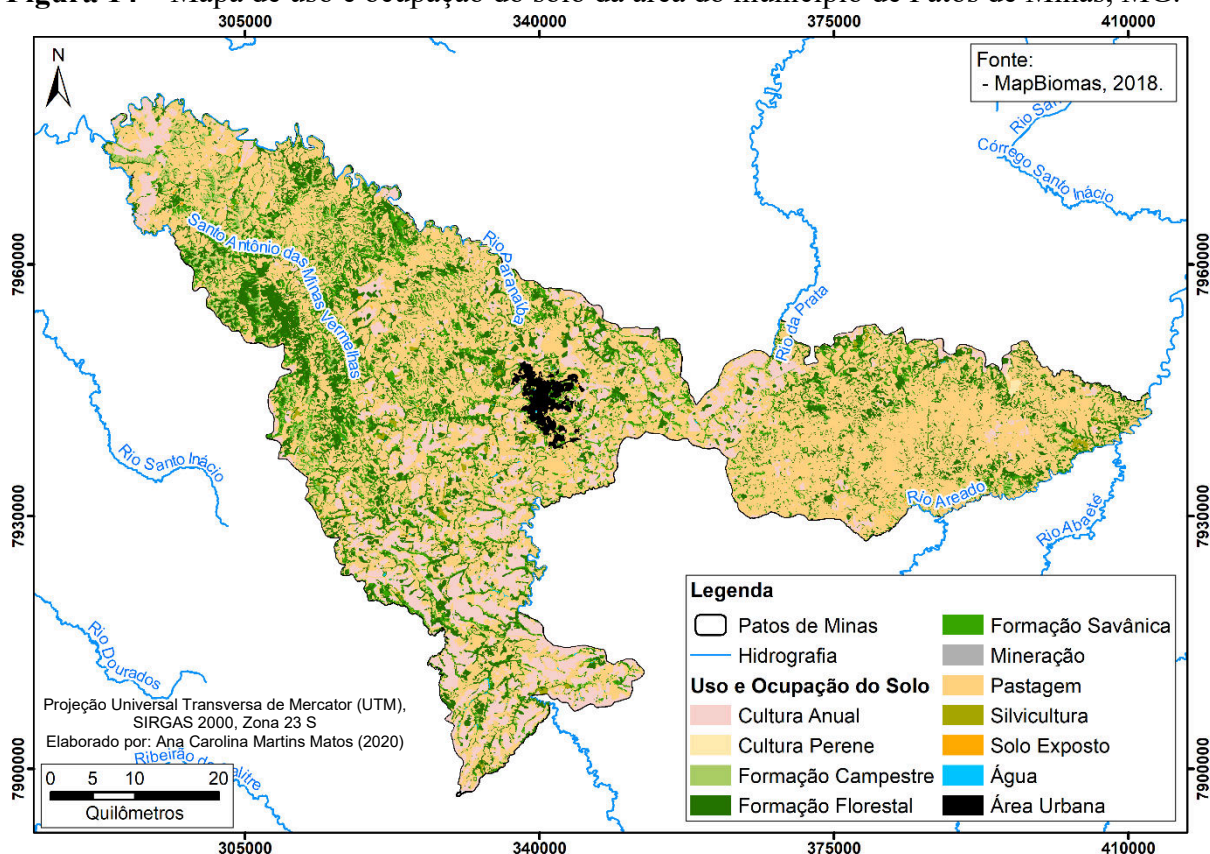
O mapa de uso e ocupação do solo reflete todas as atividades antrópicas que estão sendo realizadas na área, sendo que na região fica evidenciado que a maior parte está ocupada com pastagens (FIGURA 14), abrangendo 1.810,84 km² ou 56,79% da área total, que teve classe de fragilidade potencial classificada como média.

De acordo com o IBGE (2010), Patos de Minas, MG é a cidade de maior expressividade em sua microrregião, onde as atividades industriais e agrossilvipastoris são importantes. Atualmente, o município é reconhecido pelas atividades agrícolas e pecuárias, sendo o cultivo de milho, soja e café, a bovinocultura leiteira e a suinocultura, significativos economicamente para a região.

Na Tabela 21 são listados os valores quantificados de todos os usos e ocupação do solo, onde foi observado que 14,11% da área são ocupadas por culturas anuais, 15,81% por formação florestal e 9,42% por formação savânica, com somente 1,06% de área urbana.

No município, 17,75% da área total é formada por vegetação nativa (formação florestal + campestre), que ficam situadas principalmente nas calhas dos cursos d'água, formando as matas de galeria ou ciliares, que são áreas de preservação permanentes definidas pela legislação ambiental vigente (Lei Federal nº 12.651/2012). A presença de atividades agropecuárias ocorre em 71,01% da área, demonstrando de forma representativa o uso e ocupação do solo no município, o que reflete a constituição da paisagem na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Figura 14 – Mapa de uso e ocupação do solo da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 21 – Quantificação dos usos na área do município de Patos de Minas, MG.

Classes de uso e ocupação do solo	Área do mapa	
	km ²	%
Culturas anuais	450,06	14,11
Culturas perenes	3,35	0,11
Área Urbana	33,77	1,06
Água	2,44	0,08
Pastagens	1810,84	56,79
Solo exposto	4,01	0,13
Silvicultura	17,58	0,55
Mineração	0,001	0,001
Formação campestre	62,08	1,94
Formação florestal	504,41	15,81
Formação savânica	300,36	9,42
Área total	3.188,915	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Esta pequena porcentagem de mata nativa (17,75%) pode ser justificada pela interiorização do capital pela pecuária e a agricultura extensiva a partir da década de 1960 e as seguintes, quando foi iniciada uma rápida e desordenada ocupação da região do Cerrado, com base em exploração extrativista e de maneira predatória (IBAMA, 2009).

Tem-se ainda no município parcelas de solo exposto, abrangendo apenas 0,13% da área total e mineração em somente 0,0001% da área. Ambos os tipos de ocupação do solo são extremamente degradantes e suscetíveis a processos erosivos, já que não possuem cobertura vegetal e seus sistemas radiculares, que amenizam o impacto das águas da chuva no solo.

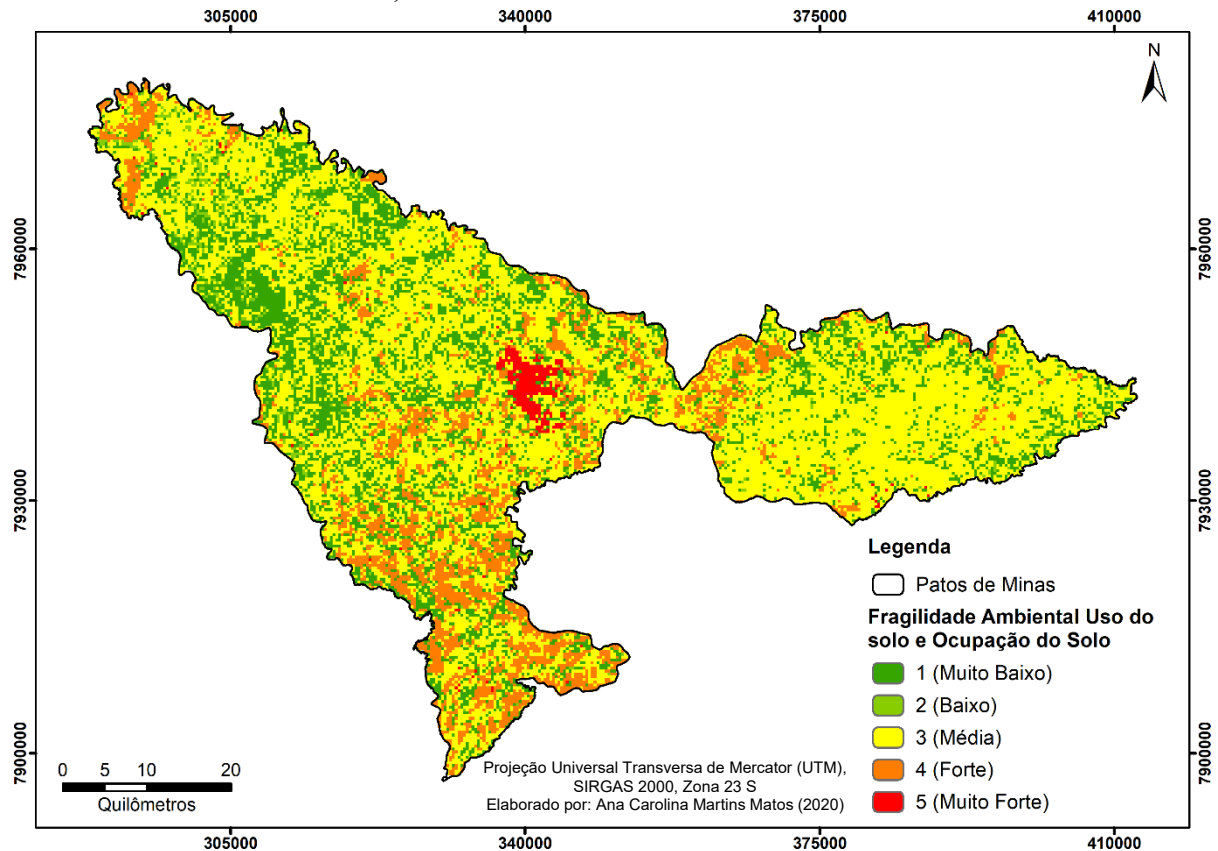
Esta falta de cobertura vegetal tornam as áreas propensas a sofrerem com a formação de processos erosivos, movimento de solo/lixiviação, enxurrada e assoreamento de corpos d'água, por isso mesmo, tais tipos de ocupação merecem atenção em relação a projetos de recuperação e recomposição, já que os solos não devem ficar diretamente expostos as intempéries, além da mineração ser o tipo de atividade antrópica com maior potencial degradador ao meio.

