



MAPEAMENTO DE SUSCETIBILIDADE À DESASTRES NATURAIS ATRAVÉS DO USO DA LÓGICA NEBULOSA NO MUNICÍPIO DE ALEGRE-ES



<https://doi.org/10.56238/levv15n41-034>

Data de submissão: 08/09/2024

Data de publicação: 08/10/2024

Jenesca Florencio Vicente de Lima

Doutora em Produção Vegetal (UFES)

Docente e pesquisadora na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Gabriel Cardoso de Oliveira

Bacharel em Geologia (UFES)

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Cristiano José de Lima

Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (UFES)

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Maria Geralda de Carvalho

Mestra em Geologia (UFRJ)

Docente e pesquisadora na Universidade Federal Rural do Espírito Santo (UFRRJ)

RESUMO

Entre as diversas problemáticas que o Brasil enfrenta atualmente, poucas possuem impacto social e humano tão significativo quanto aquelas relacionadas aos fenômenos naturais e suas consequências negativas para a sociedade, especialmente os eventos de natureza geotécnica e as inundações. Em um país como o Brasil, que sofre com a falta de planejamento urbano e de investimentos adequados em infraestrutura para prevenir esse tipo de ocorrência em várias esferas, tragédias recorrentes se acumulam ano após ano, sempre acompanhadas da percepção de que poderiam ter sido evitadas. Por outro lado, as geociências têm se mostrado cada vez mais abertas às novas geotecnologias. Nesse contexto, o presente trabalho apresentou novos caminhos que ofereçam recursos úteis para buscar soluções de curto a médio prazo, auxiliando na superação dos diversos desafios relacionados a essa temática, tanto em nível nacional, quanto regional e municipal. Dessa forma, foi utilizada a metodologia relacionada à geotecnologias e suas diversas técnicas, com destaque para a Lógica Nebulosa, que se constituiu como o principal pilar deste estudo. Ao final, a metodologia adotada se mostrou eficaz em apontar as áreas de maior susceptibilidade à problemas geotécnicos e inundações, revelando grande potencial para futuras aplicações de maior complexidade e abrangência.

Palavras-chave: Geotecnologia, Geotecnia, Inundação, Lógica Nebulosa.

1 INTRODUÇÃO

O município de Alegre enfrenta desastres naturais recorrentes de variadas formas e magnitudes, incluindo movimentos de terra e inundações, que são tratados como prioridade neste trabalho. Em fevereiro de 2022, por exemplo, jornais locais e regionais noticiaram que a região foi impactada por volumes elevados de precipitação inesperados em um curto período. Esse fenômeno resultou em múltiplos casos de inundações e deslizamentos em todo o território do município, causando danos materiais e humanos significativos. Entre as consequências, houve duas mortes, dezenas de famílias desabrigadas, destruição de patrimônio público, além da interdição parcial de trechos de rodovias e ruas locais (DIÁRIO DO NORDESTE, 2022). No ano seguinte, em janeiro de 2023, o evento se repetiu com menor intensidade, mas ainda assim as fortes chuvas provocaram deslizamentos e a queda de um poste de energia na BR-482, gerando transtornos e custos materiais consideráveis para a população e autoridades locais (CALIMAN, 2023).

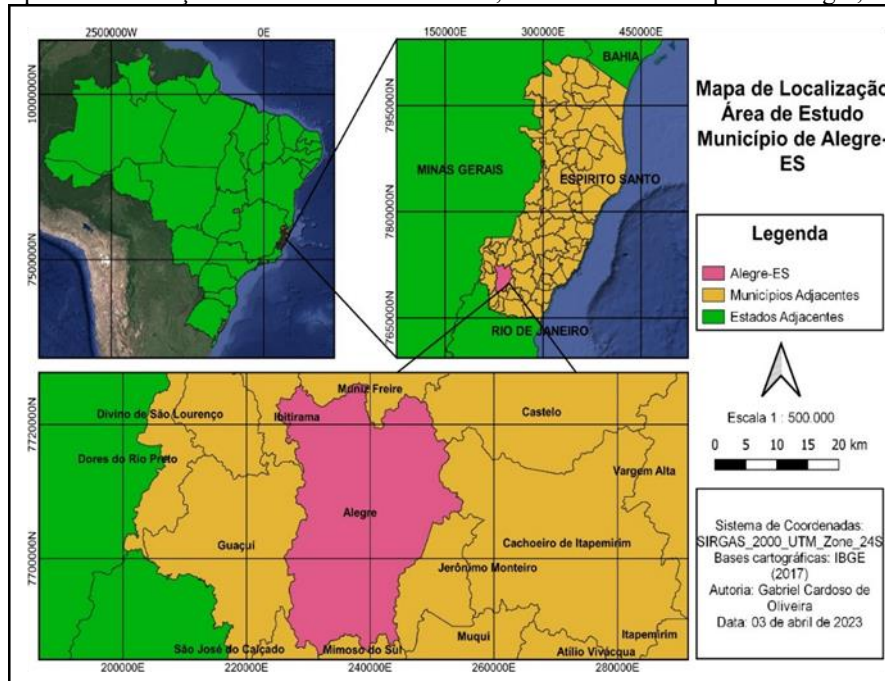
Apesar de haver conhecimento sobre os bairros mais afetados, que apresentam sintomas como postes, cercas e árvores deslocadas, cicatrizes no solo e voçorocas (processos geotécnicos), além da proximidade com áreas de drenagem (inundações), ainda há uma necessidade de um mapeamento mais detalhado e prático. Estudos prévios, como o de Augusto Filho (1998), destacam que a delimitação geográfica das áreas mais vulneráveis a esses fenômenos, juntamente com a identificação dos principais fatores causadores — sejam eles antrópicos, como a ocupação desordenada, ou naturais, como aspectos fisiográficos —, são essenciais para uma prevenção mais eficaz.

Deslizamentos de terra e inundações de grande escala são frequentes em Alegre, especialmente nos períodos de maior precipitação. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar estudos mais aprofundados sobre a dinâmica desses processos no município, visando prevenir e mitigar futuras ocorrências por meio do uso de geotecnologias e suas diversas ferramentas, com destaque para a Lógica Nebulosa, também conhecida como Lógica Difusa (MACHADO, 2018).

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município capixaba de Alegre, localizado na região sul do Espírito Santo e portador de relações limítrofes com as cidades vizinhas de Cachoeiro de Itapemirim, Jerônimo Monteiro, Muniz Freire, Mimoso do Sul, Guaçuí, Ibitirama, São José do Calçado e Castelo. A cidade, detentora de uma população de pouco mais de 30 mil habitantes segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) está situada a cerca de 200 quilômetros da capital do estado, Vitória, e suas principais vias de acessos se dão pela rodovia federal BR-101, e pelas rodovias estaduais ES-482 e ES-483 (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de Localização referente a área de estudo, centrada no município de Alegre, Espírito Santo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa teve como objetivo geral utilizar o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para mapear os pontos críticos em relação à ocorrência de desastres naturais, com foco em eventos de natureza geotécnica e inundações no município de Alegre. O propósito principal é auxiliar a gestão pública municipal, a comunidade acadêmica e a sociedade civil nos processos de identificação, prevenção e mitigação dessas vulnerabilidades, apresentando de maneira didática as técnicas de geoprocessamento que podem ser aplicadas para apoiar essas iniciativas.

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

Adquirir e analisar dados geográficos disponibilizados gratuitamente na internet, como limites municipais, áreas urbanizadas, modelos digitais de elevação, entre outros;

Produzir produtos cartográficos, representados por mapas que contenham dados morfométricos, geológicos, geomorfológicos e hidrológicos, úteis para a interpretação geotécnica e de inundações na região, facilitando os processos de prevenção e antecipação a esses fenômenos na área de estudo;

Utilizar a Lógica Nebulosa como metodologia principal, organizando os dados e critérios mencionados em dois mapas finais que ilustrem de forma precisa e verificável no campo a distribuição dos riscos geotécnicos e de inundações na área de estudo.

