

## Aplicação do método AHP para mapeamento da suscetibilidade geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado - TO

Ribeiro, L.S. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA) ; Robaina, L.E.S. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA) ; Cristo, S.S.V. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS)

### RESUMO

A integração de variáveis geoambientais pode ser realizada através de sistema de informações geográficas, com aplicação de diferentes procedimentos metodológicos. Neste sentido, um método que tem auxiliado nas definições de pesos para tal função, é o AHP. Assim, o objetivo do trabalho é apresentar uma técnica para mapeamento da suscetibilidade geoambiental, tendo como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado. Para isso, organizou-se informações de uso e cobertura da terra, estradas, declividade, rede de drenagem, solos e litologias, esses dados foram comparados em uma matriz quadrada que gerou os pesos normalizados, utilizados na calculadora raster do software Qgis para realizar a integração das variáveis conformes os pesos definidos. Os resultados dessa integração apresentaram quatro unidades de suscetibilidade geoambiental para a área de estudo: baixa, média, alta e muito alta.

### PALAVRAS CHAVES

*SIG; Análise Integrada; Elementos Naturais; Atividades Humanas; Bacia Hidrográfica*

### ABSTRACT

The integration of geoenvironmental variables can be performed through geographic information system, with application of different methodological procedures. In this sense, a method that has helped in the definitions of weights for this function is the AHP. Thus, the objective of this work is to present a technique for mapping the geoenvironmental susceptibility, having as study area the watershed of Ribeirão Lajeado. For this, we organized information of land use and cover, roads, slope, drainage network, soils and lithologies, these data were compared in a square matrix that generated the normalized weights, used in the raster calculator of the Qgis software to perform the integration of the variables conforming to the defined weights. The results of this integration showed four geoenvironmental susceptibility units for the study area: low, medium, high and very high. The importance of the AHP method for defining weights and automatic crossings is highlighted.

### INTRODUÇÃO

O mapeamento geoambiental é uma técnica que busca realizar a integração de diferentes variáveis como relevo, substrato rochoso, rede hidrográfica, solos e uso e cobertura da terra, fornecendo informações sobre potencialidades naturais e limitações face as ocupações humanas (SILVA e DANTAS, 2010). Robaina e Trentin (2021) apontam que a análise integrada dos elementos do substrato rochoso e solos, correlacionados com o uso e cobertura da terra, é fundamental para compreender a dinâmica geomorfológica e auxiliar no manejo e planejamento de uma determinada área. A integração de variáveis pode ser realizada através de programas de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com aplicação de diferentes procedimentos metodológicos em cruzamentos automatizados. Neste sentido, um método que tem auxiliado nas definições de pesos para tal função, é o Processo Analítico Hierárquico (AHP). Este, foi criado por SAATY (1980) e tem como finalidade auxiliar na tomada de decisão de multicritérios, podendo ser utilizado em diversas áreas buscando determinar grau de importância para cada variável que está sendo avaliada. O processo AHP focaliza o estudo de sistemas por meio de uma sequência de comparações, aos pares, dos condicionantes (elementos) que têm influência no sistema considerado. Marques e Zuquette (2004), Marchiori-Faria e Augusto Filho (2010), Paula e Cerri (2012), França et al (2019), Robaina et al (2022) trabalham com o emprego do AHP na seleção e priorização de áreas com variados objetivos. Segundo Brito et al (2017) avaliação de multicritério em ambiente SIG constitui-se em uma importante ferramenta para o mapeamento da suscetibilidade, onde as diferentes classes obtidas

facilitam a hierarquização dos locais mais suscetíveis e favorecem a determinação de prioridades para o planejamento e direcionamento das ocupações humanas. Caldas et al (2019) destacam a importância do método AHP e apontam, quando associados às ferramentas SIG possuem um grande potencial de aplicabilidade na análise e identificação de áreas de suscetibilidade à erosão, devido a capacidade de processamento, visualização de diferentes temas e integração sobre a temática. Neste sentido, o objetivo do trabalho é apresentar uma técnica para mapeamento da suscetibilidade geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, utilizando a análise integrada das variáveis em SIG com a definição de pesos normalizados a partir do método do AHP. Nesta bacia hidrográfica tem presença parcial de duas unidades de conservação da natureza, uma de proteção integral o Parque Estadual do Lajeado e a outra de uso sustentável Área de Proteção Ambiental Serra do Lajeado, estas UCs, representam para região uma importante área para a proteção da fauna e da flora, contribuindo para a proteção dos mananciais hídricos da região. Porém, alguns aspectos de uso para atividade humana em especial atividade agropecuária tem gerado ameaças principalmente na APASL e no entorno do PEL, como é apontado no trabalho de Furtado e Cristo (2018).