A partir das atividades realizadas na área do município e os tipos de cobertura do solo presentes no mesmo, foi possível avaliar a estrutura do mapa da fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo da área (FIGURA 15), onde pode ser constatado que 57,34% apresenta fragilidade média, ocupada pelas pastagens e plantio de eucaliptos, sendo que 14,22% tem fragilidade alta (TABELA 22), que compreende as atividades de cultivos anuais e perenes.

Para Nascimento et al. (2016), a interação de alguns componentes físico-naturais da paisagem com as informações resultantes do uso do solo, indica os graus de fragilidade das unidades, ou seja, apresentam as áreas em estado de equilíbrio e desequilíbrios pela ação antrópica, conforme está sendo comprovado neste estudo.

Os tipos de cobertura do solo classificados como água e área urbana não são relevantes para a identificação da fragilidade ambiental, não sendo descrita na metodologia proposta por Ross (1994, 2012), visto que tal condição está ligada à relação pedogênese x morfogênese, sendo que essa análise é inviável em áreas urbanas dadas as dificuldades em identificar tais processos, bem como nos recursos hídricos, porém, por serem áreas essenciais à sobrevivência, foram classificadas como de fragilidade muito alta.

Figura 15 – Mapa de fragilidade ambiental do uso e ocupação do solo da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 22 – Classes de fragilidade ambiental atribuídas ao fator uso e ocupação do solo.

Tipo de cobertura	Graus de proteção	Fragilidade		Área do mapa	
		Valor	Classe	km ²	%
Formação florestal e savânica	Muito alta	Muito baixo	1	804,77	25,23
Formação campestre	Alta	Baixo	2	62,087	1,94
Pastagem, Silvicultura	Média	Médio	3	1.828,42	57,34
Cultura anual e perene	Baixa	Alto	4	453,42	14,22
Solo exposto, água, área urbana, mineração	Muito baixa	Muito Alto	5	40,23	1,27
Área total	--	--	--	3.188,91	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A mineração é a atividade antrópica com maior potencial degradador, uma vez que causa impacto significativo ao meio ambiente, já que quase sempre o desenvolvimento dessa atividade implica na supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além

de causar a poluição do ar, dentre outros aspectos negativos (MECHI; SANCHES, 2010). Dessa forma Ross (2012), classifica a atividade com o maior valor de fragilidade.

As atividades de culturas anuais e perenes, que se enquadram no grau de fragilidade alto, estão presentes de forma esparsa no município, sendo as culturas mais comuns, a soja, o milho e feijão, que estão presentes nas áreas com menor declividade na região, especialmente onde se tem os Latossolos, de maior profundidade e mais permeáveis (FUSHITA et al., 2011).

A cafeicultura também está presente no município, principalmente na variação café arábica, contudo, o plantio de café exige algumas características específicas além do relevo e tipo de solo, como ser plantado em áreas com altitude entre 600 e 1.200 m, em solos profundos, assim como a temperatura média de aptidão para o cafeeiro arábica está entre 18°C e 23°C (MESQUITA et al., 2016). Dessa forma, algumas lavouras de café estão dispersas pela área, localizadas principalmente mais ao sul da região.

As áreas de pastagem são predominantes no município, que se enquadram na fragilidade média, pois a região é considerada a maior bacia leiteira da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, produzindo 152,8 milhões de litros de leite anualmente (IBGE/PPM, 2017).

Tal atividade é realizada nos solos não propensos ao desenvolvimento de plantio de culturas, sendo em áreas pouco mais declivosas e com a presença de solos mais novos como Neossolos e Cambissolos, esses rasos (BONNA, 2011) e Argissolos, ocasionalmente solos rasos, além de possuir teores variáveis de cascalho e estrutura em blocos subangulares e angulares (AMARAL et al., 2004).

As áreas cobertas por silvicultura são de média fragilidade, pois é um tipo de vegetação não endêmica, que é utilizada tanto para o corte e obtenção de madeira, assim como para recuperação de áreas com vegetação suprimida. Entretanto, por não ser uma espécie nativa brasileira, há vantagens e desvantagens no seu plantio, como seu crescimento rápido, fácil adaptação e a falta de competição com outras espécies (MOTTA; SILVA; DINIZ, 2010). Porém, não é uma espécie natural da região, por isso sua maior fragilidade mesmo que forme estrato arbóreo protegendo a superfície do solo.

Já as áreas cobertas por vegetação endêmica do Cerrado, que são os remanescentes de vegetação nativa, sendo as formações campestre, em sua maioria composta por estrato herbáceo e arbustivo e florestal e savânica, onde tem a presença de estrato arbóreo, são de fragilidades baixa e muito baixa, respectivamente, de modo que se pode inferir que quanto mais densa a cobertura vegetal, menor a fragilidade ambiental da área, estando a vegetação

presente nas áreas mais declivosas, como topos de morros e calhas de cursos d'água, que se configuram como áreas de preservação permanente (APP).

5.9 FRAGILIDADE AMBIENTAL POTENCIAL

5.9.1 Processo de hierarquia analítica ou (*analytic hierarchy process* (AHP))

Cada mapa e dados elaborados (declividade, pedologia, geologia, hierarquia fluvial e pluviosidade), feitos através da ferramenta de álgebra de mapas em ambiente SIG, foi convertido em índice de fragilidade, que foi efetivado através da análise de confronto entre os fatores, para a geração dos pesos de importância, para geração da matriz matemática da comparação pareada entre os parâmetros analisados (TABELA 23).

Os níveis de importância para a matriz de comparação par a par foram definidos com base em diversos estudos realizados utilizando dessa mesma metodologia. Obteve-se como fator de maior peso (w) relevância nesta avaliação de fragilidade ambiental, a declividade do terreno representando 37,56% de importância para a avaliação multicritério, seguida respectivamente da pluviosidade (29,94%), hierarquia fluvial (19,05%), classes de solo (10,90%) e com o menor peso, os domínios geológicos (2,55%).

É importante destacar que tais pesos (w) são calculados a partir da soma dos valores encontrados em cada linha da matriz de comparação pareada, sendo estes divididos pela soma total da coluna que abrange todas as somas relacionadas aos cinco critérios. Cada peso então é multiplicado por 100, resultando em valores de porcentagens.

Tabela 23 – Matriz de comparação entre os parâmetros pedologia (PD), declividade (DV), geologia (Geo), pluviosidade (PL), hierarquia fluvial (HF) e o peso calculado (PC) para a área avaliada.

Matriz de Comparação Pareada								
Critérios	PD	DV	GE	PL	HF	Total	PC	%
PD	1,00	1/7	5,00	1/5	1/3	6,6761	0,1090	10,90
DV	7,00	1,00	9,00	3,00	3,00	23,0	0,3756	37,56
Geo	1/5	1/9	1,00	1/9	1/7	1,5650	0,0255	2,55
PL	5,00	1/3	9,00	1,00	3,00	18,3333	0,2994	29,94
HF	3,00	1/3	7,00	1/3	1,00	11,6666	0,1905	19,05
Total	16,2	1,9	31,0	4,6	7,5	61,241	1,0	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A declividade do terreno (37,56%) foi o fator de fragilidade ambiental mais expressivo, com isso recebeu o maior peso, uma vez que, dentre as variáveis ambientais em análise, é o que tem relação direta com os processos erosivos, movimentação de massas e o escoamento superficial das águas.

Resultados semelhantes foram encontrados por França (2018), para a bacia do Vale do Jequitinhonha (MG) (45,8%), assim como por Silva et al. (2016), para região do Alto Paranaíba (MG), em que a declividade obteve o maior peso de importância calculado (56,3%).

Quanto ao fator pluviosidade (29,94%), este foi o que apresentou a segunda maior importância de fragilidade ambiental. Isto se deve a relação estreita sobre os fatores declividade e solos, sendo estes passivos e a pluviosidade agente ativo sobre os mesmos nos processos de escoamento superficial e/ou favorecimento de erosões.

O fator hierarquia fluvial (19,05%), foi o terceiro de maior importância, sendo que o mesmo está relacionado à predominância de canais de 1ª e 2ª ordens. Tal resultado corrobora com Christofletti (1980), que destaca que quanto maior a participação percentual de canais de primeira ordem, maior deverá ser a fragilidade potencial do relevo, uma vez que a drenagem de primeira ordem aponta uma maior instabilidade do ambiente, assim como representa os setores de desenvolvimento em que os processos morfodinâmicos associados à dissecação são mais intensos.