2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Os aspectos fisiográficos referentes à geomorfologia, pedologia, vegetação, hidrografia e clima serão abordados seguir, para a melhor análise da região e relação direta com os atributos de geologia regional.

2.1 GEOLOGIA REGIONAL

O município de Alegre está regionalmente associado a importantes estruturas geotectônicas, como a Província Mantiqueira, o Cráton São Francisco e o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental.

De acordo com Bizzi et al. (2003), a Província Mantiqueira é composta por remanescentes paleoproterozóicos (2,5 a 1,6 Ga) e uma sucessão de cinturões colisionais, controlados por sistemas transpressivos de cavalgamento em direção às margens cratônicas. No que diz respeito à compartimentação desses cinturões, Heilbron et al. (2004) descrevem a Província Estrutural Mantiqueira como um extenso complexo orogênico, resultado da interação dos Orógenos Araçuaí, Ribeira, Apiaí e Dom Feliciano. Essa província é controlada pela zona de interferência entre os Orógenos Brasília e Ribeira, formados durante a Orogenia Neoproterozóica Brasileiro-Pan Africana, que culminou na amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental.

O Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental corresponde ao segmento norte da Província Mantiqueira e é constituído por depósitos de margem passiva, zonas de sutura, arcos magmáticos e plútons sin a pós-colisionais (PEDROSA-SOARES et al., 2007). Seu embasamento é formado por rochas metamórficas de alto grau, datadas do Arqueano ao Paleoproterozóico, incluídas na Suíte Caparaó e nos Complexos Guanhões, Gouveia, Porteirinha, Mantiqueira, Juiz de Fora e Pocrane (PEDROSA-SOARES et al., 2007).

2.2 GEOMORFOLOGIA

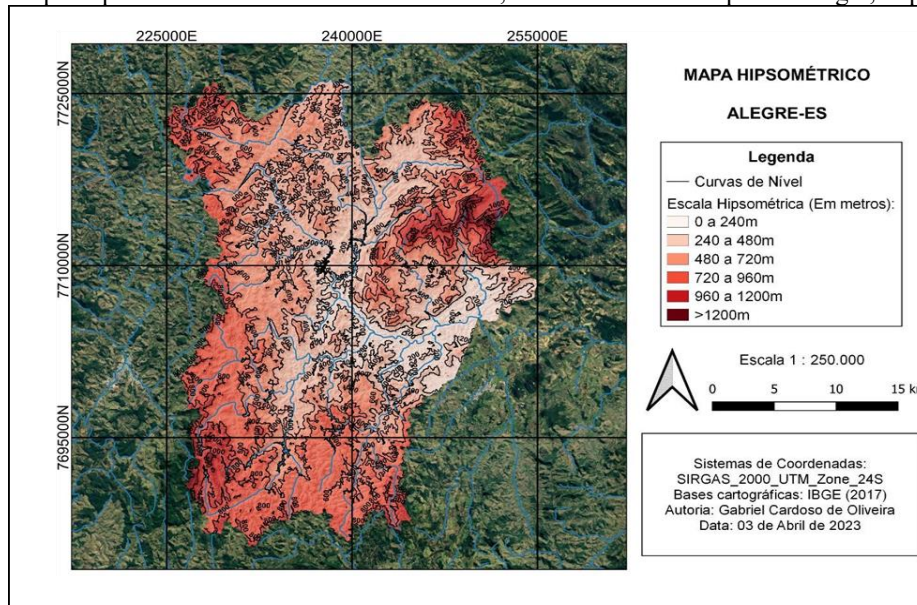
De acordo com informações da Prefeitura Municipal de Alegre (2023), a altitude no município varia de 120 metros nos pontos mais baixos a mais de 1.300 metros nos mais altos, caracterizando um relevo bastante acidentado, modelado por rochas cristalinas predominantemente metamórficas e inserido na unidade geomorfológica do Mar de Morros (AB'SÁBER, 2003). Essa unidade é marcada pela presença de numerosas colinas dissecadas, formando um relevo típico.

No que se refere às subdivisões das regiões geomorfológicas do Espírito Santo, a área de estudo está inserida nos Planaltos da Mantiqueira Setentrional, caracterizada por montanhas fortemente dissecadas, com processos de dissecação influenciados por rios que se adaptam às fraquezas litológicas e estruturais (CUNHA, 2016). Complementando, Pacheco (2011) descreve os atributos geomorfológicos de Alegre como resultado de uma significativa atividade tectônica, seguida de modificação por ciclos consecutivos de dissecação. Esses processos contribuíram para a formação

de grandes falhas, que influenciam diretamente a hidrologia local, além de vales em "V" muito fechados e íngremes.

Outro aspecto relevante em relação aos atributos geomorfológicos da área de estudo são as feições hipsométricas observadas, com altitudes mínimas em torno de 100 metros e máximas superiores a 1.200 metros, distribuídas por todo o território de Alegre (Figura 2).

Figura 2 - Mapa Hipsométrico referente a área de estudo, abordando o município de Alegre, Espírito Santo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3 SOLOS E VEGETAÇÃO

A Prefeitura Municipal de Alegre (2023) descreve que os solos predominantes no município são "pouco profundos, bem drenados, com baixa suscetibilidade à erosão, ácidos, bastante porosos e de baixa fertilidade natural," associados principalmente a latossolos vermelho-amarelos e cambissolos. Pacheco (2011) reforça essa caracterização, destacando o domínio do latossolo vermelho-amarelo na região, descrevendo-o como um solo distrófico típico, argiloso, mesoférico, profundo, ácido, e geralmente presente em relevo ondulado.

Em relação à vegetação e ao uso do solo, o bioma predominante na área é a Mata Atlântica (IBGE, 2023), caracterizada por formações florestais densas ou mistas, com árvores altas e de troncos robustos, além de vegetação arbustiva nas áreas sombreadas. As principais atividades econômicas e usos do solo em Alegre estão centrados na cafeicultura e na agropecuária, o que justifica a presença de extensas áreas ao redor da cidade dedicadas ao cultivo de café e outras culturas, bem como grandes regiões de pastagens para criação de bovinos e equinos.

2.4 HIDROGRAFIA

O município de Alegre está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim, formada pela confluência dos rios Braço Direito Norte e Braço Esquerdo Norte. A bacia abrange uma área de 6.014 km² e possui nascentes situadas na região do Parque Nacional do Caparaó e na Serra de São Domingos (AGERH, 2020).

Localmente, a hidrografia de Alegre é caracterizada por diversos corpos d'água, incluindo córregos, quedas d'água e inúmeras drenagens intermitentes que deságuam no Rio Itapemirim. Essas drenagens estão distribuídas por todo o território municipal (DE LIMA, 2021).

2.5 CLIMA

Segundo dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Alegre (2023), o município apresenta predominantemente um clima tropical úmido a subúmido, com uma precipitação média anual de 1.200 mm. A temperatura média anual é de 23°C, podendo chegar a até 36°C durante o verão.

Quanto à distribuição da precipitação, a maior concentração de chuvas ocorre entre os meses de novembro e março, representando de 60% a 70% do total anual. Em contraste, o período mais seco vai de abril a setembro, caracterizado por um longo intervalo de inverno com temperaturas mais amenas e precipitações extremamente escassas (PACHECO, 2011).