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho, realizou-se o levantamento de materiais bibliográficos e cartográficos, utilizados nesta pesquisa. Os cartográficos foram produtos como: Modelo Digital de Elevação (rede de drenagem e declividade), litologias, solos, imagem de satélite (mapeamento do uso e cobertura da terra e as estradas) e demais informações em shapefile para a composição dos mapas no software QGIS 3.14.10. O mapeamento de uso e cobertura da terra utilizou-se a imagem de satélite Landsat 8 do mês de julho de 2021, adquirida pelo site do United States Geological Survey (USGS). Nesta imagem realizou-se a classificação supervisionada, definindo amostras e utilizando o algoritmo de máxima verossimilhança. Neste sentido, foram identificadas as seguintes classes formação florestal, formação savânica-campestre, agropecuária, cicatrizes de fogo e áreas urbanas. As estradas, na área de estudo, foram identificadas a partir de uma vetorização sob a imagem de satélites do Google Earth disponível no plugin do quickmapservices no software Qgis. Assim, foi possível mapear a espacialização das estradas na bacia hidrográfica. As informações da declividade e rede de drenagem foram obtidas a partir do MDE da Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) com resolução espacial de 30 metros, obtida na plataforma Topodata junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A rede de drenagem foi extraída de forma automática via software QGIS. A declividade foi definida nas seguintes classes: menor que 5%, de 5% a 15% e maior que 15%. O mapa de solos, foi baseado em dados de Sousa et al (2012), na escala de 1:250.000. Após análise deste produto e comparando com declividade, observou-se que era possível fazer alguns ajustes com base na relação solo-declividade. Para Nowatzki e Santos (2014), os diferentes tipos de solos podem ser compartimentados de acordo com as características do relevo. Nesse sentido, foram feitos ajustes no mapa de solos, onde foram identificadas as seguintes classes: Associação Argissolos Cambissolos, Associação Neossolos Cambissolos, Plintossolo e Latossolo. A litologia foi baseada nos dados do Serviço Geológico Brasileiro - CPRM e onde os autores Ribeiro e Alves (2017) realizaram o mapeamento das cartas geológicas na escala de 1:250.000 de Porto Nacional e Miracema do Norte que abrangem a bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado. As classes litológicas na área de estudo são: Cobertura Detrito Lateríticas, Formação Pimenteiras, Formação Jaicós e Cristalinas.

