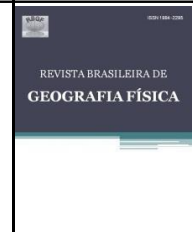




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Análise da Vulnerabilidade Ambiental do Município de Inconfidentes - MG

Felipe Lanzoni Dellargine¹; Denise Silva Leão de Souza²; Ítalo Rafael Costa de Mira³; Gabriel Teófilo Guedes Silva⁴; Márcio Luiz da Silva⁵

¹ Bacharelado em Administração – PUC Campinas e Graduado em Gestão Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes.

² Graduada em Gestão Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes.

³ Graduando em Engenharia Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes.

⁴ Licenciado em Ciências Biológicas - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes e Mestrando em Geociências – UNICAMP.

⁵ Doutor em Geologia – UNICAMP. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* Inconfidentes. E-mail para correspondência: marcgeo10@yahoo.com.br.

Artigo recebido em 18/05/2020 e aceito em 13/07/2020

RESUMO

A crescente ocupação de forma desordenada e desigual nos municípios brasileiros tem desencadeando desequilíbrios nos sistemas ambientais, gerando problemas de ordem funcional e estrutural no meio. Numa política que prima pela conservação e preservação ambiental, essa realidade demanda, cada vez mais, estudos prévios considerando as potencialidades e limitações dos sistemas naturais, como subsídios para o planejamento e gestão territorial. Nesse sentido, este artigo teve como objetivo realizar a análise e mapeamento da vulnerabilidade ambiental do Município de Inconfidentes – MG, segundo a metodologia estabelecida por Crepani et al. (2001). Os materiais e métodos abrangeram, além de atividades de campo, interpolação geoestatística, processamento digital de imagens e análise geoespacial, por meio de álgebra de mapas. Após mapeamento, foram definidos os graus de vulnerabilidade para as categorias geologia, geomorfologia, pedologia, clima, uso e ocupação da terra. O mapeamento de vulnerabilidade natural à perda de solo foi obtido a partir da média das variáveis geoambientais com seus respectivos pesos, via álgebra de mapas. Os resultados demonstraram que a maior parte do município, aproximadamente 66%, apresentam baixo grau de vulnerabilidade, com maior estabilidade ambiental e com predomínio do processo de pedogênese. Contudo, embora correspondendo a um percentual menor, as áreas com vulnerabilidade intermediária e com equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese demandam maior atenção do poder público e da sociedade, visando evitar a desestabilização destes meios e a instauração de processos degradacionais.

Palavras-chave: Álgebra de mapas, dimensão interfluvial média, estabilidade de sistemas naturais, grau de entalhamento do vale, interpolação geoestatística, relação morfogênese-pedogênese

Analysis of Environmental Vulnerability in the Municipality of Inconfidentes - MG

ABSTRACT

The increasing occupation in a disorderly and unequal way in Brazilian municipalities has triggered imbalances in environmental systems, generating functional and structural problems in the environment. In a policy that focuses on environmental conservation and preservation, this reality demands, more and more, previous studies considering the potentialities and limitations of natural systems, as subsidies for planning and territorial management. In this sense, this article aimed to perform the analysis and mapping of the environmental vulnerability of the Municipality of Inconfidentes - MG, according to the methodology established by Crepani et al. (2001). The materials and methods covered, in addition to field activities, geostatistical interpolation, digital image processing and geospatial analysis, through map algebra. After mapping, the degrees of vulnerability were defined for the categories geology, geomorphology, pedology, climate, land

use and occupation. The mapping of natural Vulnerability was obtained from the mean of the geoenvironmental variables with their respective weights, via maps algebra. The results showed that the majority of the municipality, approximately 66%, has a low degree of vulnerability, with greater environmental stability and a predominance of the pedogenesis process. However, although corresponding to a smaller percentage, the areas with intermediate vulnerability and balance between pedogenesis and morphogenesis processes require greater attention from the public authorities and society, with a view to preventing the destabilisation of these resources and the introduction of degradational processes.

Keywords: Map algebra, average interfluvial dimension, stability of natural systems, valley's depth, geostatistical interpolation, morphogenesis-pedogenesis relationship.

Introdução

A crescente ocupação urbana de forma desordenada e desigual nas cidades brasileiras tem acarretado uma série de problemas de ordem funcional e estrutural oriundas dos diferentes usos destes espaços (Silva, 2015). De forma conjugada a isso, o aumento no consumo da sociedade e a ampliação de atividades que degradam o ambiente também fazem com que os recursos naturais sejam utilizados de forma indiscriminada, não considerando as áreas susceptíveis à degradação, o que tem ocasionado instabilidades no meio (Silveira et al., 2015). Esse desequilíbrio, além de motivar desastres naturais, como movimento gravitacional de massas, alagamento e inundações, também se associa à qualidade de vida da população, influenciando em aspectos inerente à saúde, bem-estar e segurança (Bandeira, Nunes e Lima, 2016). Nesse sentido, uma análise prévia que considere as potencialidades e limitações do meio, com o objetivo de subsidiar a elaboração de políticas públicas e estratégicas para o uso e ocupação da terra, sempre se faz necessário.

O uso de ferramentas do geoprocessamento como o SIG faculta uma análise integrada da paisagem, ao possibilitar o processamento de diferentes variáveis ambientais, permitindo a aplicação de inúmeras tipologias de modelagens ambientais (Nunes e Leite, 2017). Nesse contexto, as metodologias de representação e delimitação da vulnerabilidade natural à perda de solo se apresentam como uma relevante aplicação para a compreensão de parâmetros geotécnicos e ambientais, fundamentais no processo de planejamento, execução, ocupação e gestão territorial das áreas urbanas brasileiras (Pavanin et al., 2016).

Localizado na Mesorregião do Sul de Minas Gerais, o Município de Inconfidentes possui sua economia focada na agropecuária, com destaques para a produção de café, alho, leite, milho, bucha vegetal, banana e feijão, além da indústria têxtil, direcionada para as malharias. Além de sua população residente de 7.328 pessoas, de acordo com a estimativa de 2019 (IBGE, 2020), o município conta ainda com uma média de 1.200 discentes como flutuantes, que estudam no Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus* de Inconfidentes.

O entendimento das limitações e potencialidades dos sistemas ambientais, possibilitando a identificação e mapeamento de áreas estáveis e vulneráveis do meio, surge como um imperativo no processo de planejamento, zoneamento e gestão dos recursos naturais, propiciando a busca pelo equilíbrio entre economia, desenvolvimento e meio ambiente.

Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo a análise e mapeamento da vulnerabilidade ambiental do Município de Inconfidentes – MG, como subsídio para o planejamento e gestão territorial numa abordagem sistêmica e norteada pelo princípio do equilíbrio entre desenvolvimento e sustentabilidade.

Os mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo são elementos primordiais não somente no processo de planejamento e gestão ambiental, mas também no zoneamento ecológico e econômico do território (Crepani et al., 2001).

Em Inconfidentes – MG, os estudos de vulnerabilidade ambiental permitem avaliar o comportamento dos sistemas ambientais face às pressões oriundas de intervenções antrópicas.

Vulnerabilidade ambiental

Embora abordada em alguns estudos da década de 1970, a temática sobre diagnósticos relacionados à vulnerabilidade ambiental, dentro do âmbito das geotecnologias, começou a ganhar maior destaque no final dos anos de 1980 e início de 1990, sendo relativamente nova (Pavanin, Chuerubim e Lázaro, 2017). Segundo os autores, as pesquisas deixaram de focar somente nos perigos naturais e passaram a incorporar aspectos relacionados aos perigos sociais e tecnológicos vinculados às questões ambientais.

Essa metodologia segundo a qual é possível elaborar cartas de vulnerabilidade natural à perda de solo foi desenvolvida a partir dos conceitos e princípios da ecodinâmica, considerando as potencialidades com estudos integrados de campo, laboratoriais e de sensoriamento remoto (Crepani et al., 2001). Nesses estudos se faz necessário compreender as unidades territoriais básicas (UTB) que são células

elementares de informação e análise para um zoneamento ecológico-econômico. Uma UTB, ao mesmo tempo que possui vínculos dinâmicos com outras unidades, se diferenciam destas pois como entidades geográficas, possuem atributos ambientais próprios (Crepani et al., 2001).

Crepani et al. (2001) dividem as unidades territoriais básicas em duas categorias: as unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica. As unidades de paisagem natural representam uma porção do terreno, onde se combinam eventos e interações, visíveis e invisíveis, sendo necessário, para sua análise, informações fornecidas pela geologia, geomorfologia, pedologia, fitogeografia e climatologia, com o objetivo de se conhecer a sua gênese, constituição física, forma, estágio de evolução e cobertura vegetal que se desenvolve sobre ela. Os polígonos de intervenção antrópica representam a atuação humana que modifica as condições naturais.

Nesse sentido, as condições de equilíbrio do sistema representadas pela unidade de paisagem natural poderão alterar-se, em uma escala variável, de acordo com a introdução de novas forças, que são as atividades desenvolvidas dentro do polígono de intervenção antrópica. Portanto, cada unidade de paisagem natural, juntamente com seus aspectos naturais (rocha, relevo, solo, clima, vegetação) irão apresentar diferentes graus de absorção aos estímulos exteriores, em diferentes escalas, para reajustarem-se às modificações provocadas, na busca pela retomada do equilíbrio perdido (Crepani et al., 2001).

Assim, a vulnerabilidade ambiental se define como qualquer susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por qualquer tipo de uso antrópico (Costa, 2018). Ela está relacionada à susceptibilidade de uma área sofrer algum tipo de dano ao passo que é submetida a uma determinada ação, de forma que quanto maior o nível de vulnerabilidade, menor será a chance de recuperação deste ambiente (Pagliarini, 2018). Pagliarini (2018) salienta que a vulnerabilidade de um ambiente se dá pelo somatório dos índices de impacto ambiental de diferentes fatores físicos, bióticos e sociais que compõe o ambiente.

Quanto à aplicação da metodologia de vulnerabilidade, um dos estudos pioneiros no Brasil foram realizados por Crepani et al. (2001) que, além de fazerem uma releitura dos princípios e conceitos da ecodinâmica, integraram estudos de diferentes autores, como os realizados pelo geógrafo Jurandyr Ross.

A partir da caracterização morfodinâmica das unidades territoriais básicas, Crepani et al. (2001) estabeleceram três categorias de vulnerabilidade, com seus respectivos graus (representados por algarismo arábicos): estável (grau 1), intermediária (grau 2) e instável (grau 3). No grau 1 prevalece o estado de pedogênese ao passo que no 2, o de morfogênese. A partir desta classificação, com a finalidade de se representar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, construiu-se uma escala de vulnerabilidade com 21 classes, as quais foram denominadas de unidades de paisagem, representadas por U1 até U21, onde U1 representa o máximo grau de vulnerabilidade e U21 o máximo grau de estabilidade (Crepani et al., 2001). Segundo Crepani et al. (2001, p. 3) “a vulnerabilidade das unidades da paisagem é estabelecida por meio de uma escala de valores relativos e empíricos de acordo com a relação morfogênese-pedogênese analisando-se individualmente cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, uso da terra e clima”.