3 METODOLOGIA

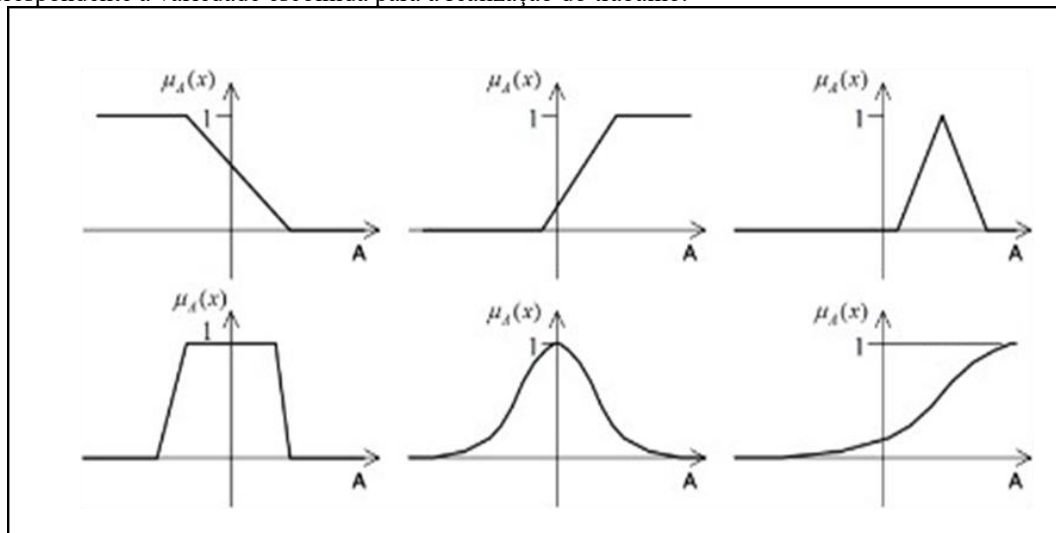
Para cumprir os objetivos traçados, a metodologia científica adotada foi dividida nas três etapas tradicionais das geociências: pré-campo, campo e pós-campo, descritas a seguir.

Na fase de pré-campo, foi realizado um estudo teórico do tema por meio da coleta de dados bibliográficos, cartográficos e geográficos junto a portais de órgãos competentes, como o IBGE e a Embrapa, além de reportagens históricas e registros jornalísticos, que serviram como estudos de caso para contextualizar o assunto. Em seguida, essas informações foram interpretadas e organizadas. Para isso, foi construído um banco de dados da área de estudo para posterior geoprocessamento, incluindo a aquisição de um Modelo Digital de Elevação (MDE – imagem SRTM – 1 arco segundo) com todas as informações hipsométricas necessárias.

Após o tratamento e processamento do MDE, foram elaborados os mapas de Declividade, Concavidade, Rugosidade e Fator LS (Fator Topográfico) para avaliar os riscos geotécnicos, e os mapas de Declividade, Altura de Declividade, Proximidade de Drenagens, Convexidade e Índice de Umidade Topográfica (TWI) para os riscos de inundação. Como ilustrado na Figura 3, foi aplicada a Lógica Nebulosa a esses mapas, utilizando funções de pertinência do tipo linear (positivas para critérios geotécnicos e negativas para os de inundação, em uma escala de 0 a 1). Em seguida, os mapas foram reclassificados, com os valores mais próximos de 1 a 0 sendo classificados de 4 a 1, onde 4

corresponde a risco muito alto, 3 a risco alto, 2 a risco médio e 1 a risco baixo para a ocorrência de inundações e deslizamentos. Os dados foram processados utilizando o software gratuito QUANTUM GIS (QGIS, 2023).

Figura 3 - Formas comuns utilizadas para a função de pertinência de Lógica Nebulosa, com destaque para a variação do tipo Linear, correspondente a variedade escolhida para a realização do trabalho.



Fonte: FUNDAMENTOS da Lógica Fuzzy. Computação Inteligente, 2015. Disponível em: <http://computacaointeligente.com.br/conceitos/fundamentos-da-logica-fuzzy/>. Acesso em: 20 de março de 2023.

Posteriormente, com os mapas individuais de cada um dos parâmetros mencionados devidamente elaborados (quatro para geotecnia e cinco para inundação), foram gerados os mapas finais, que compilaram esses dados em dois produtos cartográficos. Um dos mapas abrange os quatro critérios selecionados para os riscos geotécnicos, enquanto o outro é direcionado aos cinco critérios escolhidos para os riscos de inundação. Ambos foram construídos com o objetivo de sinalizar e quantificar esses riscos da maneira mais ampla, precisa e eficaz possível.

Em seguida, foi realizada uma visita de campo às localidades identificadas como as de maior criticidade em ambos os mapas finais. O intuito dessa visita foi observar na prática a utilidade e precisão dos riscos indicados pelos mapas elaborados.

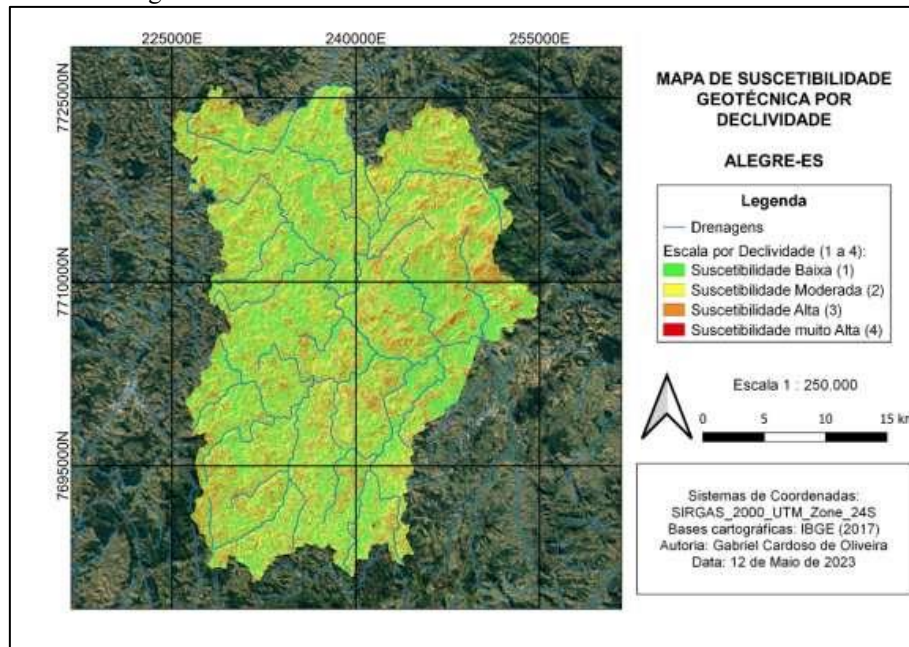
Por fim, na etapa de pós-campo, foi possível avaliar a compatibilidade entre as indicações dos mapas e a realidade observada durante a visita de campo. Essa análise levou a uma avaliação final sobre o desempenho do método utilizado para os fins propostos, conforme será detalhado adiante.

4 MAPEAMENTO DE SUSCEPTIBILIDADE GEOTÉCNICA

Inicialmente, é fundamental iniciar essa análise a partir dos dados adquiridos, uma vez que foram utilizados para elaborar os mapas temáticos referentes aos atributos relevantes para a quantificação do risco geotécnico (Declividade, Concavidade, Rugosidade e Fator LS), aplicados a todo o território de Alegre. Esses mapas foram tratados com funções de pertinência correspondentes,

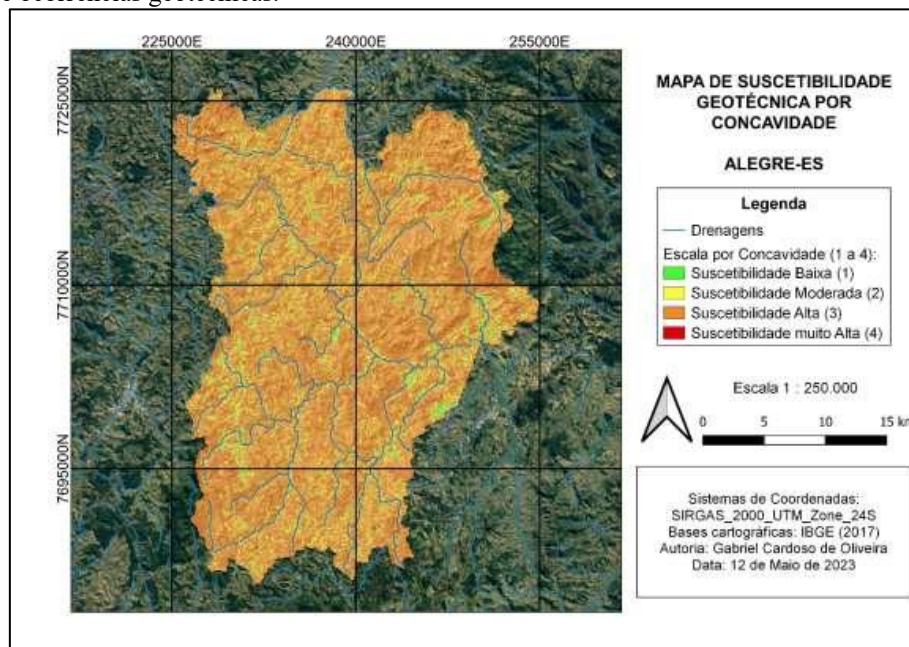
utilizando técnicas de Lógica Nebulosa lineares positivas, levando em consideração as localidades teoricamente identificadas como de maior risco (zonas avermelhadas). Os resultados são apresentados nas Figuras 4 a 7.