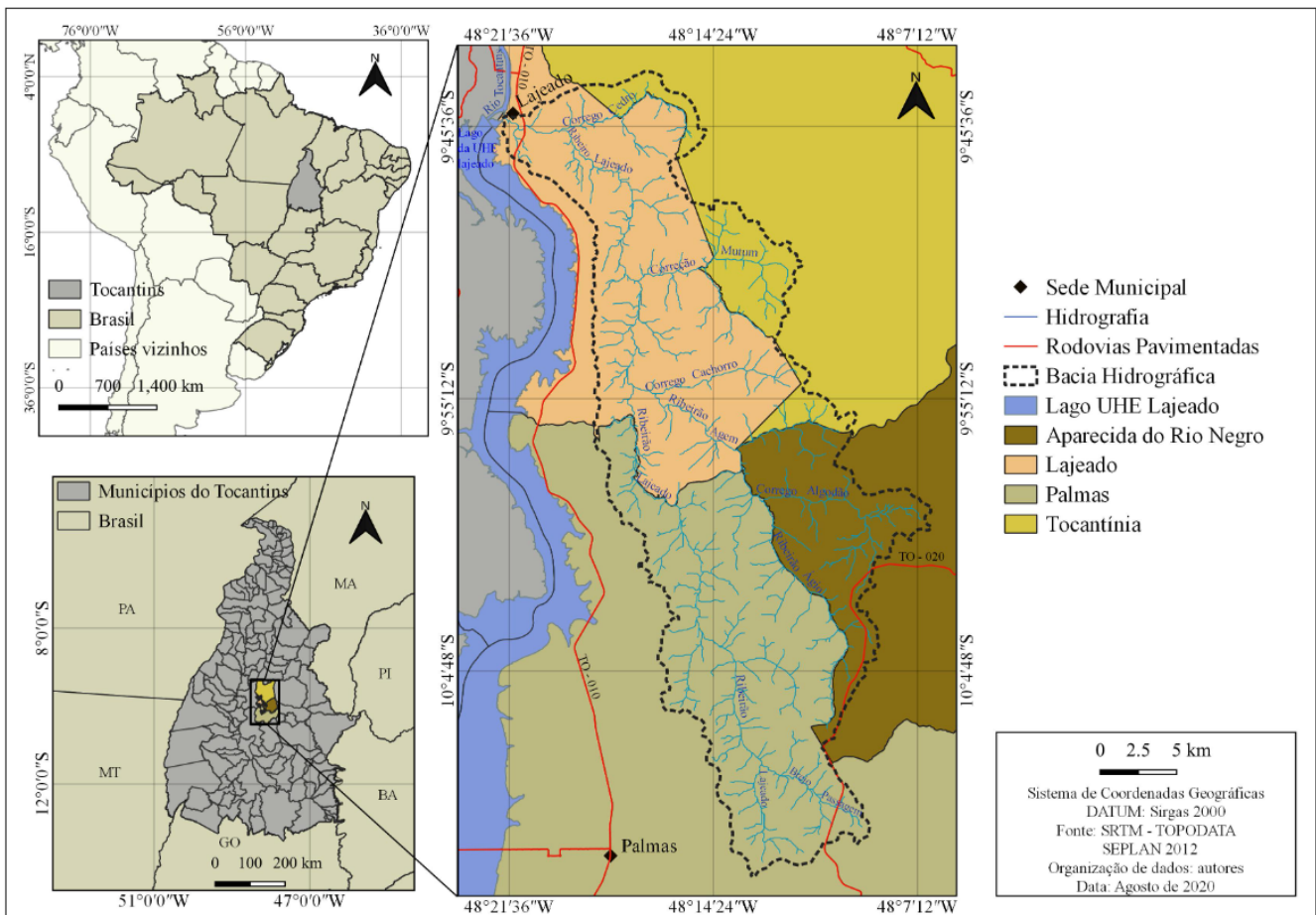
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado está localizada na porção central do estado do Tocantins, espacializando-se pelos municípios de Aparecida do Rio Negro, Lajeado, Palmas (capital) e Tocantínia (Figura 1). Figura 1: Localização da área de estudo Fonte: Autores (2020) A aplicação do método AHP para definir os pesos normalizados, inicia-se com a elaboração de uma matriz quadrada com as variáveis que são avaliadas entre o elemento A sobre o elemento B, com graus de importância. Após a definição desses valores obtém-se, através da soma das linhas o auto-vetor (pesos normalizados) que foram aplicados no cruzamento via SIG. Para validar a razão de consistência dos pesos normalizados, segue gerando algumas informações como produto, matriz, lambda, média, índice de consistência, índice randômico e por fim a razão de consistência das informações inseridas na matriz. Na análise do uso e cobertura da terra destaca-se a interferência da