A metodologia de vulnerabilidade ambiental tem uma aplicabilidade ampla, para os mais diversos estudos. Para citar alguns, Guirra (2017) analisou os parâmetros associados à intensidade pluviométrica e à erosividade das chuvas. Santos e Martins (2018) realizaram a análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Claro (GO) destacando a eficiência do método para análise sistêmica de bacias, como foco nos aspectos da paisagem e na análise espacial. Enfim, o tema sobre vulnerabilidade ambiental tem sido bastante discutido, com a utilização de diferentes tipos de indicadores e em diferentes recortes espaciotemporais (Bastos e Maniesi, 2015; Rovani et al., 2015; Kreitlow et al., 2016; Lopes e Saldanha, 2016; Silva e Luchiari, 2016; Pavanin, Chuerubim e Lázaro, 2017; Marques, Silva e Camargo, 2017; Prates e Amorim, 2017; Costa, 2018; Lima e Silva, 2018; Pagliarini, 2018; Santos e Martins, 2018; Araújo et al., 2019; Leal et al., 2019).

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

Situado no sul do Estado de Minas Gerais (Figura 1), o Município de Inconfidentes possui uma altitude média de 869 metros e ocupa uma área de 149,394 quilômetros quadrados, sob o clima tropical de altitude, com diversos usos da terra e diferentes coberturas vegetais em seu território.

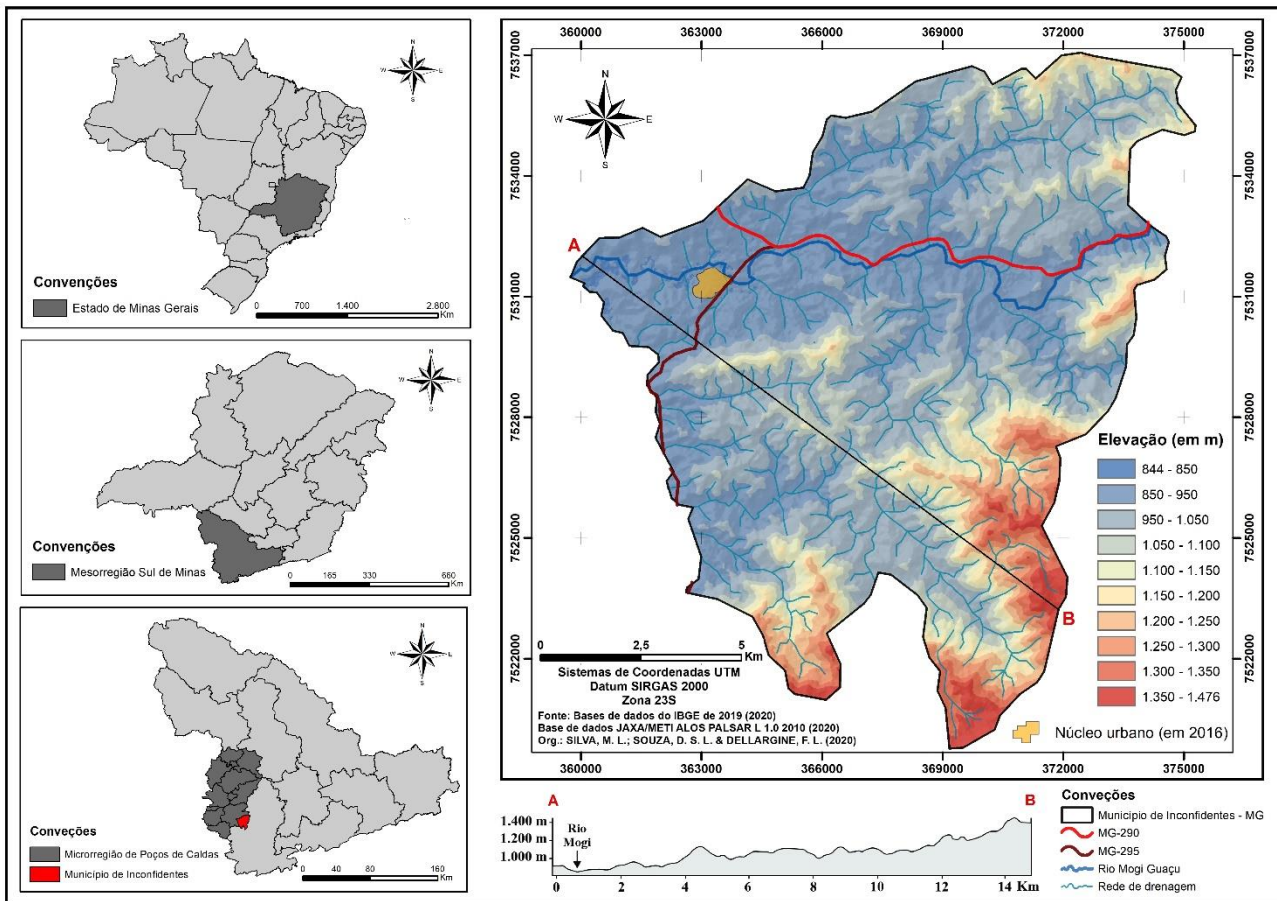
Quanto às formações geológicas, o município possui litologias com idades Neoproterozóicas, Paleoproterozóicas, Neoarqueanas e Cenozóicas (Souza e Silva, 2016). A maior parte do território municipal se encontra em unidades geológicas resultantes de dobramentos antigos ocorridos no Brasil. As principais formações são os complexos granitóides, graníticos-gnáissicos, seqüências vulcanossedimentares e depósitos fluviais ou flúvio-lacustres. A composição e estruturas das rochas, além de influenciar na velocidade, duração e intensidade do intemperismo, imprimem características físico-químicas peculiares nos solos oriundos dessas unidades geológicas.

A maior porção do território municipal se encontra nas unidades geomorfológicas de serras, representada pelas Serras da Mantiqueira/Itatiaia. Destaca-se também o Planalto Poços de Caldas e a Planície do Rio Mogi no quadro geomorfológico

do município (Souza e Silva, 2016). Não obstante, o município está inserido, em sua maior parte, numa geomorfologia regional representada por um recorte da Serra da Mantiqueira, a qual apresenta relevo de mares de morros, que se distribui de forma generalizada e homogêneo por toda a Província da Mantiqueira, predominando amplitudes locais de 100 a 300 metros e encosta superiores a 15% de declividades (Silva, Silva e Leonardi, 2015; Silva e Silva, 2016). Ressalta-se que o município possui ampla amplitude topográfica, que varia de 844 a 1.476 metros de altitude (Figura 1).

Com vegetação original pertencente ao Bioma Mata Atlântica e relevo de mares de morros, Inconfidentes possui uma ampla e diversificada rede de drenagem, dendrítica em sua maior parte, com inúmeras nascentes que deságuam no Rio Mogi Guaçu, principal canal fluvial municipal (Silva, Silva e Leonardi, 2015; Silva e Silva, 2016).

1



2
3
4

Figura 1. Mapa de localização e hipsométrico do Município de Inconfidentes – MG.

A economia é basicamente direcionada para o turismo de compras, indústria têxtil (malharias) e para a agropecuária, destacando-se a produção de café, alho, leite, milho, bucha vegetal, banana e feijão. O núcleo urbano principal do município, que ocupa um espaço de 1.913.157 m²,

é relativamente pequeno em comparação com a extensão territorial municipal (Figura 1), que possui uma área total de 149.394.163 m², (Silva, Silva e Leonardi, 2015).

Aquisição e tratamento de dados

A delimitação da rede de drenagem e do limite do município foram obtidos através das cartas topográficas digitais adquiridas da base de dados do IBGE referente aos Municípios de Ouro Fino - MG (Folha SF-23-Y-B-I-3) e de Borda da Mata - MG (Folha SF-23-Y-B-I-4), ambas com escala de 1:50.000 e elaboradas no ano de 1972.

As cartas topográficas dos municípios de Ouro Fino - MG e Borda da Mata - MG foram georreferenciadas a partir do software *ArcGIS* em sua extensão do *ArcMap*. Posteriormente procedeu-se ao mosaicamento das cartas já georreferenciadas, para posterior extração do limite do município. Manualmente, através da ferramenta *Georeferencing* do software, foram extraídos o contorno do município e a rede de drenagem.

Para elaboração dos mapas-base de vulnerabilidade ambiental foram utilizadas imagens de radar *Alos Palsar*, imagens do Satélite *Sentinel-2*, além da base de dados da ANA, IBGE, CODEMGE, CPRM, INMET, GMES e JAXA/METI.

Geologia

As unidades litoestratigráficas do município de Inconfidentes foram obtidas a partir do mapeamento geológico do Estado de Minas Gerais, em escala de 1:100.000, realizado em 2014 pela CODEMGE.

A definição dos graus de vulnerabilidade ambiental para as unidades litoestratigráficas seguiu à metodologia sugerida por Crepani et al. (2001), que determine graus variando de 1,0 a 3,0.

Segundo Crepani et al. (2001) o grau de coesão litológica constitui informação fundamental, uma vez que em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).

Geomorfologia

A definição da vulnerabilidade para a categoria geomorfologia seguiu a proposição de Crepani et al. (2001), que considera a média entre as variáveis declividade, amplitude altimétrica e grau de dissecação. Foi utilizado a álgebra de mapas (função *raster calculator*), após a definição dos pesos de cada categoria (função *reclassify*). Anteriormente a este procedimento, todos os arquivos no formato vetor foram convertidos em arquivos matricial ou raster (função de rasterização *feature to raster*). Dessa forma, a vulnerabilidade

geomorfológica (R) foi calculada pela seguinte equação:

$$R = (D + A + I) / 3 \text{ (1)}$$

Em que:

R = Vulnerabilidade geomorfológica

D = Vulnerabilidade atribuída à declividade

A = Vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica (grau de entalhamento do vale ou aprofundamento da dissecação)

I = Vulnerabilidade atribuída ao grau de dissecação (dimensão interfluvial ou densidade de drenagem)

As classes de declividade (D), que se refere à inclinação do relevo em relação ao horizonte, com os respectivos graus de vulnerabilidade foram definidas de acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), a partir de imagens de radar *Alos Palsar*, banda L, modo FBS, polarização HH, órbita 27350 e quadro 28, com resolução espacial de 12,7 metros, de 2010, adquirida da base de dados *ASF Data Search*. As imagens de radar também serviram de base para determinação da hipsometria. Para a determinação das classes clinográficas foi utilizada a função *slope* da aba *Surface* do *ArcGIS*. Posteriormente, foi aplicado o método de reamostragem convolução cúbica para os pixels.

O índice de dissecação do relevo, que define a amplitude altimétrica (A) e os graus de dissecação (I), foi determinado segundo a metodologia preconizada por Ross (2012) e Guimarães et al. (2017), utilizando, conjuntamente, os softwares *ArcGIS* e *QGIS*. A amplitude altimétrica (ou grau de entalhamento do vale) pode ser obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima contidas na unidade de paisagem natural. Contudo, em imagens de radar, o grau de entalhamento de cada pixel é a diferença altimétrica entre a superfície de referência e o valor de cada pixel (Guimarães et al., 2017). A dimensão interfluvial média (graus de dissecação ou densidade de drenagem) de cada bacia, de acordo com Guimarães et al. (2017), é calculada a partir da distância euclidiana média entre seus divisores de água.

Pedologia

O mapa pedológico e as respectivas análises química e granulométrica dos horizontes de solos foram obtidos a partir de Souza e Silva (2016), considerando a metodologia de Santos et al. (2015).

A definição dos graus de vulnerabilidade para o mapa pedológico se baseou na metodologia prescrita por Crepani et al. (2001).

Climatologia

As séries históricas empregadas foram obtidas a partir da base de dados do INMET e CPRM, gerenciadas pela ANA. Para as interpolações geoestatísticas foram consideradas as taxas de precipitação média anual das normais climatológicas, com séries históricas superiores ao recomendado pela Organização Meteorológica Mundial.

A interpolação geoestatística para a estimativa das taxas de precipitação média anual foi realizada através do *ArcGIS*, pelo método de ponderação do inverso da distância (IDW).

