

MAPEAMENTO DE ZONAS SÍSMICAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS – BRASIL

SEISMIC ZONE MAPPING IN THE STATE OF MINAS GERAIS – BRAZIL

MAPEO DE LAS ZONAS SÍSMICAS EN EL ESTADO DE MINAS GERAIS – BRASIL

Maykon Fredson Freitas Ferreira¹ <https://orcid.org/0000-0002-9849-4007>

Manoel Reinaldo Leite² <https://orcid.org/0000-0003-3744-5903>

Luis Ricardo Fernandes da Costa³ <https://orcid.org/0000-0001-8593-861X>

RESUMO

A ocorrência de abalos sísmicos em Minas Gerais no decorrer do tempo vem chamando a atenção de autoridades e da população em geral. Tem despertado a atenção de pesquisadores sobre a necessidade de compreender suas causas e sobre a identificação de suas principais áreas de ocorrência, a fim de mitigar os riscos associados. Este estudo tem como objetivo mapear as zonas de atividade sísmica no estado. Utilizando a técnica de densidade de Kernel, foram identificadas cinco grandes áreas de concentração de sismos, nomeadas como Norte 1, Norte 2, Nordeste, Centro-sul e Triângulo. A partir dessas zonas principais, vinte e seis subzonas foram mapeadas para identificar os pontos focais dos sismos. Esse mapeamento detalhado permitirá em estudos futuros investigar as causas subjacentes dos eventos sísmicos, compreender a estrutura geológica das áreas e identificar regiões com maior potencial para futuros sismos. Além disso, fornecerá subsídios para medidas de prevenção e para o desenvolvimento de projetos específicos de gerenciamento de risco sísmico. Este estudo representa um passo significativo em direção a uma compreensão mais profunda da atividade sísmica em Minas Gerais, fornecendo informações cruciais para a segurança e o planejamento urbano.

Palavras-chave: Mapeamento. Zoneamento. Sismos. Minas Gerais.

¹ Mestrado e Graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). Atuação como Analista de Sismologia do Núcleo de Estudos Sismológicos da Unimontes, vinculado ao Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: maykon.ferreira@unimontes.br

² Mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), graduação em Geografia pela Universidade Estadual de Montes Claros (Unimontes). Atuação como professor no Departamento de Geociências da Unimontes e Coordenador do Núcleo de Estudos Sismológicos da Unimontes. E-mail: manoel.leite@unimontes.br

³ Doutorado, Mestrado e Graduação em Geografia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atuação como Professor no Programa de Pós-Graduação em Geografia e nos cursos de Graduação em Geografia do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES). E-mail: luis.costa@unimontes.br

ABSTRACT

The occurrence of seismic events in Minas Gerais over time has been drawing the attention of authorities and the general population. It has raised awareness among researchers about the need to understand their causes and identify their primary areas of occurrence in order to mitigate associated risks. This study aims to map seismic activity zones in the state. Using the Kernel density technique, five major areas of seismic concentration were identified, named as North 1, North 2, Northeast, Central-South, and Triangle. From these main zones, twenty-six subzones were mapped to identify the focal points of seismic activity. This detailed mapping will enable future studies to investigate the underlying causes of seismic events, understand the geological structure of the areas, and identify regions with a higher potential for future earthquakes. Furthermore, it will provide valuable input for prevention measures and the development of specific seismic risk management projects. This study represents a significant step toward a deeper understanding of seismic activity in Minas Gerais, providing crucial information for safety and urban planning.

Keywords: Mapping. Zoning. Earthquakes. Minas Gerais.