cobertura vegetal na perda do solo, onde a densa espécie arbustiva apresenta baixa perda de solo, a espécie arbórea com pouca densidade mostra muita perda de solo (COSTA e RODRIGUES, 2015). Neste sentido, definiu-se o grau de importância, tendo como as áreas urbanas (peso 0,40), cicatrizes de fogo (peso 0,28), e agropecuária (peso 0,21) as mais suscetíveis e a formação florestal (peso 0,03) e savânica-campestre (peso 0,08) como as menos suscetíveis. Assim, para esses pesos normalizados encontrados apresentaram uma razão de consistência de 0,06. A declividade está relacionada a energia potencial das águas, quanto maior a declividade, mais rápido a energia potencial das águas transforma-se em energia cinética e maior é a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte (CREPANI et al. 2001). Áreas com maior declividade representam áreas mais suscetíveis a processos superficiais de erosão e movimentos de massa. Assim, as classes de declividade tiveram as seguintes definições: menor que 5% (peso 0,07), de 5 a 15% (peso 0,20) e maior que 15% (peso 0,73), para esses pesos normalizados foram encontradas a razão de consistência de 0,03. Para o solo baseou-se em informações que estão nos trabalhos dos autores Silva e Oliveira (2015) que apresentam uma tabela com os graus de erodibilidade diferentes tipos de solos. Assim, classificou-se o Latossolo (peso 0,04) como muito fraco ou fraco, o Plintossolo (peso 0,13) como médio, Associação Neossolo Cambissolo (peso 0,51) e Associação Argissolo Cambissolo (peso 0,32) como muito forte, para os pesos apresentados tiveram uma razão de consistência no valor de 0,04. Já a litologia da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado tem as seguintes classes: Cobertura Detrito Laterítica (peso 0,30), Formação Jaicós (peso 0,14), Formação Pimenteirias (peso 0,51) e Cristalina (peso 0,05), a razão de consistência para essas definições foram de 0,05. Nota-se, que no geral as principais suscetibilidades as litologias estão relacionadas aos processos de desagregação e erosão da rocha. A partir da obtenção desses pesos normalizados é possível inserir os mesmos na tabela de atributo de cada variável (shapefile) e em seguida transformar o mesmo e uma informação de raster. As informações lineares como estradas e rede de drenagem foram transformadas em espaciais utilizando-se um algoritmo que calcula a distância euclidiana, ou seja, uma linha reta no plano horizontal, onde é possível identificar o grau de participação, quanto mais próximo do objeto maior a intensidade e quanto mais longe menor influência. Pires e Carmo Junior (2018) destacam que alguns danos ambientais ocasionados pelas estradas são muitas vezes irreversíveis devido a supressão de vegetação e exposição do Solo, interferência nos habitats de animais nativos, modificações de Solo, desvios das drenagens naturais e barramentos de rios. Para Silva e Guerra (2015), as estradas não pavimentadas ocupam uma menor porcentagem de uso da terra, mas podem ser a maior fonte de perda de sedimentos. Neste sentido, considera as estradas como locais que podem promover o desenvolvimento de processos erosivos. A rede de drenagem representa áreas muito suscetíveis a degradação pela ação antrópica, e exerce uma forte influência sobre as condições de da suscetibilidade geoambiental. Assim, as informações de uso e cobertura da terra, estradas, declividade, rede de drenagem, solos e litologias, foram variáveis importantes para o mapeamento da suscetibilidade geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, para isso as mesmas passaram por uma matriz no AHP. Assim, com os julgamentos entre as variáveis definiu-se, que o uso e cobertura da terra considerada mais importante (peso 0,36), a estradas como a segunda mais importante (peso 0,26), a declividade (peso 0,18) e rede de drenagem (peso 0,12) como a intermediária e o solos (peso 0,06) e a litologia (0,02) com menores pesos. Na figura 2 apresentam um resumo dos procedimentos para elaboração da suscetibilidade geoambiental. Figura 2: Procedimentos para elaboração da suscetibilidade geoambiental Fonte: autores (2022) Na integração em SIG com apoio da calculadora raster aplica-se, a multiplicação da variável pelo seu respectivo peso, utilizando o sinal de adição entre cada variável. Dessa forma, foi gerado o mapa de suscetibilidade geoambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado (Figura 3), que apresenta quatro unidades: baixa, média, alta e muito alta. Figura 3: Suscetibilidade geoambiental da bacia hidrográfica Fonte: Autores (2021) A unidade de baixa suscetibilidade pode ser identificadas como locais que estão distantes de atividades humanas, seja elas como estradas, agropecuária, cicatrizes de fogo ou áreas urbanas, classes que foram mapeadas no uso e cobertura da terra. Outra característica marcante desta unidade, é a presença de elementos naturais conservados, como por exemplo a presença de cobertura vegetal natural, correlacionado com a características do relevo (áreas planas) litologias, solos e na distância euclidiana da rede de drenagem e estradas ficam na classe baixa, mapeando como locais menos suscetíveis ao desenvolvimento de processos erosivos. Na unidade de média suscetibilidade foram mapeados com algumas características importantes,