Os graus de vulnerabilidade ambiental da variável precipitação pluviométrica se basearam no método preconizado por Crepani et al. (2001).

Uso e ocupação da terra

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação da terra foi utilizado imagens ortorretificadas e com correção no topo da atmosfera do Satélite *Sentinel-2* no nível 1C, com resolução espacial de 10 metros e temporal de 5 dias, adquiridas em 11 de maio de 2020 (L1C T23KLR A016609 20200511T131241). As imagens são produtos do programa *Global Monitoring for Environment and Security* (GMES) ou programa de monitoramento global da segurança ambiental, uma iniciativa conjunta da Comissão Europeia (CE) e da Agência Espacial Europeia (ESA).

Após correções, foi elaborado a composição das bandas B02 (*Blue*), B03 (*Green*) e B04 (*Red*) para obtenção da cor verdadeira ou natural (4R3G2B). A opção pela composição natural se justifica pelo fato de atender aos objetos desse processamento digital de imagens, que reside na identificação e quantificação das áreas urbanas e com solo expostos, vegetação natural, culturas diversas e pastagens e gramíneas.

Dessa forma, foram definidas 4 classes: áreas urbanas e com solo exposto (classe 1), gramíneas e pastagens (classe 2), vegetação nativa (classe 3) e culturas diversas (classe 4).

As amostragens ocorreram por pixels e por região: 51 amostras para a classe 1, 23 para a classe 2, 27 para a classe 3 e 35 amostragens para a classe 4.

Para a classificação supervisionada foi utilizada a técnica estatística multivariada *Maxver*

(máxima verossimilhança ou *Maximum Likelihood*) através do *Spatial Analyst* do *ArcGIS*, com uma rejeição de frações de 0,9.

Além da verificação em campo, a classificação passou pelo filtro majoritário do *ArcGIS*, através da *Spatial Analyst Tools*, com kernel de 8 vizinhos (criando uma matriz 3x3) e considerando metade das células com o mesmo valor de pixel.

As quatro classes de uso e ocupação foram vetorizadas e individualizadas a partir da opção *Convert Tools* do *ArcGIS*.

A definição dos graus de vulnerabilidade para o uso e ocupação da terra se fundamentou na metodologia recomendada por Crepani et al. (2001).

Vulnerabilidade ambiental

Para o cálculo da vulnerabilidade ambiental (V) também foi utilizado a álgebra de mapas (função *raster calculator*), após a definição dos pesos de cada categoria (função *reclassify*), segundo a metodologia de Crepani et al. (2001). Os autores utilizam as variáveis geologia, geomorfologia, solos, clima, vegetação e uso da terra (uso e ocupação da terra) para definição da unidade de paisagem ou unidade territorial básica (UTB) na escala de vulnerabilidade à perda de solo. Seguindo a metodologia proposta, a vulnerabilidade ambiental foi determinada pela seguinte equação, em que o mapa de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem é gerado pela média aritmética dos valores individuais de cada tema ou variável:

$$V = (G + R + P + C + UO) / 5 \quad (2)$$

Em que:

V = Vulnerabilidade da unidade de paisagem

G = Vulnerabilidade geológica

R = Vulnerabilidade geomorfológica

P = Vulnerabilidade pedológica

C = Vulnerabilidade climatológica

UO = Vulnerabilidade para o uso e ocupação da terra

Dentro da escala de vulnerabilidade as unidades apresentam valores de 1,0 a 3,0 (Tabela 1): valores próximos a 1,0 representam as unidades com maior estabilidade, valores ao redor de 2,0 representam unidade com estabilidade intermediária e próximos a 3,0 indicam unidades territoriais básicas (UTB) mais vulneráveis.

Tabela 1. Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

Categoria Morfodinâmica	Relação Morfogênese-Pedogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio pedogênese/morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Tricart (1977) e Crepani et al. (2001).

Assim, a avaliação do modelo, de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem, dá-se pelas categorias estável, intermediária e instável (Crepani et al., 2001). Essas categorias morfodinâmicas foram estabelecidas por Tricart (1977): nos meios estáveis prevalecem cobertura vegetal densa, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas; nos meio integrados

(intermediários) ocorrem um equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas; e nos meio fortemente instáveis se identificam condições bioclimáticas agressivas (com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas), relevo com vigorosa dissecação, presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e geodinâmica interna intensa.

Resultados e discussão

Vulnerabilidade geológica

No Município de Inconfidentes foram identificadas sete unidades litoestratigráficas (Figura 2, Tabela 2). O Grupo Itapira, do Paleoproterozóico, abrange rochas metamórficas, principalmente biotita gnaisse, micaxisto e quartzito feldspático. O Complexo Mantiqueira, do Período Riachão é composto por rochas ígneas,

como os ortognaisses bandados tipo TTG. Também foi identificado três variações da unidade litoestratigráfica Complexo Varginha-Guaxupé, todas pertencentes ao Período Toniano. A Suíte Bragança Paulista, do Período Ediacarano, é formada por rochas ígneas, com tonalito e granodiorito foliados. A única formação do Cenozóico corresponde aos depósitos aluviais ou flúvio-aluviais, do Neógeno, composto por sedimentos clásticos inconsolidados.

Tabela 2. Vulnerabilidade para as unidades litoestratigráficas do Município de Inconfidentes - MG

Unidade Litoestratigráfica	Sigla	Área (km²)	%	Vulnerabilidade
Depósitos flúvio-aluviais	Qa	12,165	8,14	3,0
Suíte Bragança Paulista	NPEY1lbp	42,804	28,65	1,2
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvg	9,661	6,47	1,8
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvog	24,234	16,22	1,3
Complexo Varginha - Guaxupé	NPvp	8,932	5,98	1,0
Complexo Mantiqueira	PP2ma	47,223	31,61	1,3
Grupo Itapira	PPit	4,375	2,93	1,7

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001) e Guirra (2017).

Quanto à vulnerabilidade ambiental, as unidades litoestratigráficas apresentaram graus variando de 1,0 a 3,0 (Tabela 2). O Grupo Itapira, que representa 4,375 km² e ocupa aproximadamente 3% do território, foi definido, segundo a metodologia proposta por Crepani et al. (2001) e Guirra (2017), como grau 1,7. O Complexo Mantiqueira, que ocupa uma área de 47,223 km², equivalente a 31,61% do território municipal, apresentou grau 1,2. O Complexo Varginha-Guaxupé, em suas variedades, apresentaram graus 1,0 (NPvp), 1,3 (NPvog) e 1,8 (NPvg). À Suíte Bragança Paulista foi determinado grau 1,2 e aos depósitos flúvio-aluviais, 3,0.

A maioria das formações geológicas apresentaram graus de vulnerabilidade que as definem como meio estáveis. Contudo, os depósitos aluviais, que correspondem aos sedimentos da planície do Rio Mogi, com grau 3,0 constitui os meio mais instáveis no Município de Inconfidentes – MG. Dessa forma, os depósitos aluviais ou flúvio-aluviais, que representam 8,14% do município, constitui uma variável com alto peso para a definição da vulnerabilidade ambiental do município, por se constituir em meio fortemente instáveis. Esses depósitos, que se encontram, em sua maior parte, próximos às margens do Rio Mogi, vem experimentando

intensos processos erosivos e de assoreamento, reflexos das perdas da cobertura vegetal pelo desmatamento e degradação ao longo do tempo.

Os dados geológicos, sobretudo, a composição, a textura e estruturas litológicas, são fundamentais para se entender a dinâmica dos sistemas ambientais, pois facultam o melhor entendimento da relação entre rocha, relevo, solo e clima, elementos integrantes da metodologia de vulnerabilidade natural. Rochas muito coesas e resistentes ao intemperismo e aos processos erosivos são mais estáveis, o que confere maior equilíbrio aos sistemas naturais. Segundo Crepani et al. (2001) a contribuição da geologia para a

análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural (UTB) compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. “Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem” (Crepani et al., 2001, p. 32). Em rochas com bastantes coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese), ao passo que rochas pouco coesas a morfogênese possui primazia (Crepani et al., 2001).

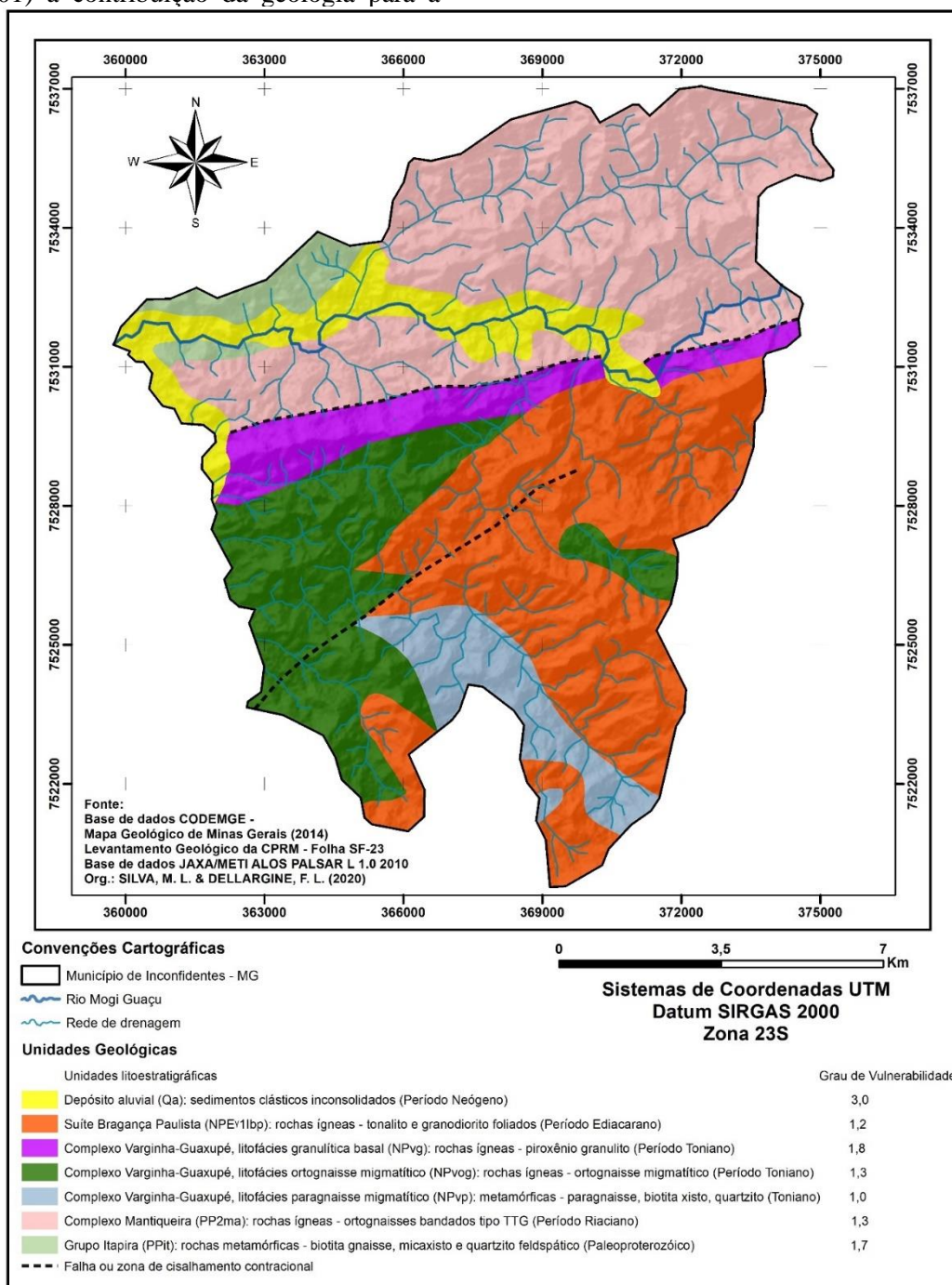


Figura 2. Mapa de vulnerabilidade ambiental para as unidades litoestratigráfica do Município de Inconfidentes – MG.