Figura 4 - Mapa de Suscetibilidade Geotécnica por Escala de Declividade do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências geotécnicas.



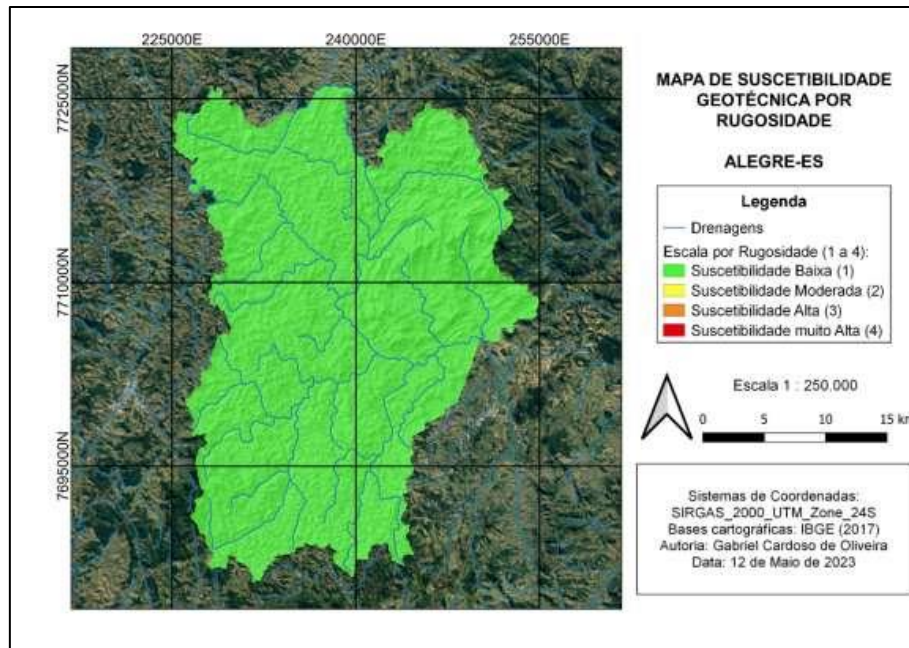
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5 - Mapa de Suscetibilidade Geotécnica por Escala de Concavidade do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências geotécnicas.



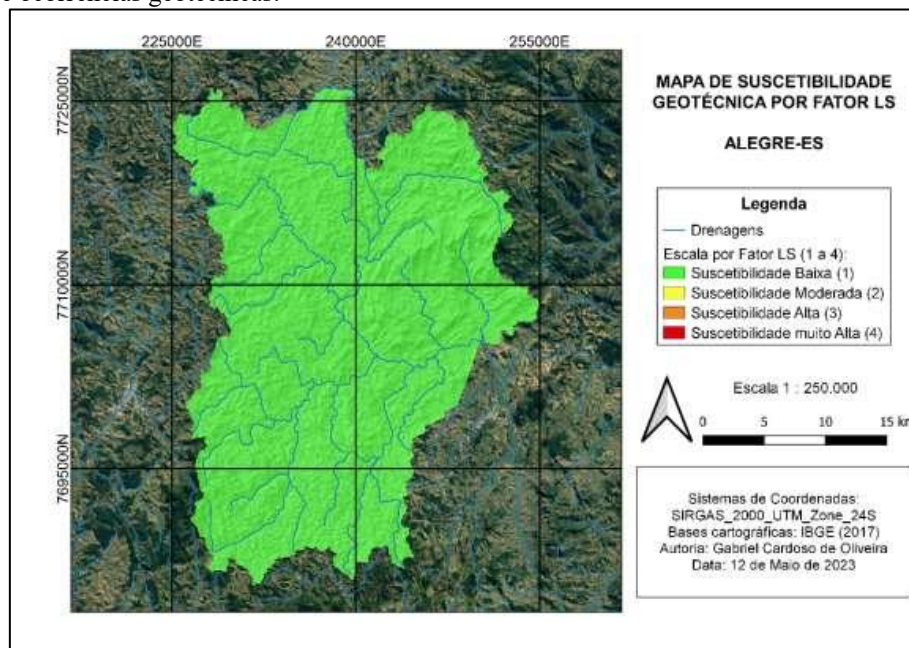
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6 - Mapa de Suscetibilidade Geotécnica por Escala de Rugosidade do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade



Fonte: Elaborado pelo autor.

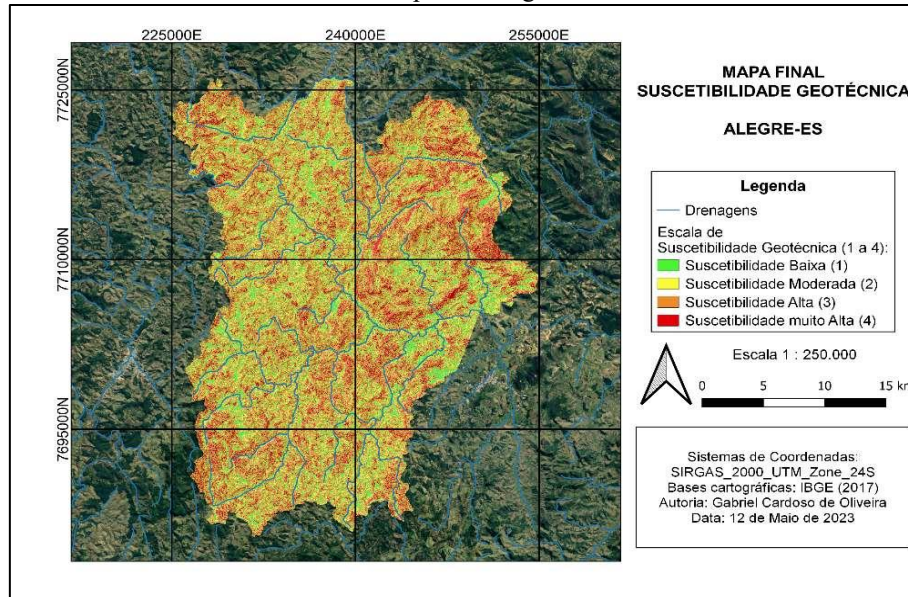
Figura 7 - Mapa de Suscetibilidade Geotécnica por Escala de Fator LS do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências geotécnicas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, todos os mapas mencionados foram incorporados na equação fuzzy gama (QGIS, 2023), possibilitando a aglutinação dos dados em um único produto final que representa uma escala de risco geotécnico, categorizada de 0 (risco muito baixo) a 1 (risco muito alto), conforme apresentado no mapa da Figura 8.

Figura 8 - Mapa Final de Suscetibilidade Geotécnica aplicada, contendo a compilação dos quatro atributos geotécnicos acima registrados e referente a área de estudo do município de Alegre – ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, a etapa seguinte concentrou esforços na confirmação prática da eficácia da escala de risco proposta no mapa gerado. Para isso, foram realizadas atividades de campo entre os dias 8 e 9 de junho de 2023, visitando presencialmente os locais teoricamente identificados com risco mais próximo a 4 nos produtos cartográficos gerados anteriormente, priorizando sempre os locais com níveis de risco alto (3) ou muito alto (4).