O fator solo, mesmo que esse seja o elemento que sofra ação erosiva de forma direta, tem também relação direta com a fragilidade ambiental, entretanto, neste estudo teve peso de relevância pouco incisiva (10,90%). Tal fato pode ser justificado pela escala de mapeamento utilizada, desenvolvida para o estado de Minas Gerais, de modo que o nível de detalhamento das classes de solos não permitiu afirmações mais precisas acerca das fragilidades envolvidas.

Os domínios geológicos possuíram participação percentual pouco relevante na análise AHP (2,55%), uma vez que mesmo que seja a base de todos os outros fatores físicos analisados, é um fator sob predominância de uma condição considerada mais estática, quando comparada aos demais.

5.9.2 Razão de consistência e índice de consistência

O cálculo do índice (IC) e razão de consistência (RC) da avaliação AHP concretizada no estudo se deu posterior ao cumprimento dos procedimentos de estruturação da matriz

principal comparativa, sua normalização e cálculo de autovetores necessários para encontrar-se o IC e RC (TABELA 24).

Tabela 24 – Matriz comparativa do grupo de critérios com valores não fracionados (pedologia (PD), declividade (DV), geologia (Geo), pluviosidade (PL) e hierarquia fluvial (HF)) entre os parâmetros avaliados.

Crítérios	PD	DV	Geo	PL	HF
PD	1,00	0,14	5,00	0,20	0,33
DV	7,00	1,00	9,00	3,00	3,00
Geo	0,20	0,11	1,00	0,11	0,14
PL	5,00	0,33	9,00	1,00	3,00
HF	3,00	0,33	7,00	0,33	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Posteriormente, realizou-se o cálculo de Eigen (λ_{Max}), sendo esse obtido através da função `matriz.mult` no *software* Excel, que retorna o produto de duas matrizes da matriz, de modo que o valor de λ_{Max} é 6,0758.

Para verificar se os dados são consistentes, encontrou-se o índice de consistência (IC), conforme apresentado na equação 1:

$$IC = \lambda_{Max} - n / (n - 1) = 6,0758 - 5 / (5 - 1) \Rightarrow IC = 0,0992 \quad (1)$$

De maneira a averiguar se o valor do IC encontrado é adequado, aplicou-se a equação 2 para verificar a RC, que consiste na divisão entre o IC e o índice randômico (IR), este verificado na Tabela 10 de Saaty (2005). Conforme a dimensão da matriz (n), neste caso n=5, verifica-se um IR de 1,12, aplicável à equação da RC:

$$RC = IC / IR = 0,0992 / 1,12 \Rightarrow RC = 0,08858 \quad (2)$$

A RC encontrada foi de 0,08858, que se situa dentro dos limites aceitáveis (0,1) determinados por Saaty (1990). As comparações efetivadas neste trabalho foram coerentes e geraram resultados confiáveis, confirmando que a matriz foi preenchida de maneira aleatória, logo, consistente.

Estudos semelhantes foram realizados por Schimidt; Barbosa (2016), que também encontraram valores considerados satisfatórios para fragilidade ambiental de bacias

hidrográficas, pois obtiveram consistência para matriz de comparações com as variáveis: precipitação, tipo de solo, uso do solo e declividade, encontrando uma RC de 0,0324, enquanto Gonçalves; Araújo; Imai (2016) e França (2018) encontraram em matriz de comparação pareada, uma RC de 0,016 e 0,0781, respectivamente, atestando a coerência na hierarquização dos dados analisados.

5.9.3 Obtenção do mapa final de Fragilidade ambiental potencial (FAP)

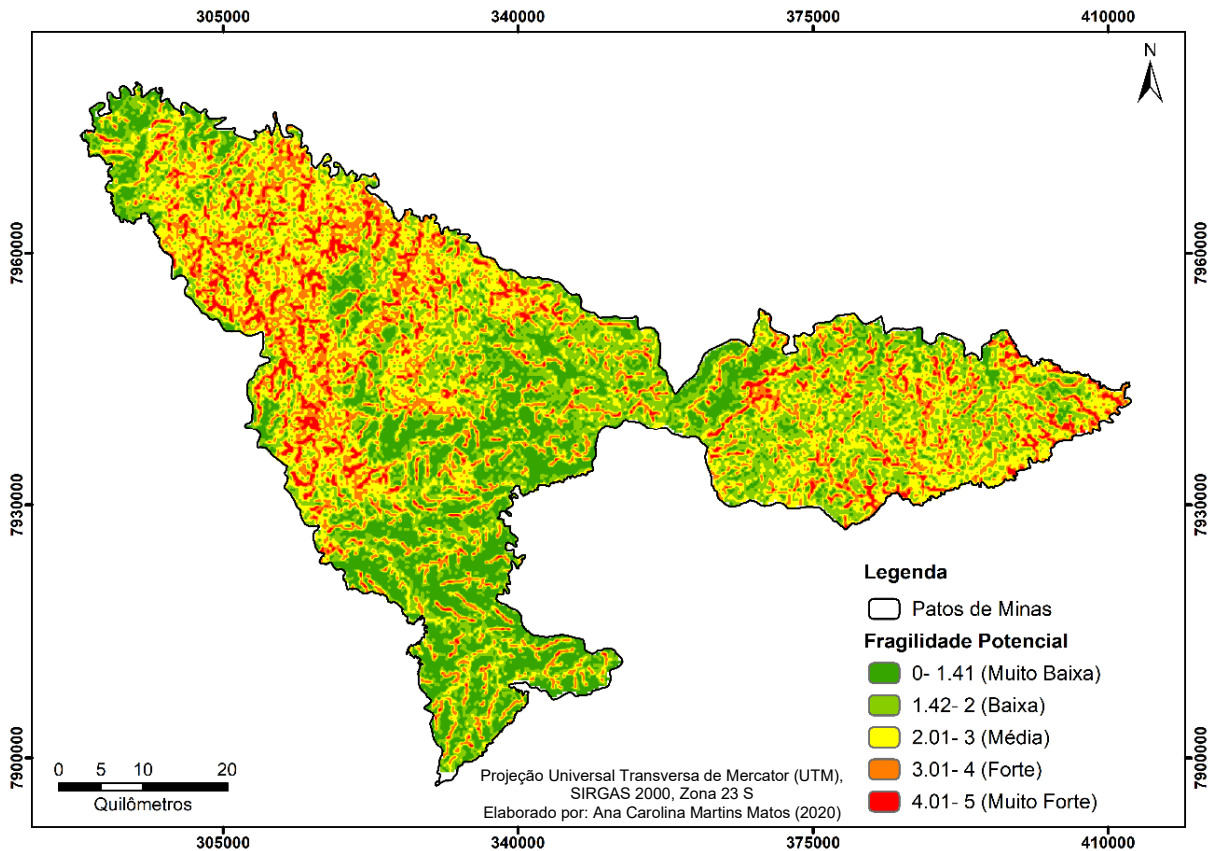
Os mapas e dados gerados de declividade, pluviosidade, hierarquia fluvial, classes de solos e domínios geológicos orientam de forma direta e indireta a análise da fragilidade ambiental potencial, que foram hierarquizados conforme os respectivos pesos de fragilidade para a derivação do mapa temático de FAP do município de Patos de Minas, MG, onde este ilustra as cinco classes de fragilidade ambiental, sendo as áreas em vermelho indicando risco iminente para atividades antrópicas, representado os valores extremos de fragilidade ambiental, enquanto que áreas em coloração verde mais claro e verde apontam as áreas de menores fragilidades (FIGURA 16).

Com a quantificação das áreas do FAP, constatou-se a maior porcentagem de áreas sob fragilidade média, abrangendo 29,74% da área de estudo, o que corresponde a 948,38 km² da área do município. Em contrapartida, a fragilidade muito alta apresenta-se em menor proporção, totalizando a 7,64% da área total, correspondente a 243,64 km². No que se refere ao restante da área, 15,88% são terrenos sob alta fragilidade, 24,05% baixa e 22,69% muito baixa fragilidade (TABELA 25).

Quando somados ao fator solos, tem-se que as áreas com elevada fragilidade apresentam Argissolos, Cambissolos e Neossolos, caracterizados de média a muito alta fragilidade. Ainda, tem-se a participação na influência da maior fragilidade, a hierarquia fluvial, composta de forma expressiva pelas drenagens de 1^a e 2^a ordens, classificadas como as mais frágeis, elucidados pela existência de manchas de fragilidade forte e muito forte associadas a projeção dos cursos d'água, como também observado nos estudos de Alves; Scopeel; Martins (2017) e França (2018).

Esse resultado implica na relevância da cobertura florestal nas encostas das calhas de cursos d'água, sendo que tal vegetação configura as áreas de preservação permanente (APP), que de acordo com a Lei nº 12.621, de 25 de maio de 2012, são voltadas para a preservação dos recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, bem como facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger os solos e assegurar o bem-estar social.