Vulnerabilidade geomorfológica

As classes de declividade (Figura 3) constituem uma importante variável geomorfológica para a determinação da

vulnerabilidade ambiental. As maiores porções do Município de Inconfidentes possuem classes alta a muito alta, com graus de vulnerabilidade entre 2,5 a 3,0 (Figura 3).

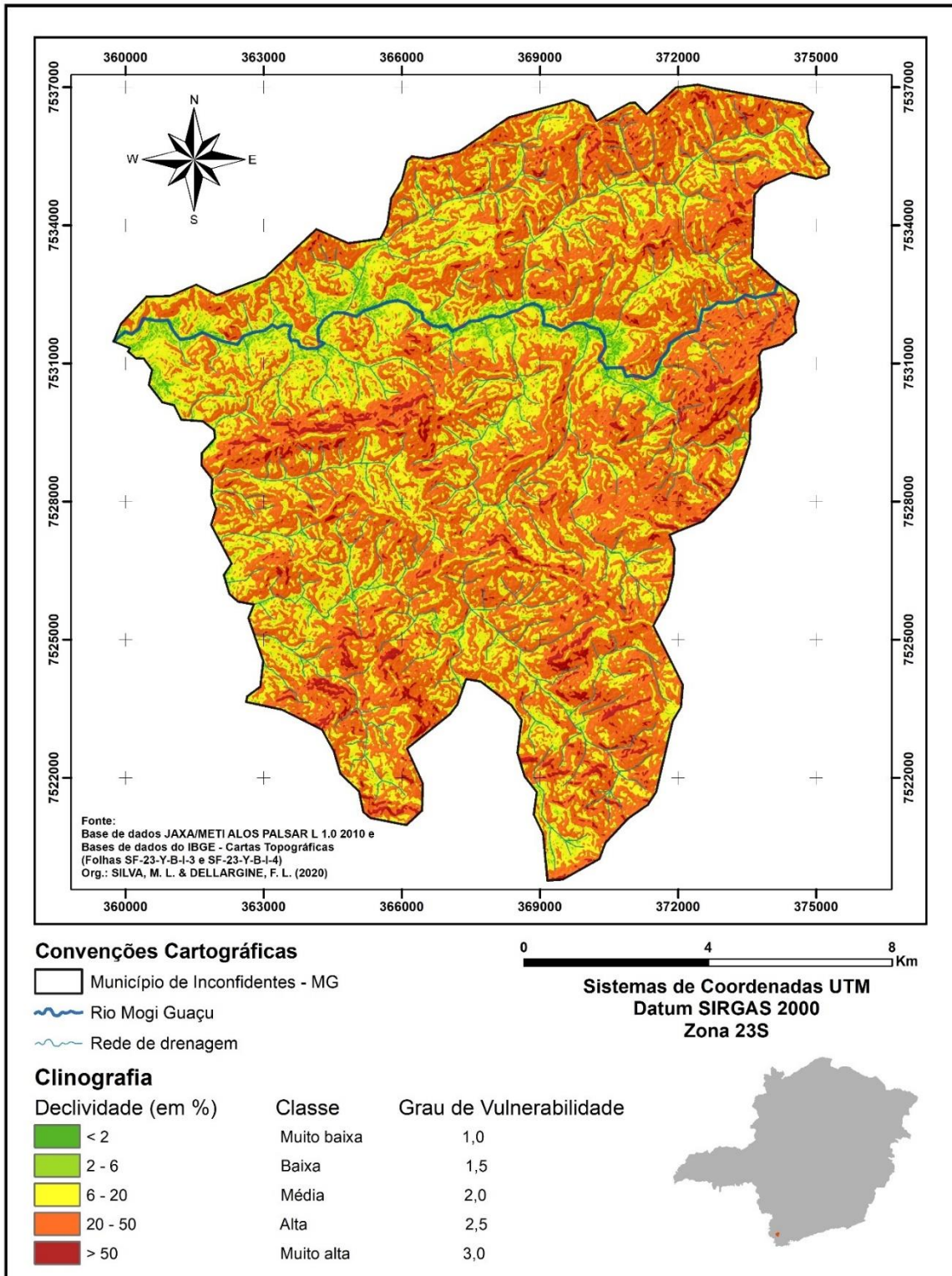


Figura 3. Mapa de vulnerabilidade ambiental para as classes de declividade do Município de Inconfidentes – MG.

Contudo, a vulnerabilidade geomorfológica, segundo a metodologia preconizada por Crepani et al. (2001), corresponde

a uma resultante entre a declividade (Figura 4), a dimensão interfluvial (Figura 5) e o grau de entalhamento do vale (Figura 6). Para isso, foi

necessária uma reclassificação das classes de declividade, para atender às exigências metodológicas proposta por Crepani et al. (2001) (Figura 4).

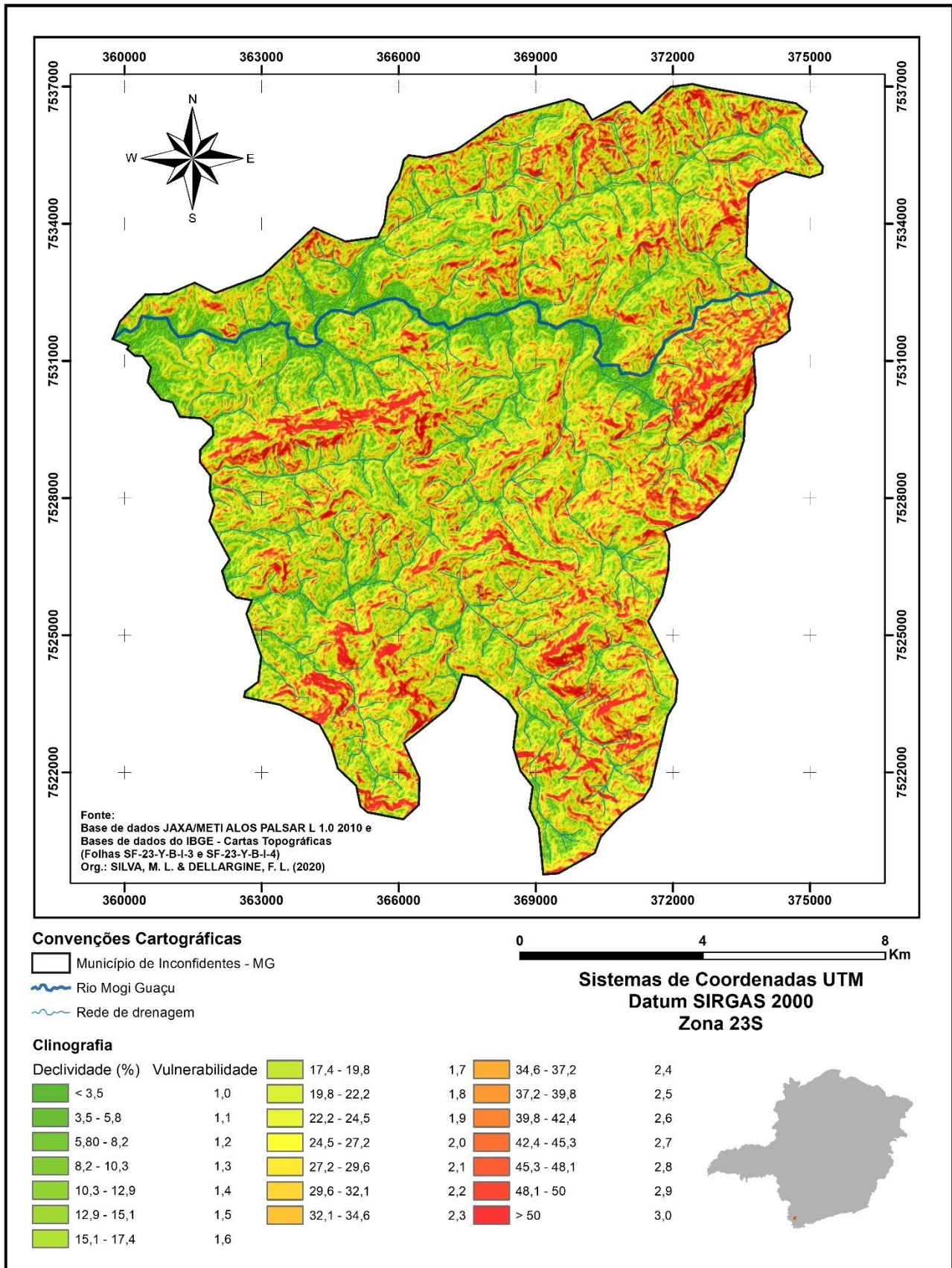


Figura 4. Mapa de vulnerabilidade ambiental para as 21 classes de declividade preconizadas por Crepani et al. (2001).

Segundo Crepani et al. (2001), a declividade guarda relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo *runoff* (enxurrada). “Quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais

transforma-se em energia cinética e maior é, também, a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo e, portanto, prevalece a morfogênese” (Crepani et al., 2001, p. 75).

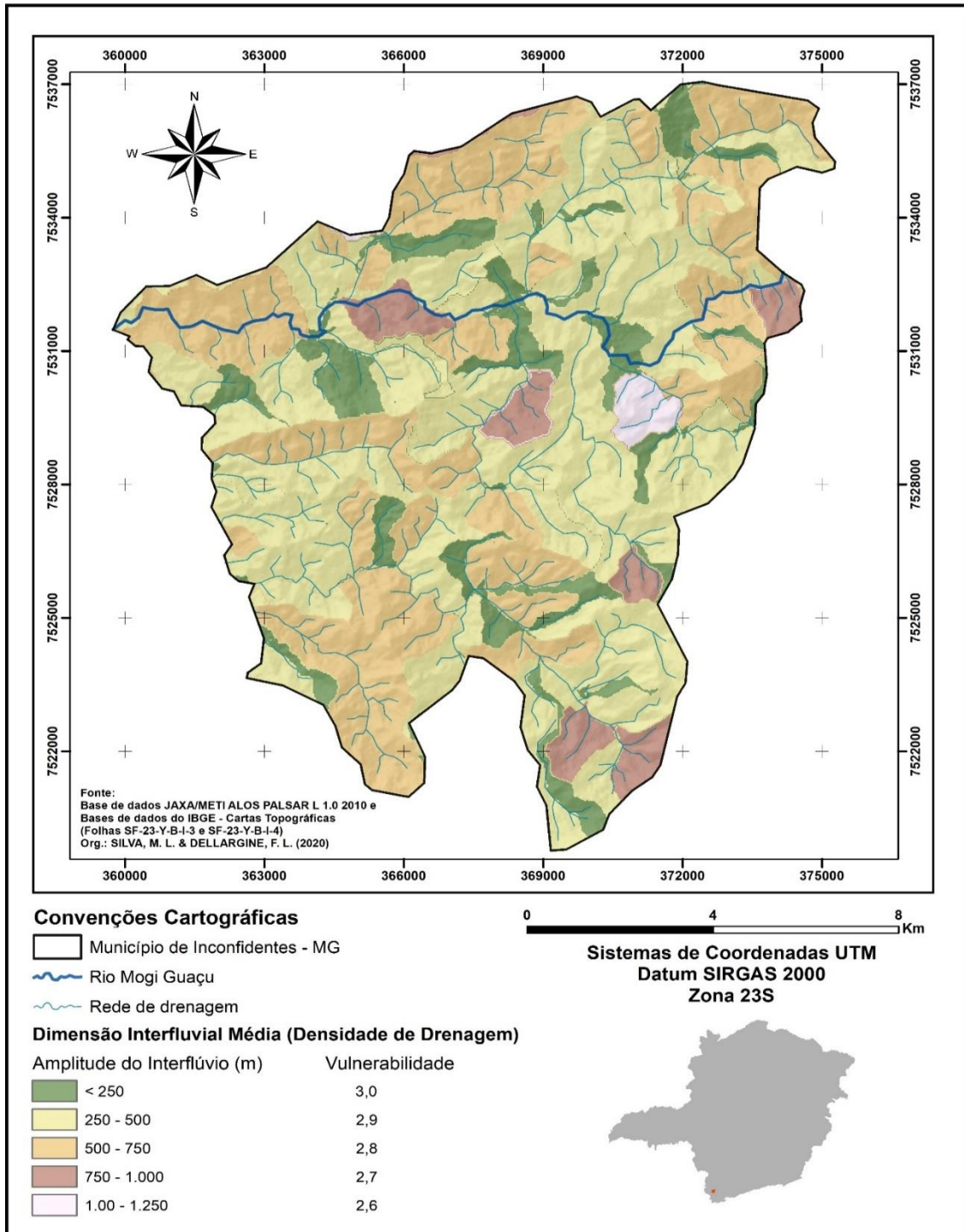


Figura 5. Mapa da dimensão interfluvial média (densidade de drenagem) para o Município de Inconfidentes – MG.