RESUMEN

La ocurrencia de eventos sísmicos en Minas Gerais a lo largo del tiempo ha estado llamando la atención de las autoridades y la población en general. Ha despertado el interés de los investigadores en la necesidad de comprender sus causas e identificar sus principales áreas de ocurrencia para mitigar los riesgos asociados. Este estudio tiene como objetivo mapear las zonas de actividad sísmica en el estado. Utilizando la técnica de densidad de Kernel, se identificaron cinco grandes áreas de concentración sísmica, denominadas como Norte 1, Norte 2, Noreste, Centro-Sur y Triángulo. A partir de estas zonas principales, se mapearon veintiséis subzonas para identificar los puntos focales de la actividad sísmica. Este mapeo detallado permitirá en futuros estudios investigar las causas subyacentes de los eventos sísmicos, comprender la estructura geológica de las áreas e identificar regiones con un mayor potencial para futuros terremotos. Además, proporcionará información valiosa para medidas de prevención y el desarrollo de proyectos específicos de gestión de riesgos sísmicos. Este estudio representa un paso significativo hacia una comprensión más profunda de la actividad sísmica en Minas Gerais, proporcionando información crucial para la seguridad y la planificación urbana.

Palabras-clave: Mapeo. Zonificación. Sismos. Minas Gerais.

INTRODUÇÃO

O zoneamento de uma região é uma prática fundamental para a gestão eficiente do espaço geográfico, desempenhando um papel fundamental na organização e ordenamento do território, permitindo a delimitação de áreas distintas, cada uma com características particulares. Quando se trata de zoneamento sísmico, é uma estratégia importante para identificar e classificar as áreas propensas à ocorrência de sismos ou que possuem algum perigo decorrente dessa atividade. Assim, a exemplo do trabalho de Shedlock et al. (2000), o

zoneamento sísmico desempenha um papel crucial na minimização dos impactos de terremotos e na proteção da vida e dos bens das pessoas.

Para criar um zoneamento sísmico, é necessário analisar a sismicidade de uma determinada área. O estado de Minas Gerais, objeto central de investigação nesse estudo, tem experimentado uma notável frequência de eventos sísmicos ao longo do tempo, os quais resultaram em danos significativos a estruturas residenciais e, lamentavelmente, em uma perda humana. Esses eventos sísmicos têm afetado diversas localidades em todo o estado, a exemplo de Montes Claros (AGURTO-DETZEL *et al.*, 2014), (BARROS *et al.*, 2014) Itacarambi(CHIMPLIGANOND, 2013), entre outras.

Esse estado revela uma aparente predisposição à ocorrência de abalos sísmicos, evidenciada pela considerável quantidade de falhas geológicas resultantes das forças de compressão que atuam na crosta terrestre. A riqueza da geodiversidade presente nesse território, caracterizada pela presença de diversas zonas de contato entre terrenos antigos e densos, bem como suas complexas orogenias, transforma-o em um campo de análise de grande interesse para a sismologia e a compreensão dos efeitos desses fenômenos sísmicos.

Este contexto enfatiza a necessidade premente de desenvolver um mapeamento das zonas sísmicas em Minas Gerais. Devido à carência de estudos com esse enfoque, a formulação de políticas eficazes de ordenamento territorial e de gestão de desastres no estado torna-se uma tarefa complexa. Assim, a implementação de um zoneamento sísmico proporcionará uma compreensão holística das áreas com maior incidência de atividades sísmicas, servindo de base para futuros estudos sobre risco sísmico e incentivando pesquisas geoestruturais que visem identificar as origens desse fenômeno natural.

Portanto, este trabalho tem o objetivo de identificar as zonas e subzonas sísmicas no Estado de Minas Gerais, explorando as questões cartográficas de análise espacial e densidade de sismos por meio do método da densidade de Kernel. Ao contrário de trabalhos que se baseiam em probabilidades de ocorrência de tremores e cálculo de índices de aceleração do solo, este trabalho buscou identificar as zonas com maior densidade de sismos e fornecer informações que possam apontar algum padrão de ocorrência.

A zonificação sísmica é um trabalho técnico e científico que interessa ao público em geral, pois envolve um estudo aprofundado de um fenômeno que representa risco para as populações, especialmente aquelas com alta vulnerabilidade socioeconômica. Nesse sentido, a análise do espaço geográfico considerando as áreas com atividade sísmica é de extrema importância para compreender os impactos que os tremores podem gerar em uma determinada localidade.