Figura 16 – Mapa de fragilidade ambiental potencial da área do município de Patos de Minas, MG.



Fonte: Do autor (2020).

Tabela 25 – Classes de fragilidade ambiental potencial da área do município de Patos de Minas, MG.

Classes	Área do mapa	
	km ²	%
1	723,56	22,69
2	766,93	24,05
3	948,38	29,74
4	506,40	15,88
5	243,64	7,64
Área total	3.188,915	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para França (2018), todo o entendimento da fragilidade ambiental natural está direcionado ao entendimento da relevância da cobertura vegetal sobre os solos, de modo que, para um ambiente naturalmente frágil é extremamente importante a necessidade de conservação e/ou proteção da cobertura vegetal, independente da sua densidade e os processos

ecológicos envolvidos, com exceção das coberturas vegetais temporárias de cunho comercial, nas quais se tem revolvimentos frequentes da estrutura da camada fértil de solo.

Como a cobertura do solo é um fator de proteção da paisagem contra os processos morfogênicos, que se traduzem como erosões, Crepani et al. (2001), ponderam valores atribuídos para altas densidades de cobertura vegetal, próximos da estabilidade, na escala de vulnerabilidade, assim como Ross (1994), que considera em estudos de fragilidade ambiental, grau muito alto de proteção para terrenos com coberturas vegetais densas, incluindo as coberturas densas de caráter comercial, como as florestas plantadas.

A vegetação possui um papel importante quanto a estabilização dos solos sobre os terrenos de elevada fragilidade ambiental. Para Valente; Vettorazzi (2005), a fragmentação florestal realizada pelo homem é uma das principais causas de modificações, tanto na estrutura, quanto nos processos de paisagens, de forma que a priorização de áreas é um dos métodos mais econômicos e de maior eficiência para o planejamento, promovendo a otimização e o sucesso de ações de conservação e preservação florestal, que objetivam o incremento da biodiversidade regional.

Quando o solo se encontra protegido pela cobertura vegetal, o escoamento das águas que alcança a superfície do solo é lento e parte dessa água é interceptada pela cobertura florestal, bem como pela serapilheira. Miyata et al. (2009), em uma comparação dos valores de erosão anual em parcelas com diferentes tratamentos, verificou que naquelas com o chão coberto, as chances de desprendimento do solo por gotas de chuva diminuíram em 95%, comprovando assim a relevância de material orgânico sobre o solo.

Para a cobertura florestal, em resultados de fluxo de atravessamento, elaborados por Togashi; Montezuma; Leite (2012), averiguou-se que existe um aumento de interceptação com o avanço do estágio sucessional da vegetação, o que aponta a importância da preservação florestal para garantir uma interceptação mais eficiente das águas da chuva.

Quando o declive do solo aumenta, de ondulado à forte montanhoso, tem-se as maiores fragilidades, o que favorece a elevação do escoamento superficial e conseqüentemente a diminuição da taxa de infiltração de água no solo, bem como o maior escoamento da água. Tal fator pode então propiciar o surgimento de processos erosivos, resultando no aparecimento de sulcos, ravinas e voçorocas.

As unidades de fragilidade potencial se associam aos ambientes com estabilidade, abarcando condições de equilíbrio dinâmico, ou seja, que em suas estruturas e funcionamentos, sofreram menos pela ocupação das atividades antrópicas. Mesmo que possuam condições de ambientes estáveis, devido as suas características naturais e ao

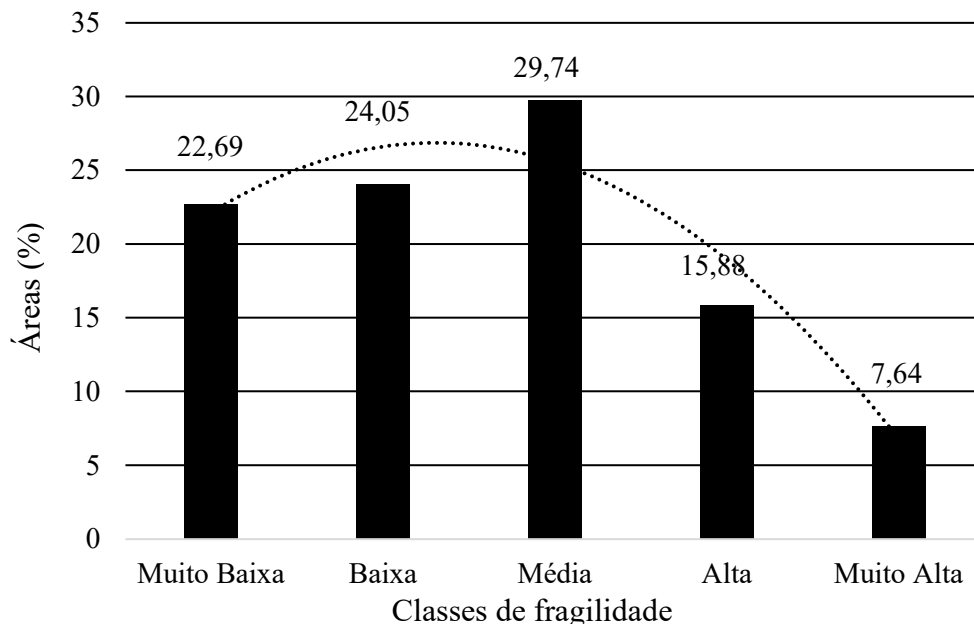
desenvolvimento das atividades humanas, apresentam instabilidade potencial qualitativamente previsível (SANTOS et al., 2013).

A desestabilização do ecossistema pode ser induzida seja por processos naturais, que foi o padrão considerado neste estudo, quanto pelas ações antropogênicas, ou seja, devido as interferências do homem que afetam um ambiente sob determinada fragilidade natural. Assim, têm-se os principais e mais frequentes riscos ao meio, as erosões, deslizamentos de encostas declivosas, assoreamento de cursos hídricos, dentre outros, que levam a perda da biodiversidade, qualidade ambiental dos solos e cobertura vegetal (FRANÇA; PIUZANA; ROSS, 2017).

Tais fatores estão em concordância com as percepções de Tricart (1977), quando este ressalta a relevância de se identificar a instabilidade de um ambiente em projetos de planejamento ambiental e também com Ross (1994), ao ponderar a importância do estudo interligado de elementos que compõem o estrato geográfico.

Graficamente, através da relação das classes de fragilidade com a porcentagem de área do município de Patos de Minas, MG, pode ser verificado a maior predominância da classe de média fragilidade (FIGURA 17).

Figura 17 – Relação das áreas e classes de fragilidade (%), com representação de linha de tendência do tipo polinomial.



Fonte: Do autor (2020).

Nos locais de fragilidade maior, é possível associar os pontos em que a probabilidade de ocorrer processos de degradação é elevada, de modo que se tem 23,52% da área do

município abrangendo as classes alta e muito alta, em que o fator de declividade possui grande influência na determinação dessas zonas mais frágeis.

Quanto à classe de fragilidade predominante, compreendendo 29,74% da região, esta é a média, influenciada de forma direta pela ocupação humana, fato que permite inferir que a permanência nessa classe de fragilidade é intermitente, respondendo a análise da fragilidade emergente de diversas formas.

Em seu estudo, Nascimento et al. (2016) elaboraram o mapa de vulnerabilidade ambiental da microbacia do ribeirão Candidópolis, onde observaram que 86% da área que se localiza no estado de Minas Gerais predominaram as classes de fragilidade média (54,35%) e forte (33,74%), destacando que nestas áreas predominam os Latossolos, solos mais evoluídos e bem drenados, que receberam atribuição do índice 1, os Cambissolos e Neossolos, que recebem índice 4 e os Gleissolos, de índice 5.

Já Donha, Souza; Sugamoto (2006) na região de Pinhais-PR e Miara; Oka-Fiori (2007) em Ponta Grossa-PR, observaram que ocorre a presença de Latossolos em 71,7 e 72,1%, em uma área de aproximadamente 430 e 102 hectares, respectivamente, em que avaliaram a fragilidade potencial e a classificaram como fraca, o que indica que as áreas são menos sujeitas a processos erosivos.

Miguel; Medeiros; Oliveira (2013) verificaram que a categoria média se relaciona a uma instabilidade morfodinâmica distinguida pela erosão laminar fraca a média, responsável pela remoção parcial dos horizontes superficiais dos solos e pela presença de sulcos erosivos localizados pelo escoamento semiconcentrado, o que aponta para ocupação antrópica no local.

Em relação às zonas com os graus de fragilidade ambiental potencial de Patos de Minas, MG mais baixos, que compreendem 46,74% do município, tem-se que tal resultado corrobora com a ocorrência de uma combinação de Argissolos (média fragilidade) e Latossolos (baixa fragilidade), com a predominância de baixas declividades, tal qual no estudo desenvolvido por Nascimento et al. (2016), além do fator pluviosidade regular.