O mapa de vulnerabilidade do grau de dissecação (dimensão interfluvial ou densidade de drenagem) apresentou grau variando entre 2,6 a 3,0

(Figura 5). De acordo com Crepani et al. (2001) a intensidade de dissecação do relevo pela drenagem

está diretamente relacionada à permeabilidade do solo e da rocha.

O mapa de vulnerabilidade atribuída à amplitude altimétrica, grau de entalhamento do vale ou aprofundamento da dissecação (Figura 6)

apresentou todas as variáveis apontadas por Crepani et al. (2001). A amplitude altimétrica, relacionada com o aprofundamento da dissecação, se define como um indicador da energia potencial disponível para o *runoff* (Crepani et al., 2001).

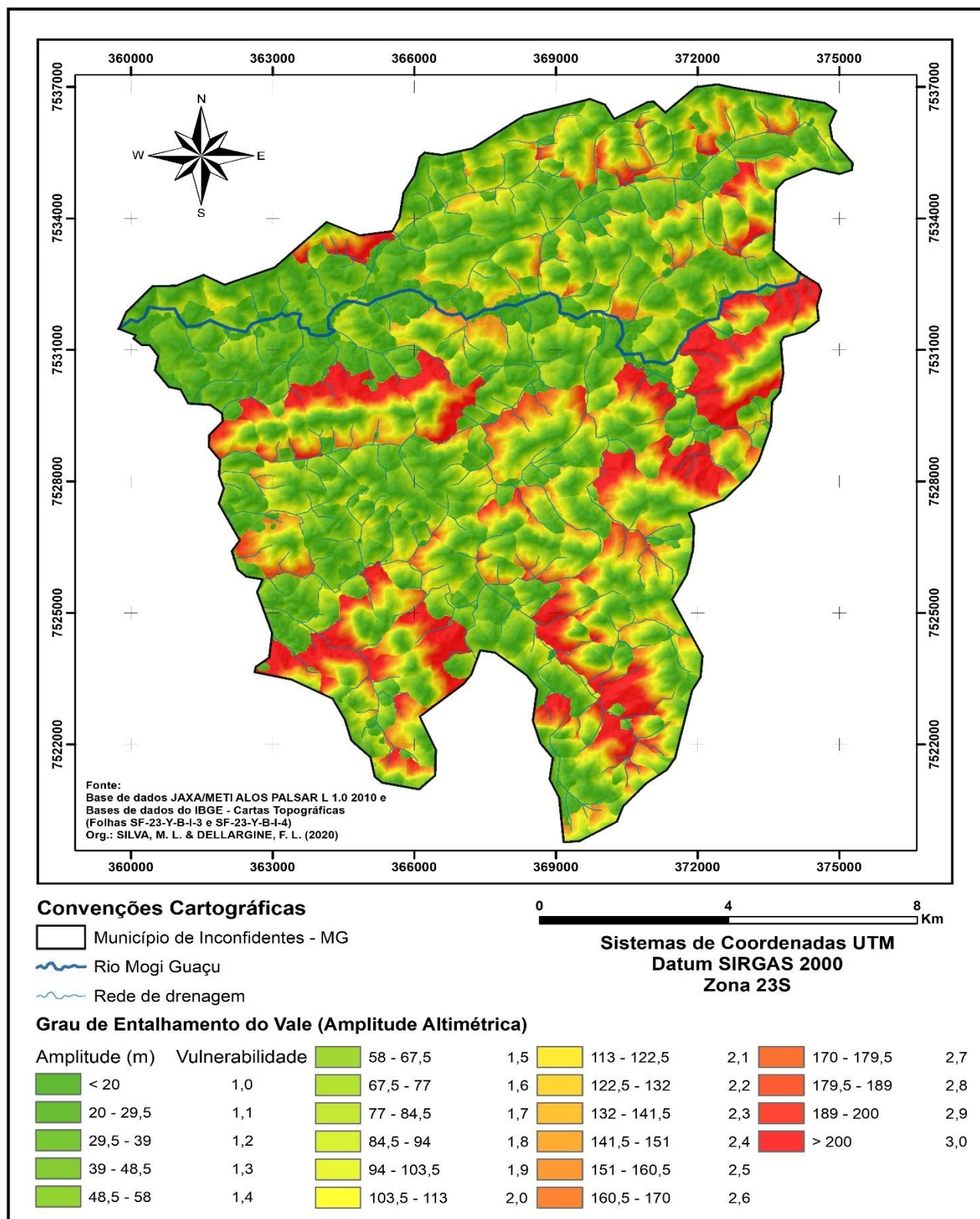


Figura 6. Mapa do grau de entalhamento do vale (amplitude altimétrica) para o Município de Inconfidentes – MG.

Uma parcela significativa do Município de Inconfidentes possui grau 2,0 (intermediário) para

a vulnerabilidade geomorfológica (Figura 7). À uma grande porção também foi atribuído grau 1,0

(Figura 7), o que indica estabilidade da paisagem, com predomínio da pedogênese sobre a morfogênese.

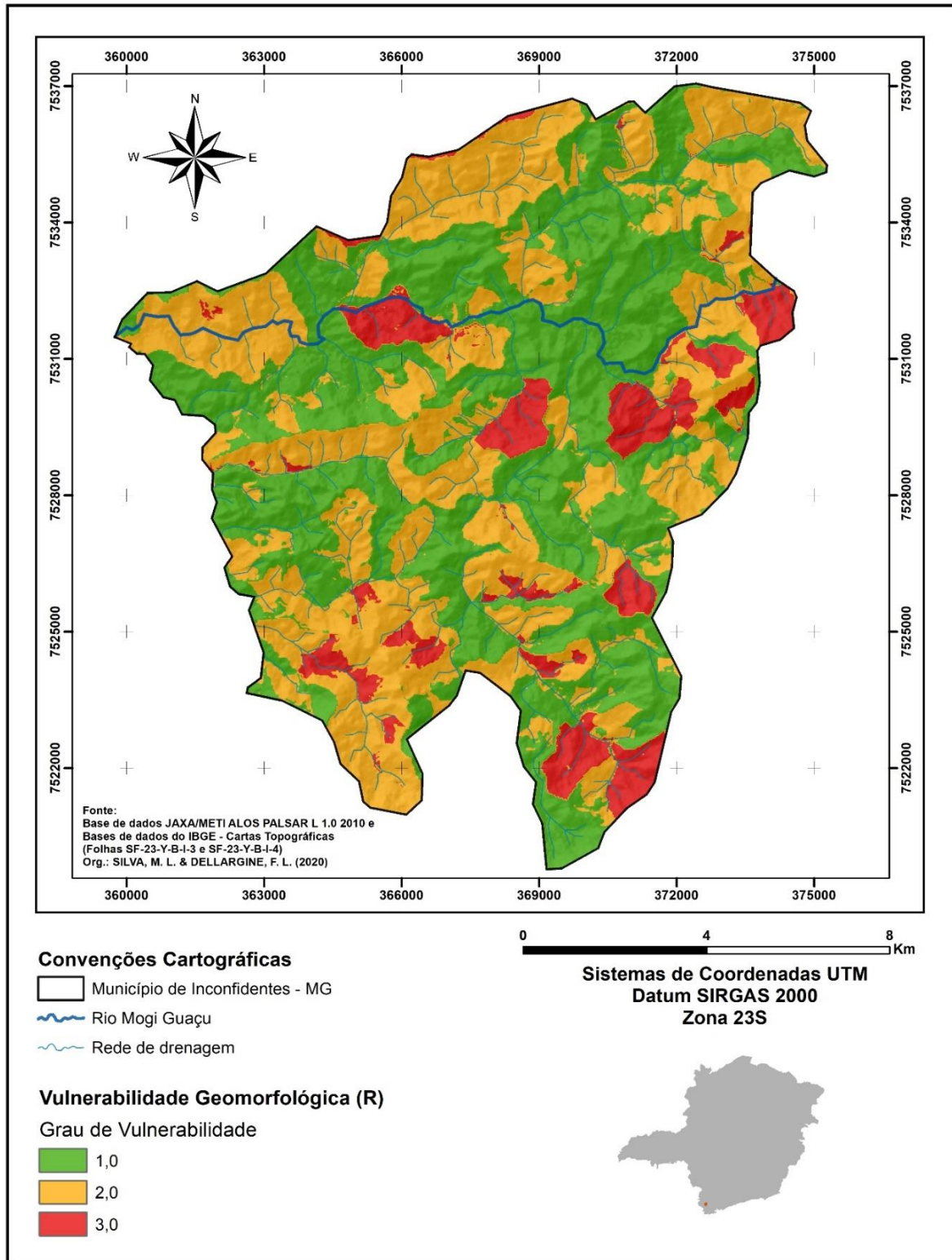


Figura 7. Mapa de vulnerabilidade geomorfológica para o Município de Inconfidentes - MG.

Vulnerabilidade pedológica

Quanto à pedologia, o município apresentou quatro classes de solos (Figura 8). A

primeira classe, representada pela sigla CXe, corresponde ao Cambissolo Háplico eutrófico típico com associação ou inclusão de Neossolos Litólicos (RL). A segunda classe também

representa a ordem de Cambissolo Háplico eutrófico típico, porém, com inclusão de solos com horizonte B textural (Bt).