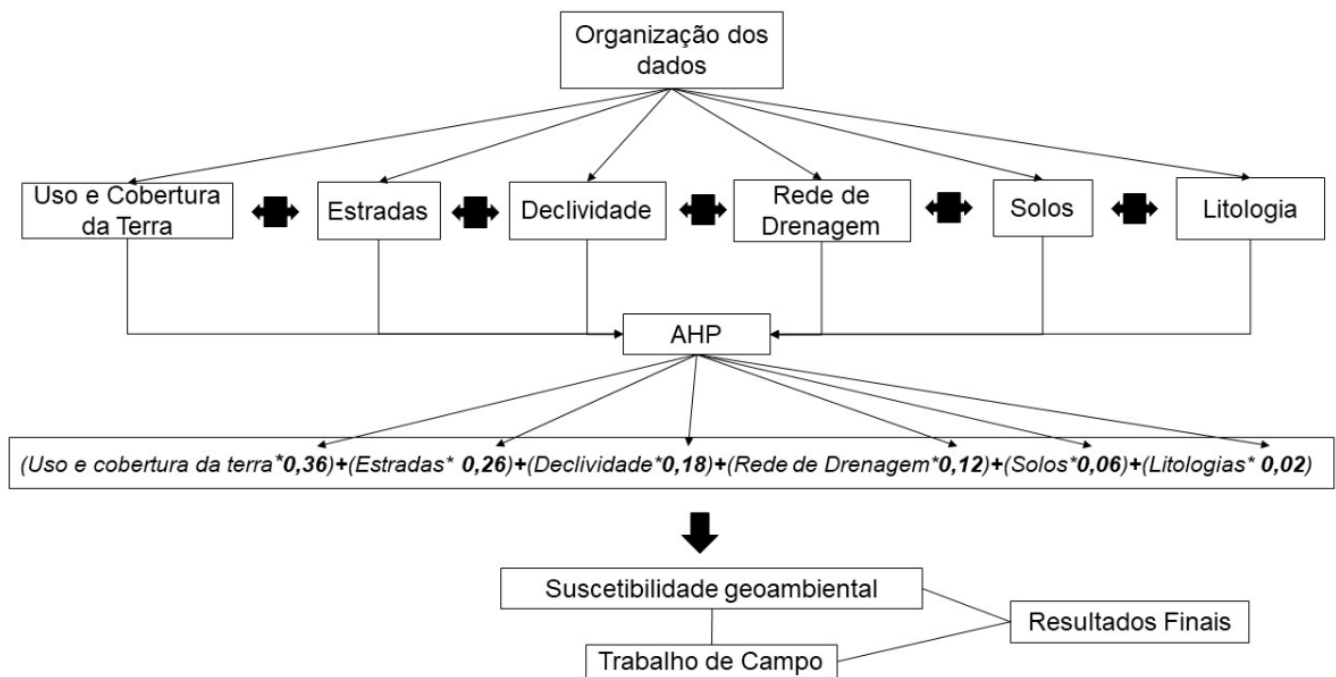
como por exemplo, são áreas que já apresentam um certo tipo de ocupação humana em alguns locais, porém as características naturais são mais importantes como a presença da cobertura vegetal do tipo de formação savânica- campestre, locais mais afastados das estradas. Observando a unidade de alta suscetibilidade, destaca-se que é a principal classe em termos de área na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, são locais facilitado pela ampla ocorrência de estradas e rede de drenagem abundante, e também com a presença de atividades humanas relacionadas a classe agropecuária. Essa unidade pode ser considerada como um local propício para desenvolvimento de processos erosivos, principalmente pela distribuição e concentração das estradas e confluência com a rede de drenagem. Já a unidade de muito alta suscetibilidade geoambiental são marcadas por quatro características: o acesso dado por várias estradas, porções de uso agropecuário em declividades maior que 15%, áreas mapeadas como cicatrizes de fogo e a área urbana. Outras características que podem ser associadas a essa unidade é ao alto grau para os processos erosivos. Contudo, pode-se dizer que o método do AHP é uma ferramenta importante para mapeamento e zoneamento geoambiental, e pode ser utilizada por profissionais de diferentes áreas de atuação, principalmente pela possibilidade analisar variáveis e realizar o cruzamento das mesmas via SIG. Esse procedimento pode auxiliar as pesquisas da ciência geográfica que busca analisar as características naturais do ambiente e relacionar com a espacialização das atividades humanas, como apresentado neste trabalho.