Tricart (1977) apresenta embasamentos que auxiliam na compreensão da fragilidade ambiental potencial (FAP), como as concepções de tratar das unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial em equilíbrio dinâmico com seu estado natural. Entretanto, existe uma instabilidade potencial com a possibilidade da intervenção antrópica, chamada de unidades ecodinâmicas de instabilidade emergente, que explica os ambientes naturais que foram alterados de forma intensa pelo homem através de desmatamentos, agriculturas, industrialização e urbanização.

Porém, Crepani et al. (2001) considera além destes embasamentos, que uma unidade de paisagem natural é estável quando os eventos naturais que nela acontecem beneficiam os processos de pedogênese, isto é, o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo, os quais se apresentam muito desenvolvidos, intemperizados e envelhecidos. Em contrapartida, uma unidade de paisagem natural pode ser considerada vulnerável quando os processos modificadores do relevo (morfogênese) prevalecem, havendo um predomínio dos processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento do solo.

Diante dos resultados apresentados, comprova-se que os estudos de fragilidade ambiental proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem adotadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental, assim como para fornecer subsídios à gestão do território (SPÖRL; ROSS, 2004), de modo que se configura como uma ferramenta importante para avaliações ambientais estratégicas, principalmente em casos de intervenções humanas e também na definição de áreas prioritárias à conservação ambiental.

Através da análise intrínseca dos dados considerados decisivos no mapeamento da fragilidade ambiental potencial, foi possível então entender a interação que existe entre os fatores empregados como critérios na determinação da fragilidade inerente ao município de Patos de Minas, MG. Todavia, é importante considerar que a área é heterogênea, composta por diferentes ocupações que necessitam de atenção diferenciada, seja por estarem localizados em terrenos com maior declividade, por serem áreas constituídas de solos mais suscetíveis à erosão, por possuírem menor disponibilidade hídrica, por apresentarem particularidades socioculturais, assim como a combinação de vários fatores.

Nesse contexto, fazendo uma relação entre os graus de fragilidade ambiental potencial e os possíveis cenários de degradação ambiental dos solos no município, podem ser elaboradas propostas de conservação, recuperação e uso sustentável dos recursos naturais, sendo algumas delas descritas a seguir (LAL, 1997; CASTRO; HERNANI, 2015), como base para o desenvolvimento de políticas públicas por meio de zoneamento do território, de acordo com suas potencialidades e fragilidades.

Em um cenário de fragilidade muito baixa, a suscetibilidade à degradação é considerada resistente, sendo o ambiente de alta resiliência, de modo que essas áreas são de rápida recuperação e tem o propósito de conservar os remanescentes florestais existentes. Já as áreas classificadas com fragilidade baixa, são ligeiramente suscetíveis a degradação, mas resilientes, de maneira que a recuperação da mesma pode ser feita através de técnicas convencionais de recuperação com manejo adequado.

Em relação aos locais que apresentam média fragilidade, de suscetibilidade à degradação moderada, por ser um ambiente moderadamente resiliente, é lentamente recuperável, tendo que ser adotado manejo correto de pastagens para a redução dos riscos de elevação da degradação do solo, cultivo mínimo agrícola, regeneração de pastos degradados, além de manejo adequado de florestas plantadas.

Quanto as áreas de fragilidade alta, por serem altamente suscetíveis a degradação, sua resiliência é classificada como ligeira ou baixa, sendo também lentamente recuperável, mesmo com a alteração de uso e ocupação do solo, fazendo uso de práticas conservacionistas em atividades agrícolas, assim como o reflorestamento com espécies nativas e o cercamento de áreas de preservação permanente.

Em um cenário de fragilidade muito alta, extremamente suscetível à degradação do solo, a resiliência do mesmo é baixa ou inexistente. São práticas de recuperação que podem ser adotadas para obter áreas de prioridade máxima para conservação e proteção, cumprir a legislação ambiental, no que tange ter áreas de preservação permanente, além de implementar áreas destinadas a conservação dos recursos naturais.

São de extrema importância as medidas de caráter preventivo, adotadas a partir do conhecimento da fragilidade ambiental, que perpassam pela introdução de técnicas agrícolas e silviculturais que ponderem o uso de práticas sustentáveis de conservação do solo, prevenção contra incêndios, bem como o manejo do ecossistema com base em estratégias de impacto ambiental minimizado, especialmente o cumprimento dos aspectos legais do novo Código Florestal para a conservação da fauna e flora e demais legislação ambiental inerente.

6 CONCLUSÕES

- Predominância do Latossolo vermelho, com declividade de 8 a 20%, relevo ondulado e geologia diversificada;
- Cursos de água de 1ª ordem e cobertura vegetal predominante de pastagem (56,79% do local);
- Índice de fragilidade potencial majoritariamente de mediano a baixo (29,74% da área ou em 948,38 km² médio e baixo e muito baixo em 24,05% e 22,69% da área, respectivamente);
- Nível de sensibilidade da área mediano.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da elaboração desse trabalho, espera-se que o mesmo possa colaborar, de maneira complementar aos aspectos de conservação, proteção e restauração de áreas degradadas, bem como para o ordenamento territorial e a indicação de áreas sob alto estágio de atenção ambiental. Por último, nota-se que estudos como este, se tornam relevantes na medida em que disponibiliza uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para os planejamentos ambientais e espaciais de municípios e outras áreas almejadas, sendo uma base para a elaboração de futuros trabalhos na mesma área de estudo.

REFERÊNCIAS

- AB’SABER, A. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo, SP. Ateliê Editorial, 2003, p. 9-26.
- ADAMI, S. F.; COELHO, R. M.; CHIBA, M. K.; MORAES, J. F. L. Environmental fragility and susceptibility mapping using geographic information systems: applications on Ribeirão do Pinhal watershed (Limeira, State of São Paulo). *Acta Scientiarum*, 2012, v. 34, n. 4, p. 433-440.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: jan. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA. **GeoNetwork**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: jan. 2020.
- ALMEIDA, C. O. S.; AMORIM, R. S. S.; COUTO, E. G.; ELTZ, F. L. F.; BORGES, L. E. C. Potencial erosivo da chuva de Cuiabá, MT: distribuição e correlação **com a precipitação pluviométrica**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2011, v. 15, n. 2, p. 178-184.
- ALVES, N. M. S. **Análise Geoambiental e Socioeconômica dos municípios costeiros do Litoral Norte do estado de Sergipe: diagnóstico como subsídio ao ordenamento e gestão do território**. Tese (Doutorado em Geografia) – NPGeo, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE, 2010.
- ALVES, W. S.; SCOPEEL, I.; MARTINS, A. P. Análise da fragilidade ambiental da Bacia do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde, Sudoeste de Goiás. *Geofocus*, 2017, n. 19, p. 81-108.
- AMARAL, F. C. S.; SANTOS, H. G.; AGLIO, M. L. D.; DUARDE, M. N.; PEREIRA, N. R.; OLIVEIRA, R. P.; JÚNIOR, W. C. **Mapeamento de Solos e Aptidão Agrícola das Terras do Estado de Minas Gerais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Rio de Janeiro (Município): Embrapa Solos, 2004, n. 63, 95 p.
- ARAI, F. K.; GONÇALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C. T.; DANIEL, O. **Espacialização da precipitação e erosividade na bacia hidrográfica do Rio Dourados – MS**. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, SP, 2010, v. 30, n. 5, p. 922-931.
- ASSAD, E. D. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicados na Agricultura**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 1998, p. 13-434.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI/CPAC, 1998, 434 p.
- ÁVILA, P. A. DE. **Análise multicriterial como ferramenta para a AAE da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, vertente mineira**. Dissertação (mestrado acadêmico) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

AYALA, N. F.; FRANK, A. G. **Métodos de análise multicriterial: uma revisão das forças e fraquezas.** In: XIII SEPROSUL – Semana de la Ingeniería de Producción Sudamericana, Jun. de 2013, Gramado, RS, Brasil.

BARBOSA NETO, M. V. **Zoneamento da aptidão agrícola e uso dos solos da área do médio curso do rio Natuba – PE.** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Departamento de Ciências Geográficas. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, 2011.

BEEK, K. **Recursos naturais e estudos perspectivos a longo prazo: notas metodológicas.** Brasília, DF. SUPLAN, 1975. 69 p.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos.** Rio de Janeiro (Município): Ministério da Agricultura/FAO, 1964. 49 p.

BERIA, P.; MALTESE, I.; MARIOTTI, I. Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: A comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. **European Transport Research Review**, 2012, v. 04, n. 03, p. 137-152.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia.** Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, RS, 2012, v. 13, n. 2, p. 159-168.

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico.** Cadernos de ciências da Terra. São Paulo (Município): IG-USP, 2004, n. 13, p. 1-27.

BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **A paisagem: irrupção do sensível no campo do meio ambiente (cap. III).** In: Uma geografia transversal e de travessias: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Organizador: Messias Modesto dos Passos. Maringá, PR: Ed. Massoni, 2009. 360 p.

BONNA, J. L. **Mapeamento Pedológico e de Suscetibilidade Erosiva no Alto Córrego Prata (Ouro Preto-MG).** Dissertação de Mestrado em Geografia na Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2011, 119p.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.