É importante mencionar que essas visitas de validação se concentraram na região central do município, devido à sua maior densidade populacional em relação ao restante de Alegre, além de ser uma área já visitada em um trabalho de iniciação científica com temática semelhante. Essa escolha também se deve a questões logísticas e de acesso facilitado.

Com isso, as imagens apresentadas na Figura 9 foram obtidas, permitindo a confirmação do elevado grau de risco indicado no mapa, por meio das visitas e observações práticas de campo, validando assim a metodologia utilizada para a confecção do Mapa Final de Risco Geotécnico apresentado anteriormente.

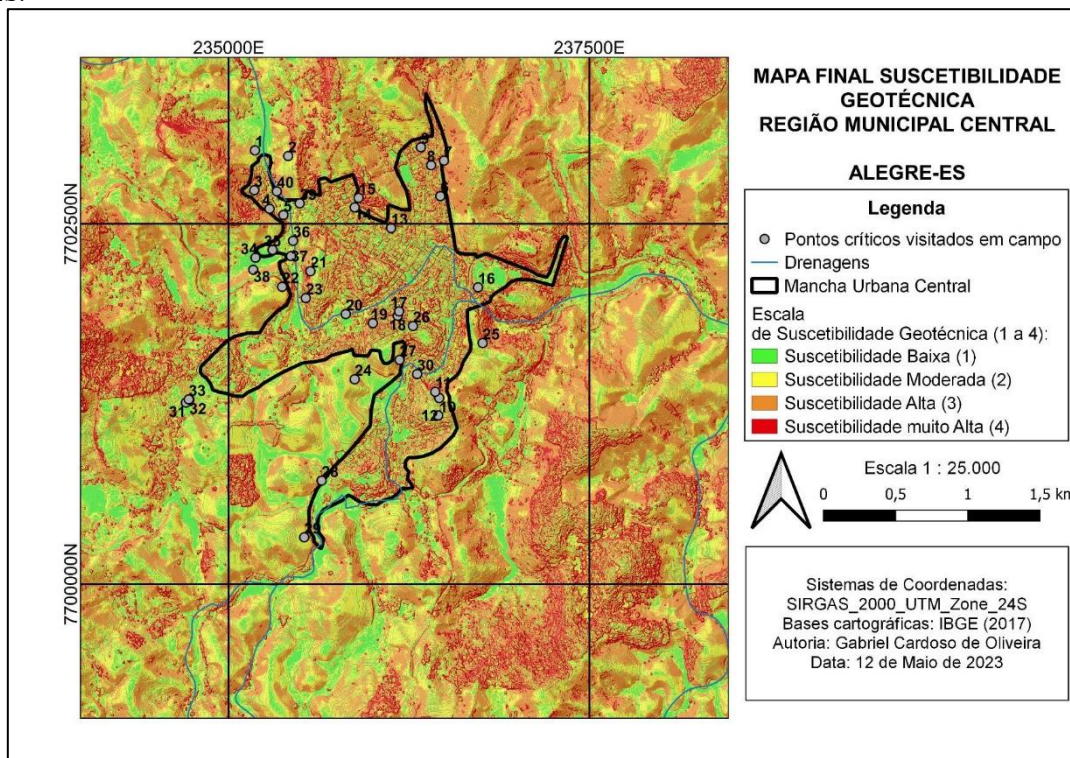
Figura 9 - A) Ponto 8: Encosta sob casa com tubulações penduradas, localizada na Rua João Bravo, no bairro Nova Alegre em Alegre-ES; B) Ponto 15: Localidade com evidências de movimentos de terra em lote localizado na Rua Prefeito Antônio Lemos Júnior, Colina, Alegre-ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, se seguiu com a comparação entre a susceptibilidade observada em campo com aquele apontado pelo mapa final confeccionado anteriormente, plotando os pontos visitados sobre a região central do município (Figura 10). Os comparativos foram feitos através da matriz de confusão e se encontram quantificados nas Tabelas 1 abaixo.

Figura 10 - Mapa Final de Suscetibilidade Geotécnica, com pontos de maior interesse visitados no centro do município de Alegre - ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Totalidade de pontos de caráter geotécnico realizados e sua compatibilidade com a escala de risco.

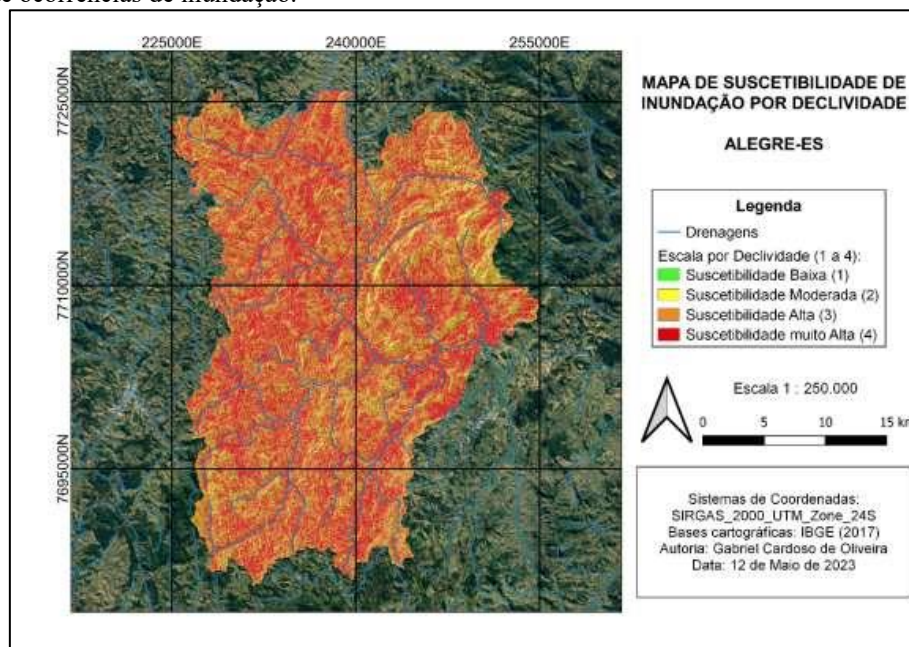
Classe de Susceptibilidade Geotécnica	1	2	3	4	Wi
1	0,1559	0	0	0	0,1905
2	0	0,1683	0,1122	0,0561	0,261
3	0,0263	0,0443	0,2657	0,1329	0,4213
4	0	0	0	0,16	0,1272
Total	0,1822	0,3738	0,3592	0,0848	
SE	0,0351				
PA [%]	85,5469	0,0744	0,0637	0,0424	
UA [%]	81,8182	55,845	80,647	100	
Acurária Geral	73,9101	80	68,75	66,6667	

Legenda: SE = erro padrão; PA = acurácia do produtor; UA = acurácia do usuário. Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MAPEAMENTO SUSCEPTIBILIDADE À INUNDAÇÃO

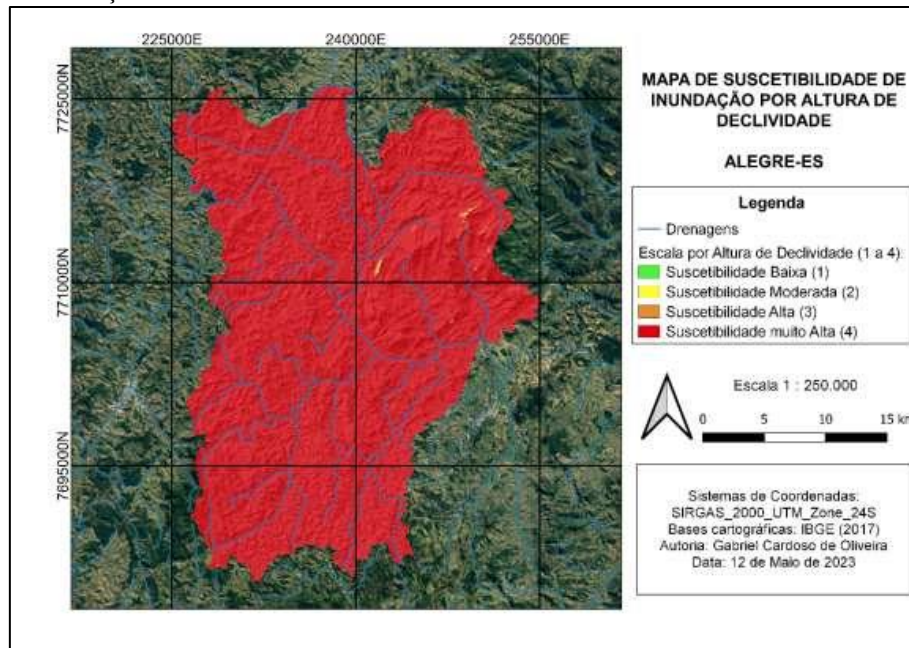
Posteriormente, seguindo o mesmo processo para a temática das inundações, foram elaborados os mapas temáticos pertinentes aos riscos de fenômenos de inundação. Esses mapas incluem Declividade, Altura de Declividade, Proximidade de Drenagens, Convexidade e Índice de Umidade Topográfica (Topographic Wetness Index, TWI), aplicados a todo o território de Alegre. Os novos mapas também foram tratados com funções de pertinência específicas, correlacionadas novamente com técnicas de Lógica Nebulosa lineares, desta vez em caráter negativo, conforme representado nas Figuras 11 a 15.