A SISMICIDADE NO MUNDO

A partir da segunda metade do século XX, as pesquisas voltadas para a análise da sismicidade progrediram significativamente em todo o mundo. Sykes (1978), por exemplo, constatou que 90% da atividade sísmica global ocorre nas regiões de bordas de placas litosféricas. Outros estudiosos, como Makdonald (1998), Tassinari (2000), Press et al. (2006) e Lowrie (2007) corroboraram essa informação, evidenciando que em áreas de contato entre placas tectônicas há uma maior frequência de terremotos de magnitudes elevadas, ao passo que locais distantes das bordas apresentam menor frequência e magnitudes menores.

Observa-se a maior frequência de terremotos na estrutura marginal do Oceano Pacífico, conhecida como "Cinturão de Fogo do Pacífico", onde ocorrem cerca de 75% da energia liberada por terremotos (ASSUMPÇÃO e NETO, 2000). Nessas regiões de bordas de placas tectônicas, são comuns os terremotos destrutivos gerados por deslizamentos repentinos no contato entre as placas.

Embora a maioria dos terremotos ocorram nos limites de placas tectônicas, também é possível haver sismos no interior das placas. De acordo com Assumpção e Neto (2000), esses sismos são provocados pela transmissão das tensões geradas nas bordas das placas para o interior e apresentam magnitudes baixas a moderadas, quando comparados aos sismos de bordas de placas. No entanto, grandes terremotos já ocorreram no interior de placas, como o registrado em Nova Madrid, Estados Unidos, em 1811, com magnitude (Ms) de 8,2, e em 1812, com magnitude 8,0. Outro terremoto intraplaca forte e devastador, segundo Press et al. (2006), ocorreu no Estado de Gujarat, oeste da Índia, em 2001, onde quase 20 mil pessoas perderam a vida.

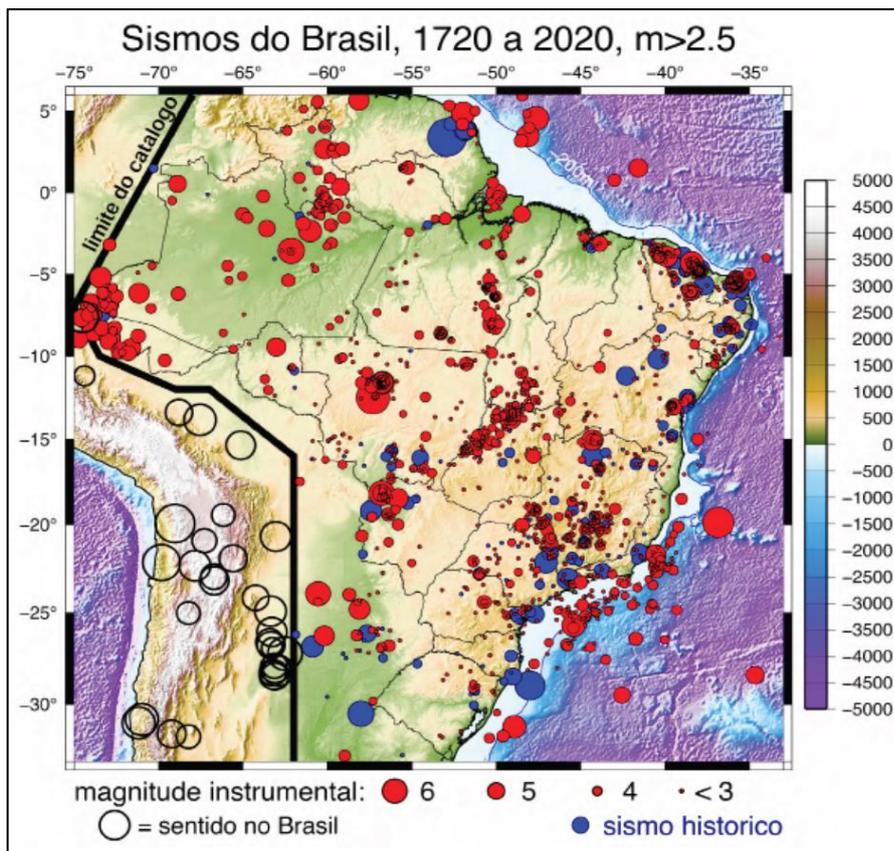
As investigações da frequência e intensidade das vibrações sísmicas na Terra resultaram no mapeamento de zonas com perigo sísmico mundial. Este mapeamento ocorreu durante os anos 1990, década internacional da redução de desastres naturais, em que a Organização das Nações Unidas - ONU patrocinou um programa para mapear o perigo sísmico no mundo inteiro. Chamado de GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment Program) este programa se baseou em métodos probabilísticos de avaliação do pico de aceleração do solo (GIARDINI, 1999). A estimativa de perigo sísmico depende da proximidade de um local específico com falhas geológicas ativas capazes de gerar terremotos. Contudo, o mapa foi criado utilizando dados de terremotos bem conhecidos historicamente e isso pode subestimar o perigo em algumas regiões onde o registro histórico é curto.