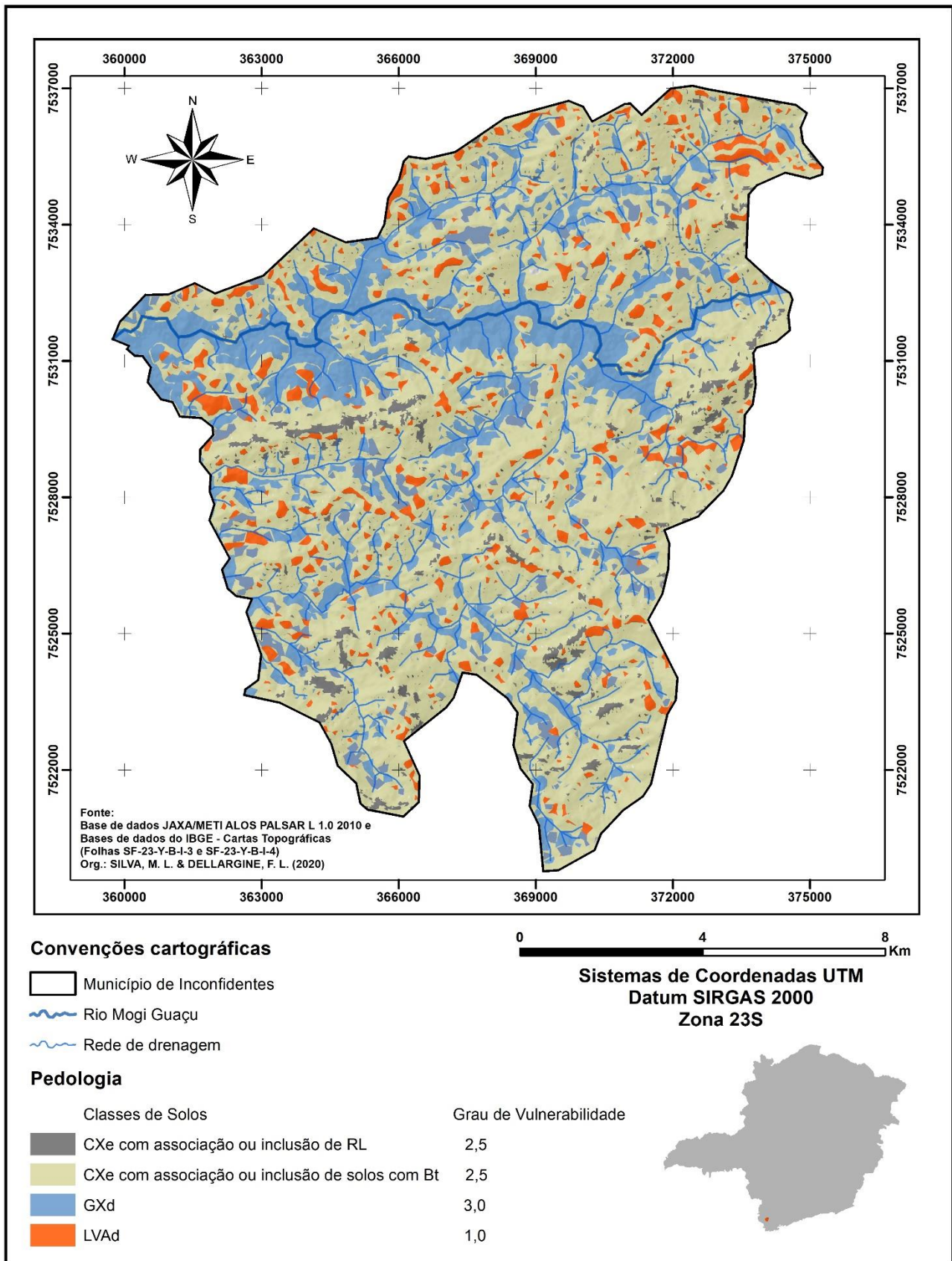


Figura 8. Mapa de vulnerabilidade ambiental para as classes de solos do Município de Inconfidentes – MG.

A classe GXd corresponde ao Gleissolo Háptico distrófico típico, enquanto que a classe LVAd representa ao Latossolo Vermelho-amarelo distrófico típico.

Nestas classes, o grau de vulnerabilidade variou entre 1,0 e 3,0 (Tabela 3). À classe CXe associado a RL e à classe CXe com associação ou

inclusão de solos com Bt foram definidas grau 2,5. A ordem dos Gleissolos (GXd) obteve grau 3,0 e a dos Latossolos (LVAd), 1,0. Dessa forma, os Latossolos correspondem às classes de solos com maior estabilidade, ao passo que os Gleissolos são os mais vulneráveis, com prevalência da morfogênese.

Tabela 3. Vulnerabilidade ambiental para as classes pedológicas do Município de Inconfidentes - MG

Solos	Sigla	GV
Cambissolo Háptico eutrófico típico com associação ou inclusão de Neossolo Litólico	Cxe-RL	2,5
Cambissolo Háptico eutrófico típico com associação ou inclusão de solos com horizonte Bt	Cxe-Bt	2,5
Gleissolo Háptico distrófico	GXd	3,0
Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico	LVAd	1,0

GV: Grau de Vulnerabilidade.

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

Os solos, como sistemas abertos e reflexos das interações entre os elementos do meio, além de propiciar o desenvolvimento das atividades produtivas, são excelentes indicadores da instabilidade ou estabilidade dos sistemas ambientais. Considerado passivo em relação ao fator climático, a categoria constitui importante variável na definição dos graus de vulnerabilidade e estabilidade dos sistemas ambientais (Crepani et al., 2001; Rovani et al., 2015; Lima e Silva, 2018; Santos e Martins, 2018; Leal et al., 2019).

Em Inconfidentes, a ordem dos Cambissolos, com associações e inclusões, que cobrem aproximadamente 46,126 km², representando cerca de 30% do território municipal, correspondem a ambientes pedológicos tendendo para a instabilidade, segundo a aplicação da metodologia sugerida por Crepani et al. (2001). Os Gleissolos Hápticos distróficos típicos (Figura 8), que cobrem 22,54% do espaço territorial (33.670.181 m²) representam a ordem de solos mais vulneráveis, com grau 3,0 (Tabela 3).

Vulnerabilidade climatológica

Para o mapa pluviométrico (Figura 9) utilizou-se parâmetros de análise envolvendo a

base de órgãos públicos e estações pluviométricas situadas em diversos municípios do sul de Minas Gerais. Foram usadas interpolações geoestatísticas considerando as taxas de precipitação média anual das normais climatológicas com respectivas séries históricas superiores ao período recomendado Organização Meteorológica Mundial.

Segundo Lima e Silva (2018) o fator climático considerado para a vulnerabilidade natural representa o potencial da chuva em remover o solo pela erosão hídrica, ou seja, a intensidade pluviométrica. Dessa forma, ela representa uma relação entre o quanto choveu e quando choveu (Lima e Silva, 2018). O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva (*runoff*) constituem os agentes ativos da erosão hídrica, ao passo que o solo corresponde ao agente passivo (Crepani et al., 2001; Lima e Silva, 2018).

A precipitação média anual, para o período de 1961 a 2010, foi de 1.475 mm/ano (Tabela 4) que, segundo a classificação preconizada por Crepani et al. (2001), possui classe estável, com grau 1,3 de vulnerabilidade, típica de ambientes sob clima tropical, com estações chuvosas bem definidas.

Tabela 4. Vulnerabilidade para a precipitação pluviométrica do Município de Inconfidentes - MG

Precipitação (mm/ano)	Área Total do Município (km ²)	Classe de Vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade
1475	149,394	Estável	1,3

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

De acordo com Caetano e Barbosa (2019) a probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Inconfidentes é variável para cada mês, mas segue um padrão no decorrer dos anos. “Inconfidentes - MG possui alta disponibilidade

hídrica, com maior volume de chuvas concentrado no período de verão, sendo uma região apta a várias culturas agrícolas” (Caetano e Barbosa, 2019, p. 547).

A intensidade da precipitação não afeta diretamente a maioria das formações geológicas, devido ao alto grau de resistência das rochas ao intemperismo e erosão. Contudo, associada com as altas declividades, ordens de solos muito vulneráveis e pouco planejamento e manejo, aliado

aos usos e ocupações conflitantes (Couto, Garcia e Silva, 2018), estas taxas pluviométricas podem potencializar os estágios de desestabilização dos sistemas naturais no Município de Inconfidentes – MG.

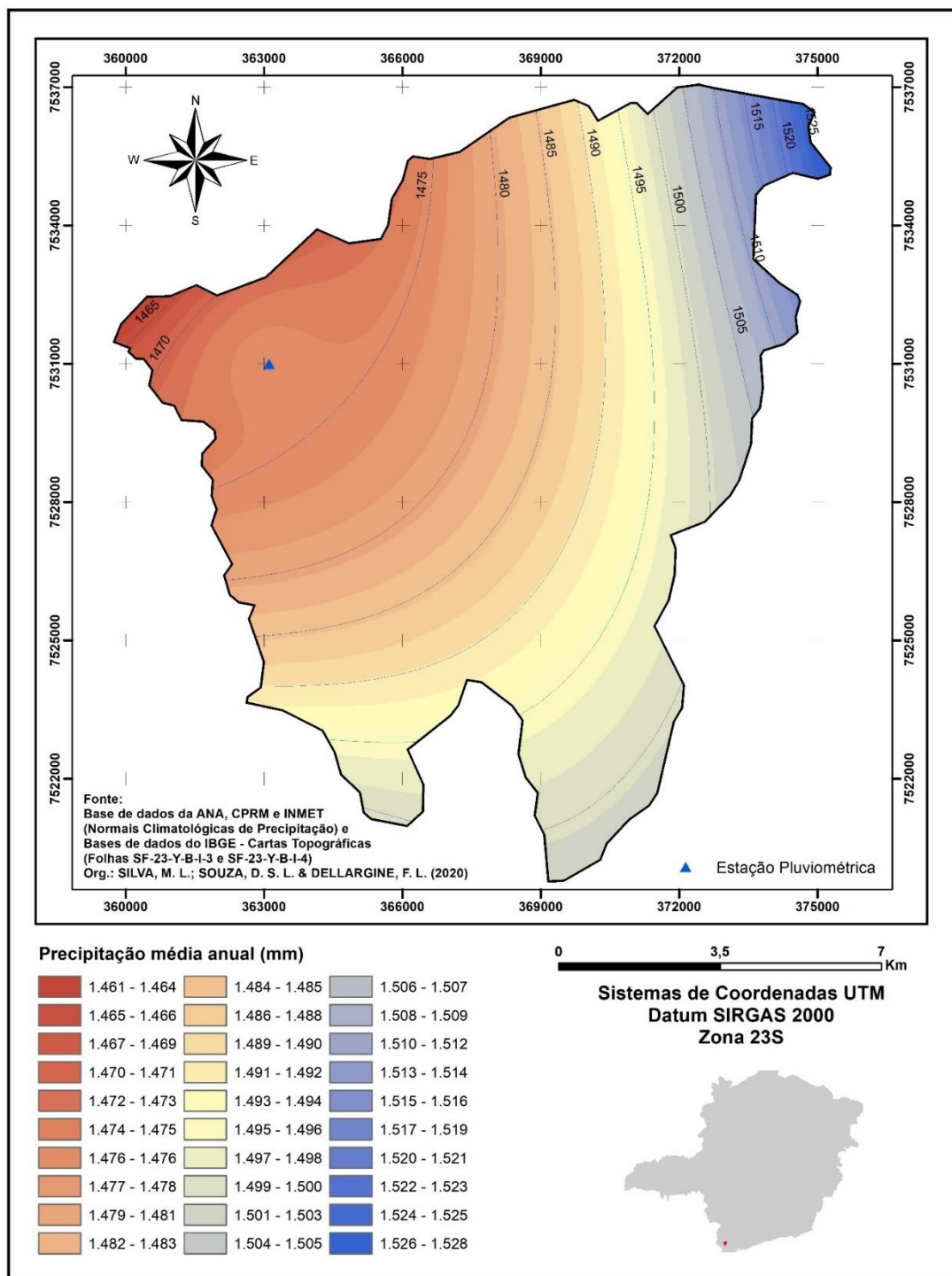


Figura 9. Mapa de precipitação média anual e de isoietas para o Município de Inconfidentes – MG.