Figura 11 - Mapa de Suscetibilidade de Inundação por Escala de Declividade do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências de inundação.



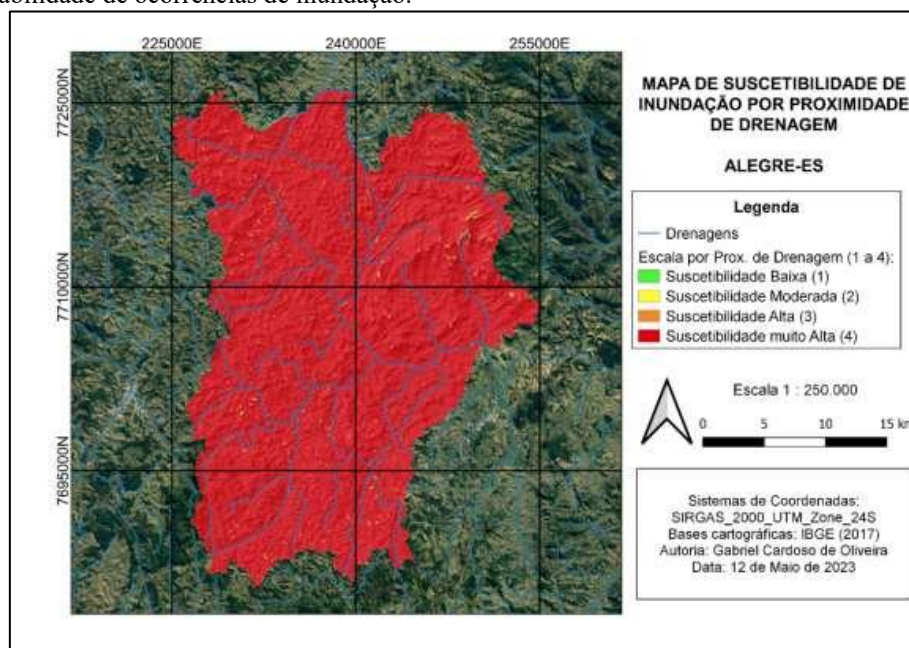
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 12 - Mapa de Suscetibilidade de Inundação por Escala de Altura de Declividade do município de Alegre – ES, aplicado ao risco de inundação.



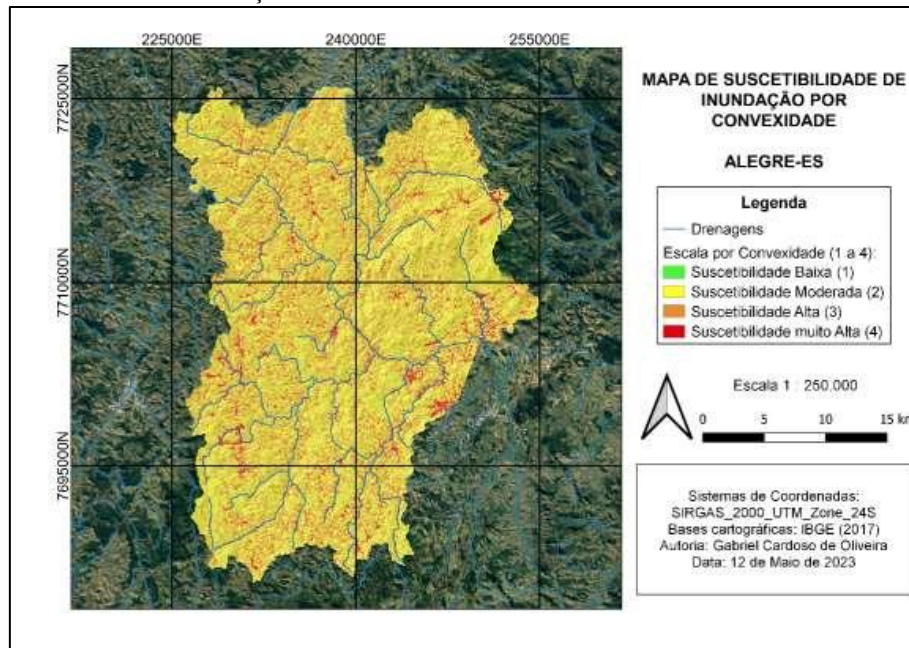
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Mapa de Suscetibilidade de Inundação por Escala de Proximidade de Drenagem do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências de inundação.



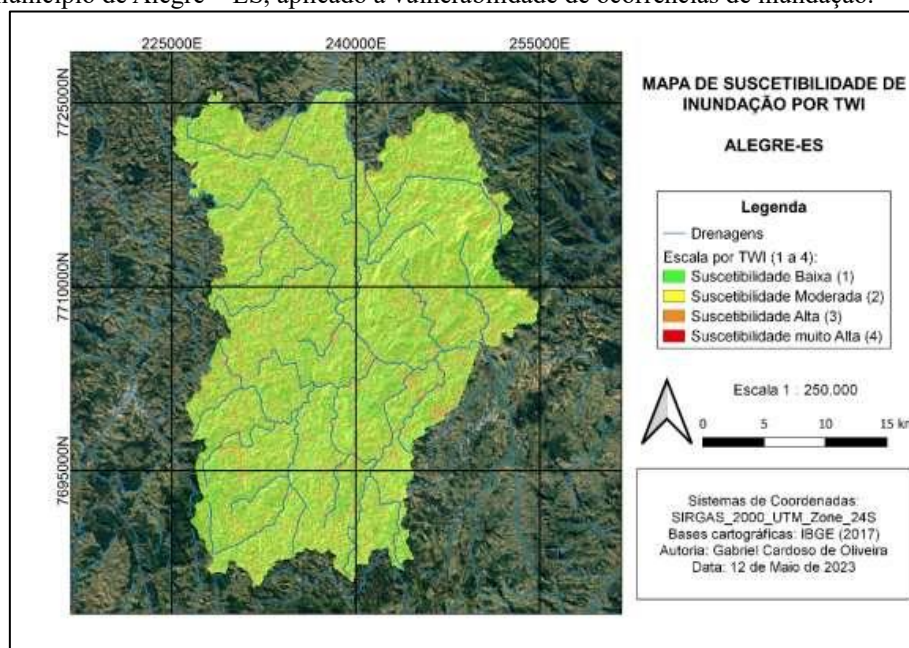
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Mapa de Suscetibilidade de Inundação por Escala de Convexidade do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