A Sismicidade No Brasil

O Brasil se encontra no interior do continente sul-americano, uma região geologicamente estável, e por isso apresenta baixa sismicidade. De acordo com estudos realizados por Berrocal et al. (1984) e Assumpção et al. (2014), terremotos de magnitude 5,0 ocorrem em média uma vez a cada quatro anos, com profundidades predominantemente rasas, inferiores a 10 quilômetros. Estima-se que ocorram apenas dois tremores com magnitude superior a 6 em um século.

Embora a ocorrência de grandes terremotos seja baixa no Brasil, não se pode afirmar que o país seja completamente livre de sismos. De fato, a história registra a ocorrência de vários terremotos de baixa intensidade em diferentes regiões do país, como é ilustrado no Mapa 1. Portanto, embora os sismos sejam menos frequentes e intensos do que em outras regiões do mundo, é importante reconhecer que o Brasil também está sujeito a essa manifestação natural.

Mapa 1 - Sismicidade do território brasileiro



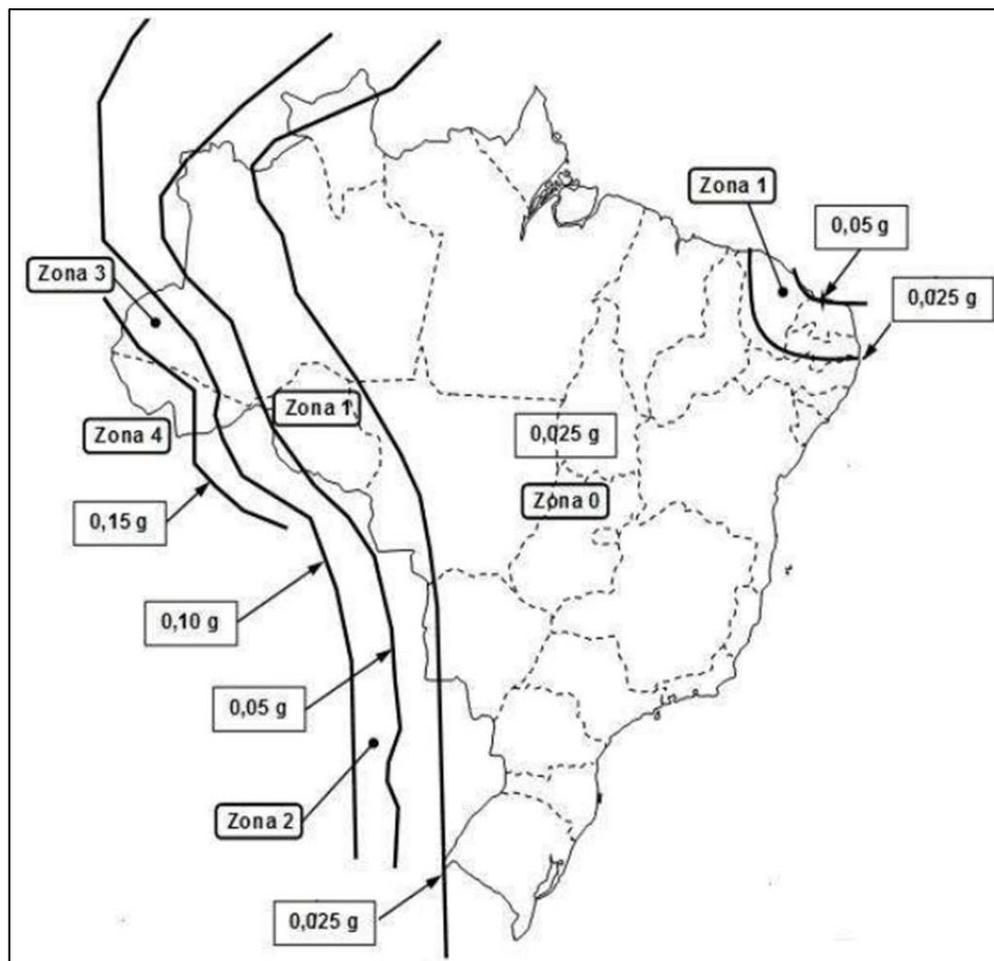
Fonte: FONTES et. al., 2023

O maior evento sísmico já registrado no Brasil ocorreu em 1955 e teve seu epicentro localizado na Serra do Tombador, Mato Grosso, com magnitude 6,2. Também próximo a essa área, cerca de 100 Km, existe a zona sísmica de Porto dos Gaúchos, onde os principais sismos chegaram a magnitude 5,0 em 1998 e em 2005. Ambas as regiões estão localizadas na bacia fanerozóica dos Parecis, uma das zonas sísmicas mais importantes do Brasil (BARROS et al., 2009).

Vários trabalhos de zoneamento sísmico do território brasileiro já foram feitos, por exemplo, Almeida (2002), Santos e Souza Lima (2004), Silva (2009), Rodrigues (2012), essencialmente relacionados à engenharia, com a finalidade de indicar as áreas com maior risco para as construções civis. Mas, sem dúvida, o mapeamento de zonas sísmicas mais relevante para o Brasil, até o momento, foi determinado pela ABNT NBR 15.421 - Projeto de estruturas resistentes a sismos, tomando por base os resultados do programa GSHAP. Esta norma estabelece diretrizes para as construções resistentes a sismos no Brasil e define uma zonificação sísmica para o país (ABNT, 2006).