CAMPOLINA, A. G.; DE SOÁREZ, P. C.; AMARAL, F. V.; ABE, J. M. **Análise de decisão multicritério para alocação de recursos e avaliação de tecnologias em saúde: tão longe e tão perto?** Caderno de Saúde Pública, 2017, v. 33, n. 10, p. 1-15.

CANDIDO, H. G. **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba – MG.** Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Jaboticabal, SP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2008. Jaboticabal, SP, 96 f.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; CARVALHO, E. K. M. A. Metodologia para avaliar a sustentabilidade ambiental de municípios utilizando análise multicritério. **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, 2011, v. 1, n. 1, p. 18-34.

CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade.** Brasília, DF: Embrapa, 2015. 367p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo (Município): Edgard Blücher, 1980.

CODEMIG - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, MG, 2014. Disponível em: <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/?lang=en>>. Acesso em: jan. 2020.

CONTI, J. B. Geografia e Paisagem. **Revista Ciência e Natura**, Universidade de São Paulo – SP. 2014. v. 36 Ed. Especial, p. 239-245.

COSTA, A. M. da; SALIS, H. H. C. de; ARAÚJO, B. J. R. S.; MOURA, M. S. de; SILVA, V. C. da; OLIVEIRA, A. R. de; PEREIRA, M. P. R.; VIANA, J. H. M. Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte – MG. **Revista Geografias**. 2019. v. 27, n. 2.

COSTA, A. M. da; SILVA, L. H. da; SILVA, V. C. da; MOURA, M. S. de; MOTA, P. K.; ARAÚJO, B. J. R. S. de. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Revista Perspectiva Geográfica**. 2019. V. 14, n. 20.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** INPE. 2001. Disponível em: <www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: nov 2019.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2010, n 62/03. ISSN 0560-4613.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa dos Domínios Geomorfológicos do estado de Minas Gerais. In: MACHADO, M. F; SILVA, S. F. (Org). **Geodiversidade do estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, MG: CPRM, 2009.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, MG: CPRM, 2014.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta Geológica: Folha de Patos de Minas (SF.23-Y-A-VI), escala 1:100.000,** 2013.

CURI, N; LARACH, J. O. I; KÄMPF, N; MONIZ, A. C; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, SP: SBCS, 1993. 90 p.

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**, 2016, n. 68/9, p. 1837-1852.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2006, v. 10, n. 1, p. 175–181.

DWEIRI, F.; KUMAR, S.; KHAN, S. A.; JAIN, V. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. **Expert Systems with Applications**. 2016, v. 62, 15, p. 273-283.

EASTMAN, J. R. Decision Support: Decision Strategy Analysis. In: Clark University (Ed.). **IDRISI Andes Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark Labs, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro, Reunião Técnica de Levantamento de Solos, 10. Súmula. Rio de Janeiro (Município), SNLCS, 1979.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. – Rio de Janeiro (Município): EMBRAPA-SPI, 2006.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. – Rio de Janeiro (Município): EMBRAPA-SPI, 2018.

EMÍDIO, T. **Meio ambiente e paisagem**. São Paulo (Município). Editora Senac. São Paulo. 2006.

FAO. **A Framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome (Italy), 1976. Vii, 72 p.

FENGLER, F. H.; MORAES, J. F. L.; RIBEIRO, A. D.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M.; MEDEIROS, G. A. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na bacia hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim entre 1972 e 2013. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2015, v. 19, n. 4, p. 402–408.

FITZ, P. R. Análise da Fragilidade Ambiental do Litoral Médio do Rio Grande do Sul a partir da sua Configuração Geológica e Geomorfológica com o uso de Geotecnologias. **Revista Entre-Lugar**, Dourados, MS, 2016, v. 7, n. 14.

FRAGOSO, D. G. C; UHLEIN, A.; SANGLARD, J. C. D.; SUCKAU, G. L.; GUERZONI, H. T. G.; FARIS, P. H. Geologia dos Grupos Bambuí, Areado e Mata da Corda na Folha Presidente Olegário (1:100.000), MG: Registro Deposicional do Neoproterozóico ao Neocretáceo da Bacia do São Francisco. **Revista Geonomos**, 2011. v. 19, n. 1, p. 28-38.

- FRANÇA, L. C. de J. **Fragilidade Ambiental Potencial da Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil**. 114p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG. 2018.
- FRANÇA, L. C. J.; PIUZANA, D.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Revista Espacios (Caracas, Venezuela)**, 2017, v. 38, n. 31.
- FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas**. Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e água) – Centro de Ciências Agrárias. Departamento de solos e Engenharia Rural. Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB, 2010.
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L. CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, 2012, v. 42, (Supl 1).
- FRANCO, G. B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na Bacia do Rio Almada – Bahia**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010. 345 p.
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R.L.; CHAGAS, C.S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Alma, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, 2013; 42: 114-127.
- FREITAS, A. L. P.; MARINS, C. S.; SOUZA, D. O. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. **Revista GEPROS**, Bauru, SP, ago 2006, n. 2, p. 51,
- FREITAS, A. J.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; PINTO, F. A.; PEREIRA, S. B.; GOMES FILHO, R. R.; TEIXEIRA, A. F.; BAENA, L. G. N.; MELLO, L. T. A.; NOVAES, L. F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Companhia de Saneamento de Minas Gerais; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65 p.
- FUJACO, M. A. G.; LEITE, M. G. P.; MESSIAS, M. C. T. B. Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi [MG] através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, MG, 2010, v. 63, n. 4, p. 695-701, out./dez.
- FUSHITA, A. T.; CAMARGO-BORTOLIN, L. H. G.; ARANTES, E. M.; MOREIRA, M. A. A.; CANÇADO, C. J.; LORANDI, R. Fragilidade ambiental associada ao risco potencial de erosão de uma área da região geoeconômica médio Mogi Guaçu superior (SP). **Revista Brasileira de Cartografia** (2010), n. 63/4, p. 477-488. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.
- GONÇALVES, S. R. A.; ARAÚJO, R. R.; IMAI, N. N. Mapeamento do Grau de Fragilidade com Processo Analítico Hierárquico e operadores Fuzzy Gama na detecção de áreas de fragilidade ambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2016, n. 68, ed. 2, p. 327-337.

GUARNIERI, P.; SOBREIRO, V. A.; NAGANO, M. S.; SERRANO, A. L. M. The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. **Journal of cleaner production**, 2015, v. 96, n. 01, p. 209 -219.

HANINE, M.; BOUTKHOUM, O.; TIKNIOUINE, A.; AGOUTI, T. Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TODIM methods for landfill location selection. **SpringerPlus**. 2016.

HERVA, M.; ROCA, E. Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, Holanda, Jan. 2013, v. 39, p. 355-371.

HUANG, I. B.; KEISLER, J.; LINKOV, I. Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: ten years of applications and trends. **Science of the Total Environment**, Exeter, Sep. 2011. v. 409, n. 19, p. 3578-3594.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Ecosistemas Brasileiros: Projetos de Conservação e Manejo de Ecosistemas**, 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Patos de Minas**. 2010. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/patos-de-minas/panorama>>. Acesso em: jan. 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. - Rio de Janeiro (Município): IBGE, 2009.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro (Município), 2017. v. 44, p. 1-51.

IDE-SISEMA. **Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. 2017. SEMAD/FEAM/IEF/IGAM. Disponível em: <<http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/#>>. Acesso em: jan. 2020.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Spring**. v. 4.1.1. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/analise.html>>, 2005.

JANNUZZI, P. M.; MIRANDA, W. L.; SILVA, D. S. G. **Análise multicritério e tomada de decisão em políticas públicas: aspectos metodológicos, aplicativo operacional e aplicações**. Informática Pública, 2009. v. 11, 01, p. 69-87.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; 2005; São José dos Campos. Goiânia, GO: INPE; 2005. p. 2203-2210.

LADEIRA NETO, J. F. 2010. **Mapa de declividade em percentual do relevo brasileiro**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/gestao/mapa_declive/nota_tecnica_mapa_declive.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

LAL, R. Degradation and resilience of soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London, England, 1997. v. 352, p. 997-1010.

LEPSCH, I. F.; BELINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas, SP: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. Oficina de Textos, São Paulo (Município), 2002.

LIAO, J.; SAHO, G.; WANG, C.; TANG, L.; HUANG, Q.; QIU, Q. Urban sprawl scenario simulations based on cellular automata and ordered weighted averaging ecological constraints. **Ecological Indicators**. 2019. Volume 107.

LIMA, F. I. de. **Estudo geoambiental de bacias hidrográficas utilizando o modelo PER no município de São Carlos (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Programa de Pós graduação em Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2016.

LIMA, O. N. B.; UHLEIN, A.; BRITTO, W. de. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, 2007, v. 37, n. 4, p. 204-215.

LIMA, O. N. B. **Grupo Bambuí: Estratigrafia regional no Alto Rio São Francisco e geologia dos depósitos fosfáticos da Serra da Saudade - MG**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 142 p.