Vulnerabilidade do uso e ocupação da terra

Foram definidas quatro classes de uso da terra e cobertura vegetal no solo no Município de Inconfidentes – MG (Figura 10, Tabela 5). A classe

áreas urbanizadas e como solo exposto ocupa 5,67% do território municipal, ao passo que a classe culturas diversas representam aproximadamente 44%, correspondente a 65,468 km² (Tabela 5).

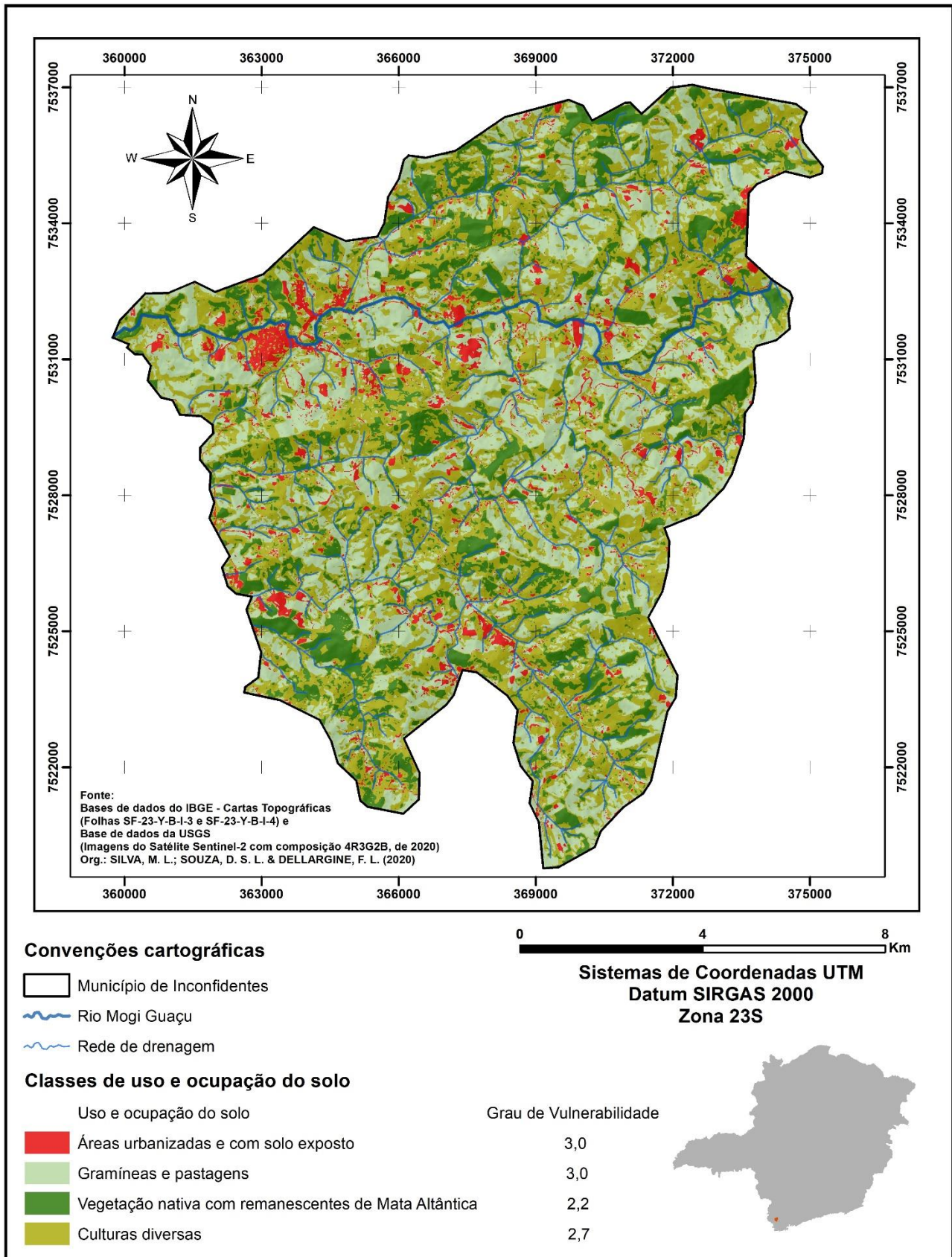


Figura 10. Mapa de vulnerabilidade ambiental para as classes de uso e ocupação da terra em Inconfidentes – MG.

Quanto ao grau de vulnerabilidade, as classes de uso e ocupação da terra variaram entre 2,2 e 3,0 (Tabela 5). As classes áreas urbanizadas e

com solo exposto, gramíneas e pastagens foram definidos grau 3,0, representado alta instabilidade ou vulnerabilidade para esses usos e ocupações. A

classe culturas diversas, que cobrem a maior área do município, obteve grau 2,7 de vulnerabilidade,

o que indica uma tendência a processo de desestabilizações ambientais.

Tabela 5. Vulnerabilidade para as classes de uso e ocupação da terra no Município de Inconfidentes - MG

Uso e Ocupação	Área (km ²)	%	Vulnerabilidade
Áreas urbanizadas e com solo exposto	8,472	5,67%	3,0
Gramíneas e pastagens	49,405	33,10%	3,0
Vegetação nativa	26,049	17,44%	2,2
Culturas diversas	65,468	43,79%	2,7
Área Total do Município	149,394	100%	

Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)

Conforme Lopes e Saldanha (2016), é muito importante a identificação das áreas de uso e ocupação da terra, pois uma análise da vulnerabilidade natural à erosão se relaciona também com a estabilidade que a cobertura vegetal garante ao solo. Kreitlow et al. (2016) ressaltam que, diferentemente das ravinas e voçorocas, a erosão laminar “está fortemente ligada a atividade antrópica através das formas de ocupação da terra, neste sentido, áreas diferentes que possuem a mesma susceptibilidade a erosão, mas que possuem usos diferentes estão sujeitas a apresentarem potencial a erosão diferentes entre si”. Crepani et al. (2001) ainda salientam que a densidade da cobertura vegetal é um parâmetro a ser obtido, pois é um fator de proteção da unidade de paisagem natural, responsável por amenizar a ação dos processos morfogenéticos, traduzidos na forma de erosão.

Nesse sentido, destaca-se a necessidade de adoção de práticas conservacionistas e que visem a manutenção e recuperação do solo, uma vez que o Município de Inconfidentes possui sua economia focada na agricultura e pecuária. A maior parte de seu território (Figura 10), que se encontra ocupada por culturas diversas (43,79%) e por coberturas de gramíneas e pastagens (33,10%), apresentam alto grau de vulnerabilidade, constituindo-se em ambiente propícios à ação antrópica e à desestabilização dos sistemas naturais. Assim, a adoção de práticas conservacionistas e preservacionistas podem garantir que a economia

local permaneça estável por um maior período de tempo, ao mesmo tempo em que os impactos ambientais também são minimizados.

Estudos sobre uso e ocupação da terra, além de identificar usos conflitantes, ocupações irregulares e estados de degradação do meio (Nunes e Roig, 2015; Silveira et al., 2015; Souza, 2015; Brito et al., 2016; Machado et al., 2017; Cobra et al., 2019), tem demonstrado uma correlação direta da urbanização com a degradação ambiental (Mesquita, Silvestre e Steinke, 2017).

Mapeamento da vulnerabilidade natural à erosão

No mapeamento da vulnerabilidade natural à erosão, resultante da média aritmética das variáveis, foram identificadas duas categorias morfodinâmicas no Município de Inconfidentes – MG: unidade territorial básica estável (grau 1,0) e intermediária (grau 2,0) (Figura 11, Tabela 6).

Uma maior porção território, correspondente a 98,283 km², ocupando cerca de 66% do município, possui grau 1 (Tabela 6), com categoria estável e predomínio da pedogênese segundo Tricart (1977). Dessa forma, A categoria intermediária (*intergrades*) corresponde a aproximadamente 34% do território municipal (Tabela 6), corresponde a áreas com tendência ao equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese.

Tabela 6. Classes e graus de vulnerabilidade ambiental no Município de Inconfidentes - MG

Categoria Morfodinâmica	Relação Morfogênese-Pedogênese	Grau de Vulnerabilidade	Área (km ²)	%
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0	98,283	65,79
Intermediária	Equilíbrio pedogênese-morfogênese	2,0	51,111	34,21

Considerando o solo como um sistema aberto e resultante da atuação do clima e da biota sobre o material parental, durante certo tempo e

controlado pelo relevo, deve-se ressaltar que as áreas com primazia da pedogênese tendem a evoluir em equilíbrio com os sistemas naturais

(Tricart, 1977; Crepani et al., 2001, Bastos, Maniese e Gomes, 2015; Lopes e Saldanha, 2016;

Guirra, 2017; Lima e Silva, 2018; Araújo et al., 2019; Leal et al., 2019).

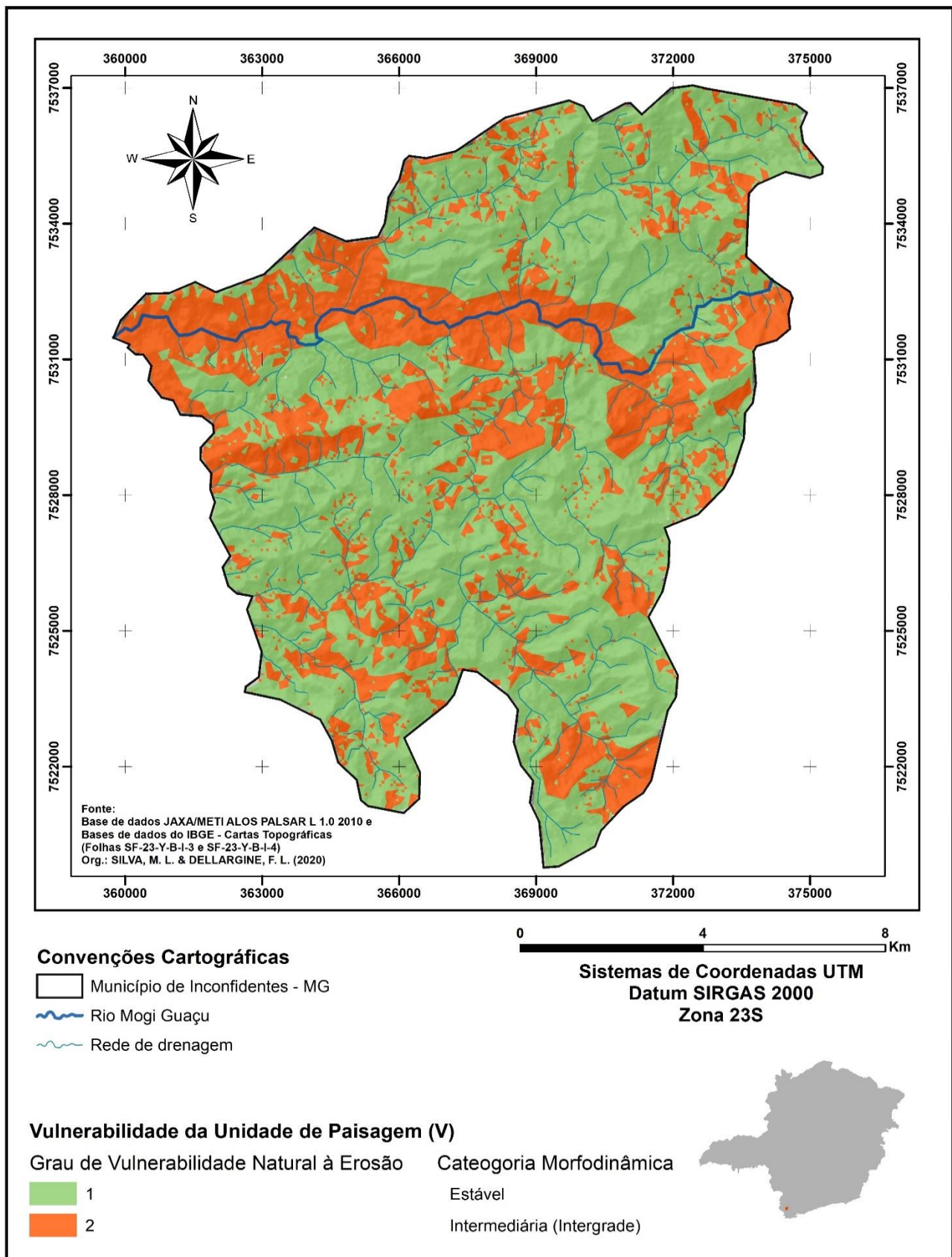


Figura 11. Mapa de vulnerabilidade ambiental do Município de Inconfidentes – MG.