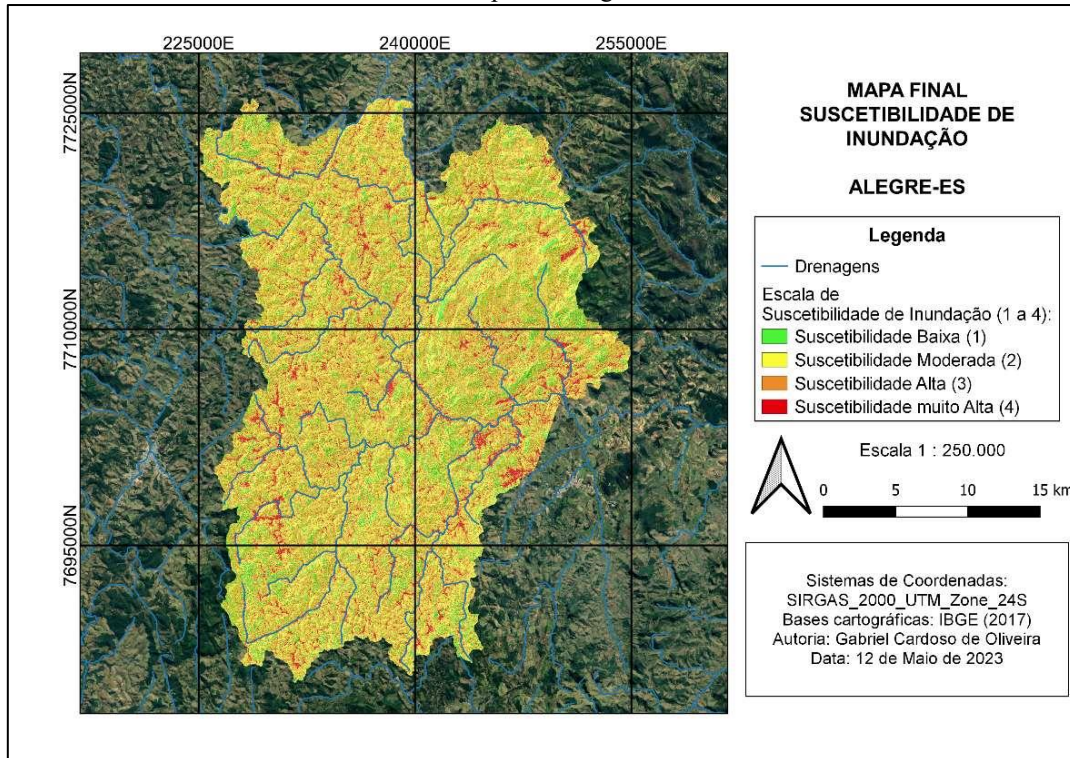
Figura 15 - Mapa de Suscetibilidade de Inundação por Escala de Índice de Umidade Topográfica (Topographic Wetness Index, TWI) do município de Alegre – ES, aplicado à vulnerabilidade de ocorrências de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, utilizando novamente a Lógica Nebulosa em sua variedade Gamma (QGIS, 2023), foi possível aglutinar os dados contidos nos mapas mencionados em um único e novo produto final, apresentando uma escala de risco para inundações, categorizada de 0 (risco baixo) a 4 (risco muito alto), conforme mostrado no mapa final a seguir (Figura 16).

Figura 16 - Mapa Final de Suscetibilidade de Inundação aplicada, contendo a compilação dos cinco atributos de inundação acima registrados e referente a área de estudo do município de Alegre – ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, passou-se para a etapa de campo, também realizada entre os dias 8 e 9 de junho de 2023, com o objetivo de validar os dados cartográficos construídos durante o pré-campo, desta vez aplicados ao tema de inundações. Novamente, por razões já mencionadas, as visitas foram direcionadas ao centro do município de Alegre, priorizando os locais identificados no mapa como portadores de altos (0,75) ou muito altos (1) níveis de risco.

Assim, as imagens abaixo (Figura 17) foram capturadas, possibilitando a verificação da utilidade do mapa para a identificação e prevenção de riscos de desastres naturais, neste caso, relacionados aos processos de inundação.

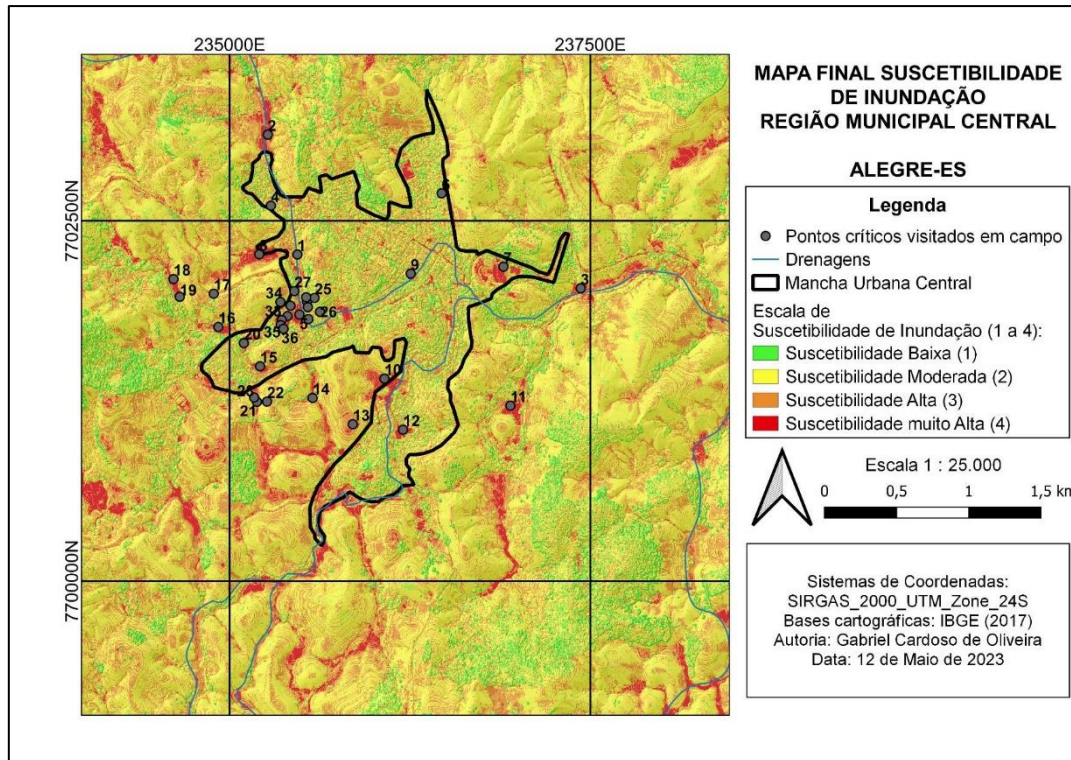
Figura 17 - A) Ponto 4: Estrada de terra em declive próximo a drenagem na Rua dos Espanhóis, Colina, Alegre-ES; B) Ponto 6: Encosta em terreno inocupado na Rua Tristão Soares Campos em Alegre-ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, foram realizados os comparativos finais entre o conteúdo do mapa e as observações feitas em campo, posicionando os pontos visitados e verificando a compatibilidade entre a susceptibilidade teórica proposta pelo mapa e a observada na prática (Figura 18). Esses comparativos foram elaborados por meio de uma matriz de confusão e estão quantificados nas Tabelas 2 abaixo.

Figura 18 - Mapa Final de Suscetibilidade de Inundação, com pontos de maior interesse visitados no centro do município de Alegre – ES.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Precisão geral final do Mapa Final de Risco de Inundação gerado, com o comparativo entre os dados do produto original e os dados averiguados em campo, dentro da escala de risco de inundação delimitada de 1 a 4.

Classe de Suscetibilidade à Inundação	1	2	3	4	W _i
1	0,097	0	0	0	0,097
2	0	0,5546	0	0	0,5546
3	0	0	0,2969	0	0,2969
4	0	0	0	0,0514	0,0514
Total	0,097	0,5546	0,2969	0,0514	
SE	0	0	0	0	
PA [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	
UA [%]	100,00	100,00	100,00	100,00	
Overall accuracy [%]	100,00				

Legenda: SE = erro padrão; PA = acurácia do produtor; UA = acurácia do usuário. Fonte: Elaborado pelo autor.