LIMA JÚNIOR, F. R.; OSIRO, L.; CARPINETTI, L. C. R. **Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte**. Gestão e Produção, 2013. v. 20, n. 04, p. 781-801.

LIU, P.; TENG, F. Probabilistic linguistic TODIM method for selecting products through online product reviews. **Information Sciences**. Volume 485, 2019, p. 441-455.

LIU, Y.; LIU, L.; ZHU, A.; LAO, C.; HU, G.; HU, Y. Scenario farmland protection zoning based on production potential: A case study in China. **Land Use Policy**. 2020. V. 95.

LOPES, T. R.; MOURA, L. B.; NASCIMENTO, J. G.; JUNIOR, L. S. F.; ZOLIN, C. A.; DUARTE, S. N.; FOLEGATTI, M. V.; SANTOS, O. N. A. Priority areas for forest restoration aiming at the maintenance of water resources in a basin in the Cerrado/Amazon ecotone, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**. 2020. V. 101.

MAGALHÃES JUNIOR, A., MOREIRA, P. F. Eventos de “desequilíbrio morfodinâmico” na evolução geomorfológica de Minas Gerais – O caso de Teófilo Otoni/Caraí – Região Nordeste do Estado. **Geonomos** 6, 1998. p. 23-32.

MAHDIYAR, A.; TABATABAEE, S.; DURDYEV, S.; ISMAIL, S.; ABDULLAH, A.; RANI, W. N. M. W. M. A prototype decision support system for green roof type selection: A cybernetic fuzzy ANP method. **Sustainable Cities and Society**. 2019. Volume 48.

- MALCZEWSKI, J. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. **Progress in Planning**, New York, jul. 2004. v. 62, n. 1, p. 3-65.
- MAGANHOTTO, R. F.; SANTOS, L. J. C.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Análise da fragilidade ambiental como suporte ao planejamento do ecoturismo em unidades de conservação: estudo de caso Flora de Iratí - PR. **Floresta**. 2011. v. 41, n. 2, p. 231-243.
- MAPBIOMAS v.4.1. Rede Mapbiomas. Observatório do Clima. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). **Mapa de Cobertura e Uso do Solo de Patos de Minas, MG**. 2018. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/download>>. Acesso em: dez. 2019.
- MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O.; BARROS, M. da S. O **Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso**. In: XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. 2009, p. 1778-1788.
- MARTÍN-DUQUE, J. F.; GARCÍA, J. C.; URQUÍ, L. C. **Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic Landscape: a case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain)**. *Geoheritage*, 2012; 4(1-2): 93-108.
- MARTINS, F. C M.; ANDRADE, L. C. R.; CALIJURI, M. L.; BARROS, K. O.; BARRETO, E. M. Multicriteria analysis and geoprocessing for conservation of unpaved roads. **Revista de Ciências Agrárias de Portugal**. 2014. V.37, n.2, p. 162-170.
- MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F. dos; REBOITA, M. S. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário Atual e Projeções Futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais – Nov. 2018.
- MECHI, A.; SANCHES, D. L. The Environmental Impact of Mining in the State of São Paulo. **Revista estudos avançados**, 2010, v. 24, n. 68.
- MIARA, M. A.; OKA-FIORI, C. **Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – Um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-cará, Ponta Grossa**. *Revista Raega – O espaço geográfico em análise*. Editora UFPR, 2007. Curitiba, PR, n. 13, p. 85-98.
- MIGUEL, A. E. S., MEDEIROS, R. B., OLIVEIRA, W. **Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu/MS**. Fórum Ambiental da Alta Paulista [Online] 9, 2013. n. 2.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 2ª ed. EMBRAPA, Brasília, DF. 2010.
- MELO, I. S. de. **Dinâmica e Fragilidade Ambiental na Paisagem da Microbacia Hidrográfica do Rio Paripueira, Sergipe**. 142p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE. 2018.

MESQUITA, C. M. de; MELO, E. M de; REZENDE, J. E. de; CARVALHO, J. S.; FABRI JÚNIOR, M. A.; MORAES, N. C.; DIAS, P. T.; CARVALHO, R M. de; ARAÚJO, W. G. de. **Manual do café: implantação de cafezais Coffea arábica L.** Belo Horizonte, MG: EMATER-MG, 2016. 50 p. il.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotrópica**, 2001, v. 1, n. 1/2.

MIYATA, S.; KOSUGI, K. I.; GOMI, T.; MIZUYAMA, T. Effects of forest floor coverage on overland flow and soil erosion on hillslopes in Japanese cypress plantation forests. **Water Resources Research**, 2009. v. 45, n. 6, p. 1-17.

MOKARRAM, M.; HOJATI, M. Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: southeast Iran). **Computers and Electronics in Agriculture**. 2017, V. 132, p. 1-13.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Brasília, DF. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 1ª ed. 2009. 530 p.

MOTTA, P. E. F. DE; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. dos. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais.** Rio de Janeiro (Município): Embrapa Solos, 2004.

MOTTA D., SILVA, W. F., DINIZ, E. N. **Rentabilidade na Plantação de eucalipto.** Anais do SEGeT -VII Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia. Resende, RJ. 2010.

NASCIMENTO, N. S.; VIEIRA, E. M.; GONÇALVES, J. A. C.; CUNHA, G. DE P. Q. Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2016, v. 09 n. 03, p. 897-916.

NAKASHIMA, M. S. R. Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. **Acta Scientiarum**, 2001. 23 (6): 1547-1560.

NGUYEN, P. T.; VU, N. B.; NGUYEN, L. V.; LE, L. P.; VO. K. D. **The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (F-AHP) in Engineering Project Management.** In: IEEE 5th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS). 2018.

NOVAIS, G. T. **Caracterização climática da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Serra da Canastra (MG).** 175f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2011.

NOVAIS, G. T. **Classificação climática aplicada ao Bioma Cerrado** (Tese de Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2019.

OLIVEIRA, F. B.; OLIVEIRA, C. H. R.; LIMA, J. S. S.; MIRANDA, M. R.; RIBEIRO FILHO, R. B.; TURBAY, E. R. M. G.; FERRAZ, F. Definição de áreas prioritárias ao uso

público no parque Estadual da cachoeira da Fumaça - ES, utilizando Geoprocessamento. **Revista Árvore**, 2014. v. 38, n. 6, p. 1027-1036.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. Sensibilidade do modelo de fragilidades ambientais à ponderação multicriterial: aspectos físicos da bacia hidrográfica do alto Uruguai. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 535 - 548, jul. / set. 2014.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K.; YU, B.; KLIK, A.; LIM, K. J.; YANG, J. E.; NI, J.; MIAO, C.; CHATTOPADHYAY, N.; SADEGHI, S. H.; HAZBAVI, Z.; ZABIHI, M.; LARIONOV, G. A.; KRASNOV, S. F.; GOROBETS, A. V.; LEVI, Y.; ERPUL, G.; BIRKEL, C.; HOYOS, N.; NAIPAL, V.; OLIVEIRA, P. T. S.; BONILLA, C. A.; MEDDI, M.; NEL, W.; DASHTI, H. A.; BONI, M.; DIODATO, N.; OOST, K. V.; NEARING, M.; BALLABIO, C. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. **Scientific Reports – Nature**. 2017. v. 7, n. 1, p. 4175.

PEDRON, F. de A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; DE AZEVEDO, A. C.; KLAMT, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Revista Ciência Rural**. Santa Maria, RS. 2006. V. 36, n. 1, p. 105-112.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras: proposta metodológica**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

PEREIRA, L. F.; DARDENNE, M. A.; ROSIÈRE, C. A.; PEDROSA-SOARES, A. C. Evolução Geológica dos Grupos Canastra e Ibiá na Região entre Coromandel e Guarda-Mor, MG. **Revista Geonomos**, 1994. n. 2, v. 1, p. 22-32.

PEREIRA, R. V. **Análise da fragilidade ambiental a processos erosivos no município de Campos Gerais – MG**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Programa de Pós-graduação em Geografia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. 2014.

PINESE JUNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia**, 2012. v. 23, p. 4-26.

QUADROS, F. R. **Caracterização e análise da fragilidade ambiental da Floresta Nacional de Passo Fundo (Mato Castelhana, RS)**. (Tese de Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 2014. 85 p.

QUARTAROLI, C. F.; ARAÚJO, L. S.; GARÇON, E. A. M. **Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite. 2013. 44p.

RAFOLS, I.; PORTER, A. L.; LEYDESDORFF, L. Science overlay maps: a new tool for research policy and library management. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, 2010, v. 61, v 9, p. 1871-1877.

RAMALHO-FILHO, A.; TOMASI, J. M. G.; CAMARGO, M. N.; ALMEIDA, N. da C.; ROSATELLI, J. S.; MOTCHI, E. P.; AMARAL, J. A. M. do; FREITAS, F. G. de; MOURA, E. M.; PALMIERI, F.; SANTOS, H. G dos; FAUSTINO NETO, M. **Interpretação para uso agrícola dos solos da zona de Iguatemi, Mato Grosso.** Rio de Janeiro (Município): EPFS: EPE-Ministério da Agricultura, 1970 (Boletim Técnico, 10).