Nas áreas intermediárias, que existem um equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese, quaisquer ações que não prescindam de planejamento, gestão e manejo adequados poderá direcionar esses ambientes para o extremo da morfogênese, com prevalência dos processos erosivos. Portanto, nessas áreas urge medidas urgentes e emergente no sentido de buscar a preservação e conservação destes meios, mantendo-os em equilíbrio dinâmico.

Ressalta-se que a maior parte das áreas consideradas de vulnerabilidade intermediária estão localizadas às margens do Rio Mogi-Guaçu (Figura 11). Isto indica que estas porções do município estão necessitando de maior preservação, uma vez que muitos destes trechos são considerados áreas de preservação permanente (APP), por sua importância ambiental. O artigo 4º do Código Florestal estabelece que as faixas marginais de qualquer curso d'água natural deve ser preservada. Observa-se também que outros locais de incidência do grau 2 de vulnerabilidade se dão próximos a outros cursos d'água, onde, teoricamente, deveria haver uma vegetação mais densa, que por sua vez são áreas menos vulneráveis à perda do solo.

Comparando o mapa de vulnerabilidade natural (Figura 11) ao de uso e ocupação da terra (Figura 10) também é possível concluir que as áreas mais vulneráveis coincidem com as cobertas por gramíneas e pastagens. Considerando os efeitos da ação antrópica, nestas áreas, além de apresentarem maior potencial erosivo quando em fase de preparo para cultivos, podem ficar mais vulneráveis às consequências das ações de fortes precipitações pluviométricas (Kreitlow et al. (2016).

Conclusão

A utilização de ferramentas do geoprocessamento se mostrou eficiente para a elaboração do mapa de vulnerabilidade ambiental natural à erosão do Município de Inconfidentes – MG, o qual permitiu realizar uma avaliação de como os sistemas ambientais estão se comportando frente às diversas pressões sofridas, sejam de ordem natural ou de natureza antrópica. A aplicação da metodologia proposta constitui uma ferramenta eficaz para auxiliar as autoridades na realização de planejamento, gestão e zoneamento territorial ambiental, permitindo analisar as restrições e potencialidades dos sistemas ambientais.

O mapeamento das unidades territoriais básicas (UTB) acusou que a maior parte do

município se encontra na categoria estável, com baixo grau de vulnerabilidade e predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. Contudo, ainda que a maior porção do território municipal tenha sido classificada com baixo grau de vulnerabilidade natural à erosão, são comuns a presença de sulcos e voçorocas, isoladas, mas pronunciadas, no município.

Portanto, para um ordenamento territorial mais adequado do ambiente, tendo em vista a recuperação e manutenção dos recursos hídricos de forma a assegurar a utilização sustentável deste recurso e a prevenção do ecossistema, recomenda-se uma maior fiscalização e monitoramento ambiental, intensificando políticas públicas específicas para estes objetivos, visando a evitar um desgaste prematura do solo e desestabilização da paisagem natural. De forma conjugada e ratificada, deve-se adotar práticas conservacionistas e que visem à manutenção e recuperação deste solo, devido à intensa atividade agropecuária praticada na região.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais, *Campus Inconfidentes* pelo apoio e ao IGE-UNICAMP, pela parceria.

Referências

- Araújo, I. R. G., Gomes, E. R., Gonçalves, R. M., Queiroz, H. A. A., 2019. Estimativa do índice de vulnerabilidade à erosão costeira (IVC) para o litoral do Piauí, Brasil. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 20, 105-118. Doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1260>
- Bastos, A. S., Maniese, V., Gomes, F. B., 2015. Vulnerabilidade natural à erosão no sudoeste da Amazônia associada aos seus modos de ocupação – O caso do entorno da terra indígena Uru Eu Wau Wau. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 16, 271-282. Doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v16i2.386>
- Bandeira, A. P. N., Nunes, P. H. S., Lima, M. G. S., 2016. Gerenciamento de riscos ambientais em Municípios da região metropolitana do Cariri (Ceará). *Ambiente & Sociedade* 19, 81-100. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0003r1v1942016>
- Brito, E. M., Mello, K., Costa, D. R., Faria, L. C., Valente, R. A., 2016. Geotecnologias aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo

- visando o planejamento ambiental. *Revista Irriga* 21, 577-590. Doi: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p577-590>
- Cobra, R. L., Silva, R. C., Oliveira, G. F. A. D., Miranda, D. L., 2019. Geoprocessamento aplicado ao levantamento e avaliação de solos: Proposta de avaliação de terras para fins agrícolas no Município de Inconfidentes – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 397-411. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p397-411>
- CODEMGE. Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais, 2020. Mapa Geológico de Minas Gerais. Belo Horizonte: CODEMGE, 2014.
- Costa, F.R., 2018. Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Doce (RN). Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.
- Couto, R., Garcia, K. J., Silva, M. L., 2018. Conflitos de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do Município de Inconfidentes–MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 2244-2259 .Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.07.p2244-2259>
- Crepani, E., Medeiros, J.D., Hernandez Filho, P., Florenzano, T.G., Duarte, V., Barbosa, C.C.F., 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. INPE, São José dos Campos.
- Guimarães, F. S., Cordeiro, C. M., Bueno, G. T., Carvalho, V. L. M., Nero, M. A., 2017. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 18, 155-167. Doi: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163>
- Guirra, A.P.M., 2017. Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis, MT, Brasil.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020. Censo Demográfico 2010. IBGE, Rio de Janeiro. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em:10 de junho de 2020.
- Kreitlow, J. P., Silva, J. S. V., Neves, S. M. A. S., Neves, R. J., Neves, L. F. S., 2016. Vulnerabilidade ambiental e conflito no uso da terra no município de Mirassol D’Oeste, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia* 68, 1917-1936.
- Leal, J. M., Aquino, C. M. S., Aquino, R. P., Valladares, G. S., 2019. Vulnerabilidade ambiental no município de São Miguel do Tapuio, Piauí: Bases para o ordenamento territorial. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 608-621. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.2.p608-621>
- Lima, M. M. P., Silva, L., 2018. Análise da vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, com apoio de geotecnologia. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 1442-1457. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>
- Lopes, M. S., Saldanha, D. L., 2016. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da bacia hidrográfica do Camaquã – RS. *Revista Brasileira de Cartografia* 68, 1689-1708.
- Marques, M. L., Silva M. C., Camargo, D. M., 2017. Análise espacial da vulnerabilidade socioambiental no Município de Campinas, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia* 69, 1857-1870.
- Machado, T. C. E., Campos, M. C. C., Paganini, C. H. P., Maurício, J. C., Soares, M. D. R., 2017. Avaliação do uso e ocupação das áreas de preservação permanente nos anos de 2008 e 2013 na zona urbana de Humaitá, Amazonas. *Revista Universidade Vale do Rio Verde* 15, 744-750. Doi: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v15i2.3017>
- Mesquita, F. N., Silvestre, K. S., Steinke, V. A., 2017. Urbanização e degradação ambiental: análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa

- de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 722-734. Doi: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170047>
- Nunes, J. F., Roig, H. L., 2015. Análise do uso e ocupação do solo da Bacia do Alto do Descoberto DF/GO através de uma classificação automática baseada em lógica nebulosa. *Revista Árvore* 39, 25-36. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000100003>
- Nunes, A. B., Leite, E. F., 2017. Geoprocessamento aplicado ao estudo de caracterização física e ambiental da bacia hidrográfica do rio Areias no estado do Tocantins, Brasil. *Espaço em Revista* 19, 104-127.
- Pagliarini, M. V. Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Rio Siemens, Região Sudoeste-PR. 2018. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2018.
- Pavanin, E. V., Chuerubim, M. L., Lázaro, B. de O., 2017. Geoprocessamento aplicado ao estudo de vulnerabilidade do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia-MG. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil IMED* 13, 17-31. Doi: <https://doi.org/10.5216/reec.v13i2.42460>
- Pavanin, E. V., Chuerubim, M. L., Lázaro, B. O., Nishiyama L., 2016. Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do córrego Guaribas em Uberlândia – MG. *Revista de Engenharia Civil IMED* 3, 24-38. Doi: <https://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v3n2p24-38>
- Prates, T. O. B., Amorim, R. R., 2017. Vulnerabilidade socioambiental das áreas sujeitas às inundações no Município de São João da Barra, RJ, Brasil. *Revista do Departamento de Geografia – USP volume especial – eixo* 8, 164-171. Doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.132477>
- Rovani, F. F. M., Cassol, R., Wollmann, C. A., Simioni, J. P., 2015. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. *Revista do Departamento de Geografia – USP* 29, 262-278. Doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v29i0.102085>
- Ross, J. L. S., 2012. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. *Revista do Departamento de Geografia – USP, volume especial de 30 anos*, 38-51. Doi: <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0003>
- Santos, J.O., 2015. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. *Mercator* 14, 75-90. Doi: <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0005>
- Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., Ker, J. C., Anjos, L. H. C., 2015. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 7. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa.
- Santos, P., Martins, A., 2018. Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Claro (GO) Utilizando Geotecnologias. *Revista do Departamento de Geografia - USP* 36, 155-170. Doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.143665>
- Silva, D. A. N., Silva, M. L., Leonardi, F. A., 2015. Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano: proposta preliminar de expansão urbano no município de Inconfidentes – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* 8, 1191-1205. Doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.4.p1191-1205>
- Silva, P. J., 2015. Uso e ocupação do solo urbano: uma análise dos impactos ambientais nas áreas de dunas no bairro de Felipe Camarão/Natal - RN. *Holos* 5, 91-103. Doi: <https://doi.org/10.15628/holos.2015.2350>
- Silva, L. C. N., Luchiari, A., 2016. Estimativa de perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do Córrego Bagaçu – SP. *Revista do Departamento de Geografia – USP* 32, 15-28. Doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v32i0.114308>
- Silveira, G. R. P., Campos, S., Gonçalves, A. K., Barros, Z. X., Pollo, R. A., 2015. Geoprocessamento aplicado na espacialização da capacidade de uso do solo em uma área de importância agrícola. *Energia na Agricultura*

30, 363-371. Doi:
<https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n4p363-371>

Souza, A. C. C., Silva, M. L., 2016. Geoprocessamento aplicado ao levantamento de solos no município de Inconfidentes - MG. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 200-214. Doi:
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.1.p200-214>

Souza, S. O., 2015. Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e da ocupação da terra na planície costeira de Caravelas (BA). Boletim Goiano de Geografia 35, 71-79. Doi: <https://doi.org/10.5216/bgg.v35i1.35485>
Tricart, J., 1977. Ecodinâmica. IBGE, Rio de Janeiro.