5 DISCUSSÃO

É importante destacar que, para o sucesso do objetivo geral da pesquisa, os dados coletados em campo precisavam coincidir, mesmo que parcialmente, com a escala de susceptibilidade contida nos

dois mapas temáticos finais elaborados durante o pré-campo. Esse alinhamento foi alcançado, uma vez que foi obtida uma expressiva taxa de acurácia superior a 70% em ambos os casos, tanto no Mapa Final de Suscetibilidade Geotécnica quanto no Mapa Final de Suscetibilidade de Inundação. O primeiro apresentou um desempenho de 73,9%, enquanto o segundo atingiu notáveis 100% de acurácia.

Assim, comprovou-se a eficácia do SIG e, especialmente, da Lógica Nebulosa como ferramentas efetivas para o monitoramento de desastres naturais dessa natureza, além de serem viáveis e promissoras na resolução de problemas relacionados a essas temáticas.

Dessa forma, pode-se certificar que os resultados obtidos e registrados nos mapas finais estão alinhados com as ideias já mencionadas por Zuquette (2004), reiterando a hipótese de que mapas destinados à prevenção de eventos naturais deste tipo devem apresentar uma compatibilidade aceitável entre o que é abordado na teoria e o que é constatado na prática.

Ademais, é relevante ressaltar a presença de estudos anteriores na literatura com abordagem semelhante, que aplicaram a Lógica Nebulosa no contexto geotécnico (MACHADO, 2018) e de inundação (CARVALHO, 2022). Em ambas as obras, a técnica priorizada assemelhou-se à escolhida para o projeto aqui descrito e foi aplicada com objetivos semelhantes, resultando em conclusões consideradas satisfatórias e acima das expectativas inicialmente traçadas.

A obra de Machado (2018), por exemplo, aplica a técnica em localidades do estado de Santa Catarina (SC) e conclui que os resultados obtidos proporcionaram maior precisão na delimitação de áreas de vulnerabilidade geotécnica na região. Por sua vez, Carvalho (2022) direciona sua metodologia para estudos no estado do Espírito Santo (ES) e, com base nos resultados estatísticos encontrados, confirma uma maior vulnerabilidade a inundações nas regiões metropolitana e litorânea do Espírito Santo.



REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. Disponível em: <https://www.academia.edu/33518007>. Acesso em: 27 jun. 2023.
- AGENCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. CBH Itapemirim. Disponível em: <https://www.agerh.es.gov.br/cbh-itapemirim>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ALKMIM, Fernando Flecha de et al. Sobre a evolução tectônica do orógeno Araçuaí-Congo ocidental. *Geonomos*, v. 15, n. 1, p. 25-43, 2007. Disponível em: <http://www.ufop.br/geonomos2007.Miolo.indd>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de. O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rbg/article/view/198382>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 243-269. Disponível em: <https://www.abge.org.br/volume620170419213612107031.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BIZZI, Luiz Augusto et al. *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. 2003. Disponível em: https://www.cprm.gov.br/repository/Geologia_Tectonica_e_Recurso_Minerais_do_Brasil.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BONUCCELLI, Teresinha de Jesus. Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG): escala 1:10.000. 1999. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. doi:10.11606/T.18.2018.tde-19072018-145252. Acesso em: 20 mar. 2023.
- BORGES, Caroline; FERNANDES, Suellen; MARTINS, Valéria. Chuva provoca mortes, enxurrada e estragos em Santa Catarina, dizem bombeiros. G1. Santa Catarina. Disponível em: <https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/noticia/2020/12/17/chuva-provoca-mortes-enxurrada-e-estragos-em-santa-catarina-dizem-bombeiros.ghtml>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- CALIMAN, Beatriz. Chuva derruba barreira e poste na BR-482 em Alegre no sul do ES. *A Gazeta*. Disponível em: <https://www.agazeta.com.br/es/transito/chuva-derruba-barreira-e-poste-na-br-482-em-alegre-no-sul-do-es-0123>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- CARVALHO, Bruna. Chuvas que atingiram Região Serrana no RJ deixaram quase mil mortos. *CNN Brasil*. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/noticias/em-2011-chuvas-que-atingiram-regiao-serrana-do-rj-deixaram-quase-mil-mortos/>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- CARVALHO, Rita de Cássia Freire et al. GIS-Based Approach Applied to Study of Seasonal Rainfall Influence over Flood Vulnerability. *Water*, v. 14, n. 22, p. 3731, 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/366872601>. Acesso em: 20 mar. 2023.
- CUNHA, A. M. et al. Mapa de reconhecimento de solos do Estado do Espírito Santo: uma atualização de legenda. Vitória: INCRA; Incaper; UFV; ITC-NL, 2016. Disponível em: <https://www.semas.es.gov.br/solos/atualizacao-da-legenda-do-mapa-de-reconhecimento-de-solos-do-estado-do-espírito-santo>. Acesso em: 20 mar. 2023.



DIÁRIO DO NORDESTE. Chuva em Alegre no Espírito Santo deixa dois mortos e cenário de destruição. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/ultima-hora/pais/chuva-em-alegre-espirito-santo-deixa-dois-mortos-e-cenario-de-destruicao-1.3193708>. Acesso em: 20 mar. 2023.

HEILBRON, Monica et al. Província Mantiqueira. In: Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. 2004. p. 203-235. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/220260494>. Acesso em: 20 mar. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Alegre. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/alegre.html>. Acesso em: 20 mar. 2023.

LAURIANO, Carolina. Angra dos Reis ainda se recupera das chuvas no réveillon de 2009. G1. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://g1.globo.com/especiais/eleicoes-2010/noticia/2010/08/angra-dos-reis-ainda-se-recupera-das-chuvas-do-reveillon-de-2009.html>. Acesso em: 20 mar. 2023.

LIMA, Jenesca Florêncio Vicente de. Fisiografia da região média da bacia hidrográfica do Rio Itapemirim, ES. 2021. Monografia. Universidade Federal do Espírito Santo – Alegre. Disponível em: https://www.ufes.br/repository/monografia_13182_Jenesca_Florencio_Vicente_de_Lima.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

MACHADO, V. Barreto; MEDEIROS, I.; RUIZ FILHO, R. Aplicabilidade da lógica fuzzy na gestão de risco de desastres geotécnicos do estado de Santa Catarina. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 7, p. 66-85, 2018. Florianópolis. Disponível em: <https://www.gestoesustentabilidade.com.br/revista>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MARANGON, Marcos. Geotecnia de fundações. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <https://www.ufjf.br/geotecnia/2018/11/capa-sumario-referencias-2018-11.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PACHECO, Anderson Almeida. Pedogênese e distribuição espacial dos solos da bacia hidrográfica do rio Alegre ES. 2011. 163 f. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas; Gênese, Morfologia e Classificação, Mineralogia, Química) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/20298>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PACHECO, André. Fundamentos da Lógica Fuzzy. Computação inteligente. Disponível em: <http://computacaointeligente.com.br/conceitos/fundamentos-da-logica-fuzzy/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

PEDROSA-SOARES, Antônio Carlos et al. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. Geonomos, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2007. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/546/1/art_pedrosa_orogeno.pdf. Acesso em: 20 mar. 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALEGRE. Características Geográficas – Prefeitura Municipal de Alegre. Disponível em: <https://www.alegre.es.gov.br/caracteristicas-geograficas>. Acesso em: 20 mar. 2023.

QGIS [software GIS]. Versão 3.16. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 20 mar. 2023.



SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPq): Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 20 mar. 2023.

SOUZA, Mateus de. Chuvas deixam 21 mortos e 660 famílias desabrigadas no estado de São Paulo. GAUCHAZH. Disponível em: <https://gzh.clicrbs.com.br/chuvas-deixam-21-mortos-e-660-familias-desabrigadas-no-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

TEMPORAL devastador no litoral norte de SP completa uma semana. G1. Vale do Paraíba e Região. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2023/02/26/temporal-devastador-no-litoral-norte-de-sp-completa-uma-semana-veja-resumo-da-tragedia.ghtml>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. Cartografia Geotécnica. São Paulo: Oficina dos Textos, 2004. 190 p. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=VMulBAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4>. Acesso em: 20 mar. 2023.