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K, J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** 3. ed. rev. Rio de Janeiro (Município): EMBRAPA-CNPS, 1995, 65p.

RATCLIFFE, D. A. **Criteria for the selection of nature reserves.** Advancement of Sciences. 1971; 27: 294-296.

RASSI, R.; BICALHO, R. L.; PETROZINO, J. A. C.; SILVEIRA, A. **Caracterização Geológica, Geomorfológica e Pedológica de Patos de Minas (MG):** Contribuição à Interpretação das Feições Erosivas. Campinas, SP. 2017. Instituto de Geociências – Unicamp. IN: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada; I Congresso Nacional de Geografia Física.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos Climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia.** Ano 11 – Vol. 17 – JUL/DEZ 2015. UFPR. Curitiba, PR.

RESENDE, M; CURI, N; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. Viçosa, MG: NEPUT, 1995. 304p.

REZAEI, J.; ORTT, R. Multi-criteria supplier segmentation using a fuzzy preference relations based AHP. **European Journal of Operational Research,** 2013. v. 225, n.1, p.75-84.

REZENDE, C. R.; CHAVES, A. de O.; OLIVEIRA, V de P. Evidências diretas e indiretas de arco magmático paleoproterozóico na região do Alto da Januária – Norte de Minas Gerais. **Revista Geonomos,** 2018. v. 26, n. 2, p. 1-22.

RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 1., 1990, São Paulo. Anais... p. 1-26.

RODRÍGUEZ, A. C. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados na análise da legislação ambiental no município de São Sebastião (SP).** Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, SP. 2005.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia, MG: Edufu, 5ª ed. 2003.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia.** São Paulo (Município): FFLCH-USP, 1994. n. 8, p.63-74.

ROSS, J. L. S. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da pesquisa para o planejamento Ambiental. In: **Revista do Departamento de Geografia.** 9. SP, USP/FFLCH, 1995.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: Potentialities and Fragilities. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, 2012. vol. esp. p.38-51.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**. 2008. v. 1, n.1.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo (Município): Makron Books, 1991.

SAATY, T. L. **The analytic hierachy process**. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.

SAATY, T. L. **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh: RWS Publications, 2005.

SAATY, T. L. An exposition of the AHP in reply to the paper ‘remarks on the analytic hierarchy process’. **Management Science**, 1990, v. 36, p. 259 - 268.

SANTOS, A. K. F. **Análise multicritério entre fragilidade ambiental e a vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica da UHE Espora (GO)**. (Monografia de conclusão de curso), Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí, GO, 2017. 76 f.

SANTOS, L. F.; CRUZ, R. B. C. **O uso do método AHP na tomada de decisão para seleção de lajes de edifícios comerciais**. Engenharia, Estudo e Pesquisa ABPE, 2013. v. 13, n.1, p. 39-52.

SANTOS, L. J. C.; FIORI, C. O.; CANALLI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. DA; SILVA, J. M. F. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, 2007. v. 37, n. 4, p. 812-820.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. T. K.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 356 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo (Município). Oficina de Textos. 2004. 184 p.

SANTOS, S.; PINA, M. F.; CARVALHO, M. S. **Os Sistemas de informações geográficas**. In: PINA, M. F.; SANTOS, S. M. Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicadas à saúde. Brasília, DF: OPAS, 2000, p. 13-40.

SCHIMIDT, M. A. R.; BARBOSA, G. R. Uso de redes neurais artificiais na ponderação inicial da técnica AHP em análises de vulnerabilidade de bacias hidrográficas. **Bol. Ciênc. Geod.** 2016. V. 22, n.3, p. 511-525.

- SILVA, B. O. **As margens dos cursos d'água de Patos de Minas: estudo da relação entre a configuração espacial e a qualidade ambiental urbana.** 122p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2019.
- SILVA, C. H. **Evolução Geológica da Faixa Brasília na região de Tapira, sudoeste de Minas Gerais** (Tese de Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 2003.
- SILVA, J. X. da. **Geoprocessamento para análise ambiental.** Rio de Janeiro (Município): J. Xavier da Silva, 2001. 228 p.
- SILVA, V. A.; OLIVEIRA, L. T.; ESTEVAM, J. P. S.; SIQUEIRA, H. E.; VALLE JUNIOR, R. F. **Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do córrego do Neca, em Uberaba-MG.** FAZU em Revista, Uberaba, MG, 2013, n. 10, p. 13-16.
- SILVA, V. C.; MACHADO, P. de SÁ. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva na Bacia Hidrográfica no Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, 2014. V. 31, n. 2.
- SILVA, L. F.; MLENEK, D. C.; LEANDRO, D.; QUADRO, M. S.; ROCHA, F. C.; NADALETI, W. C.; CASTRO, A. S. Índices de fragilidade ambiental parciais da bacia do Rio Iraizinho. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade.** 2016. v. 1, n. 3, p. 17-32.
- SINAY, M. F.; LIMA JÚNIOR, P. C. R. **SIG como ferramenta na avaliação qualitativa de impactos ambientais decorrentes de projetos relativos a sistemas de transporte público.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE, 5, 1998, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro (Município): Editora do Clube de Engenharia.
- SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM). **MDE (Modelo Digital de Elevação) do terreno.** Earth Data, 2011. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/>>. Acesso em: jan. 2020.
- SOARES FILHO, B. S. S.; CARMO, V. A.; NOGUEIRA, W. J. Metodologia de elaboração da carta do potencial erosivo da bacia do rio das Velhas (MG). **Geonomos**, 1998, v. 6, n. 2, p. 45-54.
- SOUZA, J. dos R. DE; REIS, L. N. G. dos. Mapeamento e análise do uso dos solos no município de Ibiá – MG utilizando o software Spring 5.1.8: análise da dinâmica agropecuária. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, MG. dez. 2011, v. 3, n. 8, p. 141-163.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos.** 2004. Geosp. 15.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc. Am.**, 1952. 63:111-1141.
- STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Bulletin of the Geological Society of America**, 1952. v. 63, p. 1.117-1.142.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

SUJATHA, E. R.; SRIDHAR, V. Mapping of erosion susceptibility using a weighted linear combination model: A case study of a hill sub-watershed in Kodaikkanal, Western Ghats, South India. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. 2019, V. 14, P. 34-45.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2008. 105 f.

TEIXEIRA, A. L. A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro, SP, Ed. do Autor, 1992. 80 p.

TENENWURCEL, M. A.; MOURA, M. S. de; COSTA, A. M. da; MOTA, P. K.; VIANA, J. H. M.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F. A. L. An Improved Model for the Evaluation of Groundwater Recharge Based on the Concept of Conservative Use Potential: A Study in the River Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water**. 2020. 12, 1001.

TOGASHI, H. F. MONTEZUMA, R. 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 Árvore**, 2012. v. 36, n. 5, p. 907-917.

TOMASI, J. M. G.; RAMALHO-FILHO, A. **Aptidão agrícola dos solos do sul do Estado de Mato Grosso**. Rio de Janeiro (Município): DNPEA-DPP- Ministério da Agricultura, 1971. 72 p (Boletim Técnico, 19).

TOMCZYK, A. M. **A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland**. Applied Geography (Sevenoaks, England) 2011; 31(1): 339-351.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, 2006. v. 30, n. 5, p. 849-857.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Diretoria Técnica, SUPREM, 1977. Rio de Janeiro (Município).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA (UFV)/ FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais**. 2010. Disponível em: < http://www.dps.ufv.br/?page_id=742>. Acesso em: jan. 2020.

VALENTE; R. O. A.; VETTORAZI, C. A. Comparison between methods of multi-criteria evaluation, in a GIS environment, aiming at forest conservation and preservation. **Scientia Forestalis**, 2005. n. 69, p.51-61.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. D. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Revista Floresta e Ambiente**. 2016. V. 23(2), pag. 295-308. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro (Município).

VITTE, A. C.; VILELA FILHO, L. R. A urbanização, a fragilidade potencial do relevo e a produção do risco na bacia hidrográfica do Córrego Proença, município de Campinas, Brasil. Territorium: **Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança**. 2006. n. 13, p. 105-114.

WU, Y.; WANG, J.; JI, S.; SONG, Z. Renewable energy investment risk assessment for nations along China's Belt & Road Initiative: An ANP-cloud model method. **Energy**. 2020. V. 190.

ZABEO, A.; PIZZOL, L.; CRITTO, A.; GIOVE, S.; MARCOMINI, A. **Regional risk assessment for contaminated sites Part 1: Vulnerability assessment by multicriteria decision analysis**. Environment international, 2011. v. 37, n. 08, p. 1295 -1306.

ZAMBON, K. L.; CARNEIRO, A. A. F. M.; SILVA, A. N. R.; NEGRI, J. C. **Análise de Decisão Multicritério na Localização de Usinas Termoelétricas Utilizando SIG**. Pesquisa Operacional, 2005. v. 25, n. 2, p. 183- 199.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicritérios ao planejamento dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2002. v. 7, n. 01, p. 81-102.