Figura 1



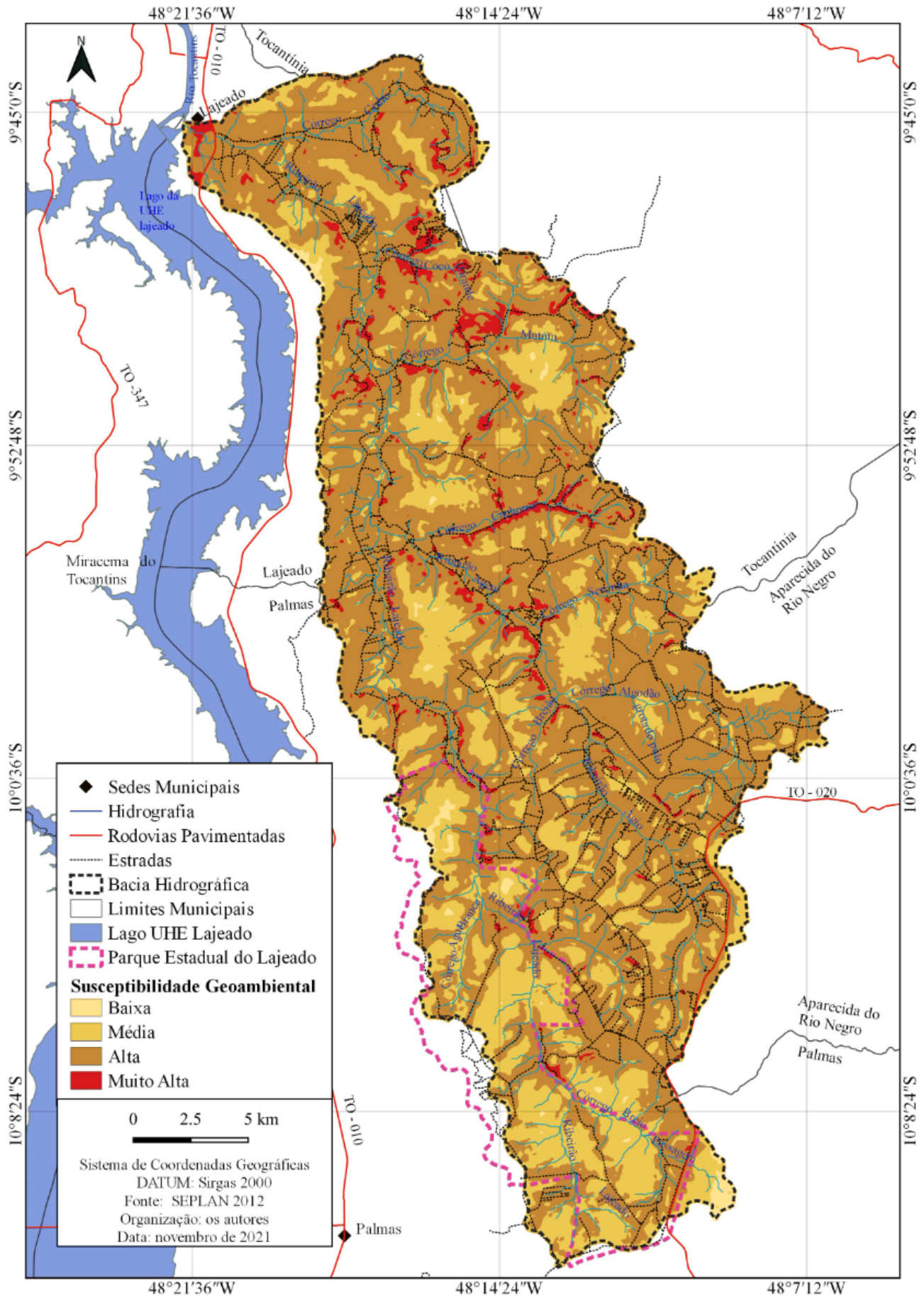
Localização da área de estudo

Figura 2



*Procedimentos para elaboração da suscetibilidade geoambiental*

Figura 3



*Suscetibilidade geoambiental da bacia hidrográfica*

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim, o método do AHP para definição de pesos normalizados e cruzamentos automáticos via SIG, apresenta-se como uma resposta adequada para obtenção da suscetibilidade geoambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado, e pode se tornar uma ferramenta importante para identificação de áreas suscetíveis a erosão, bem como auxiliar na conservação da natureza.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- BRITO, A. M.; WEBER, E. J.; PASSUELLO, A. Avaliação multicritério aplicada ao mapeamento a suscetibilidade a escorregamentos: o caso do Bairro Cascata, Porto Alegre, RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.03, 735-749, 2017. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170048>
- CALDAS, V. I. S. P.; SILVA, A. S.; SANTOS, J. P. C.; Suscetibilidade a erosão dos solos da bacia hidrográfica Lagos - São João, no estado do Rio de Janeiro - Brasil, a partir do método AHP e análise multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.12, n.04, 1415-1430, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.4.p1415-1430>
- COSTA, Y. T.; RODRIGUES, S. C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. *Revista Geográfica Acadêmica*, v.9, n.2, 2015. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v9i2.3160>
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 103 p.
- FRANÇA, L. C. J. et al. Zoneamento da fragilidade ambiental de ecossistemas naturais e antropizados por meio de avaliação multicritério. *Nativa*, Sinop, v. 7, n. 5, p. 589- 599, set./out. 2019. <https://doi.org/10.31413/nativa.v7i5.7300>
- FURTADO, S. E.; CRISTO, S. S. V. Análise das transformações ambientais no entorno do Parque Estadual do Lajeado, Palmas - Tocantins. *Geografia, Ensino e Pesquisa*, v.22, e. 13, p. 01-11, 2018. <https://doi.org/10.5902/2236499429699>
- INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Portal do Topodata. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- MARCHIORI-FARIA, D. G.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de perigo associado a escorregamentos em encostas urbanas utilizando o Processo de Análise Hierárquica (AHP). In: *Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*, Maringá, v. 7, 2010.
- MARQUES, G. N.; ZUQUETTE, L. V. Aplicação da técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários - Região de Araraquara (SP), Brasil. In: PEJON, O. J.; ZUQUETTE, L. V. (eds.), *Cartografia Geotécnica e Geoambiental*. São Carlos. Suprema Gráfica Editora, p. 263-272, 2004.
- NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C. Mapeamento digital de solos por pedometria com base em atributos topográficos da bacia hidrográfica do Rio Pequeno-Paraná. *Revista RaeGa*, v.31, p.185-211, dez./2014. <https://doi.org/10.5380/raega.v32i0.33769>
- PAULA, B. L.; CERRI, L.E.S. Aplicação do processo analítico hierárquico para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeçerica da Serra e Suzano (SP). *Geociências*, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.
- PIRES, R. R.; CARMO JUNIOR, G. N. R. Processos erosivos em rodovias: uma revisão sistemática sobre os métodos de previsão e monitoramento. *Engineering and Science*, v. 4, ed. 7, 2018.

<https://doi.org/10.18607/ES201876853>

RIBEIRO, P. S. E.; ALVES, C. L. Geologia e Recursos Minerais da Região de Palmas: Folha Miracema do Norte (SC.22-X-D), Porto nacional (SC.22-Z-B) e Santa teresinha (SC.22-Z-a). escala 1:250.000. Goiânia: CPRM, 2017.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Compartimentação geoambiental no município de São Vicente do Sul, RS, Brasil. *Terr@ Plural*, v. 15, p. 1-15, 2021. <https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.15.2113645.008>

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; SCCOTI, A. A. V.; PETSCH, C. Utilização da análise hierárquica ponderada em atributos do relevo para o zoneamento da suscetibilidade a voçorocamentos na bacia hidrográfica do Rio Santa Maria/RS. *Revista Brasileira de Geografia Física*.v.15, n.02, 994-1008, 2022. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p994-1008>

SAATY, T. *The analytic hierarchy process: planning, prioity setting, resource allocation*. New york: MCGraw-hill. 1980.

SEPLAN - Secretaria de Planejamento do estado do Tocantins. Perfil socioeconômico dos municípios: Lajeado. 2017. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/348406/>. Acesso em: 9 set. 2021.

SILVA, C. R.; DANTAS, M. E. Mapas Geoambientais. In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá - PR, p. 1-17. 2010.

SILVA, G. G.; OLIVEIRA, L. N. Análise das suscetibilidades e potencial à erosão laminar no município de São Miguel do Araguaia - GO. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.

SILVA, L. F. C. T.; GUERRA, A. J. T. Avaliação da Susceptibilidades à erosão ao longo da RJ-165 (Estrada Paraty-Cunha) através da análise das propriedades físicoquímicas dos solos. *Revista Geonorte*, v.6, n.25, p.1-23, 2015.

SOUSA, P. A. B.; BORGES, R. S. T.; DIAS, R. R. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da Gestão Territorial*. Palmas: SEPLAN, 2012. 80p