De acordo com a ABNT (2006), o território brasileiro é majoritariamente caracterizado por uma sismicidade baixa, classificada como zona sísmica zero (0), na qual não há exigência de verificação quanto à resistência sísmica, conforme apontado por Silva (2009). No entanto, algumas áreas no Nordeste e Norte do país apresentam sismicidade significativa, sendo classificadas como zonas sísmicas 1, 2, 3 e 4. A NBR 15.421 estabelece as diretrizes para construções resistentes a sismos no país, definindo um mapa de zoneamento sísmico do Brasil e suas respectivas acelerações horizontais do solo, como mostrado na Figura 1. Vale ressaltar que a letra “g” na figura se refere à aceleração da gravidade.

Figura 1 - Mapa de aceleração sísmica horizontal do Brasil



Fonte: ABNT, 2006.

A representação das zonas sísmicas do Brasil pelo mapa da NBR 15.421 é baseada em normas e critérios de um mapa de perigo mundial, o que pode limitar sua fidelidade aos padrões da sismicidade brasileira. Isso é evidenciado pela comparação do mapa com a Figura 1. Por isso, alguns sismólogos brasileiros têm se dedicado a detalhar com mais precisão as zonas de perigo sísmico no país. Nóbrega et al. (2019) apresentam uma série de propostas de zoneamento, incluindo trabalhos de Dourado (2014), Pirchiner (2014), Assumpção et al. (2016) e Petersen et al. (2018).

Breve Caracterização Da Geologia Do Estado De Minas Gerais

No estado de Minas Gerais, é possível fazer uma primeira divisão geológica em dois tipos de terrenos: os antigos e os jovens. Os terrenos antigos apresentam rochas metamórficas e ígneas com idade pré-cambriana, superando a marca de 541 milhões de anos. Esses terrenos também são conhecidos como escudos, sendo divididos em dois subtipos: os crátons e os

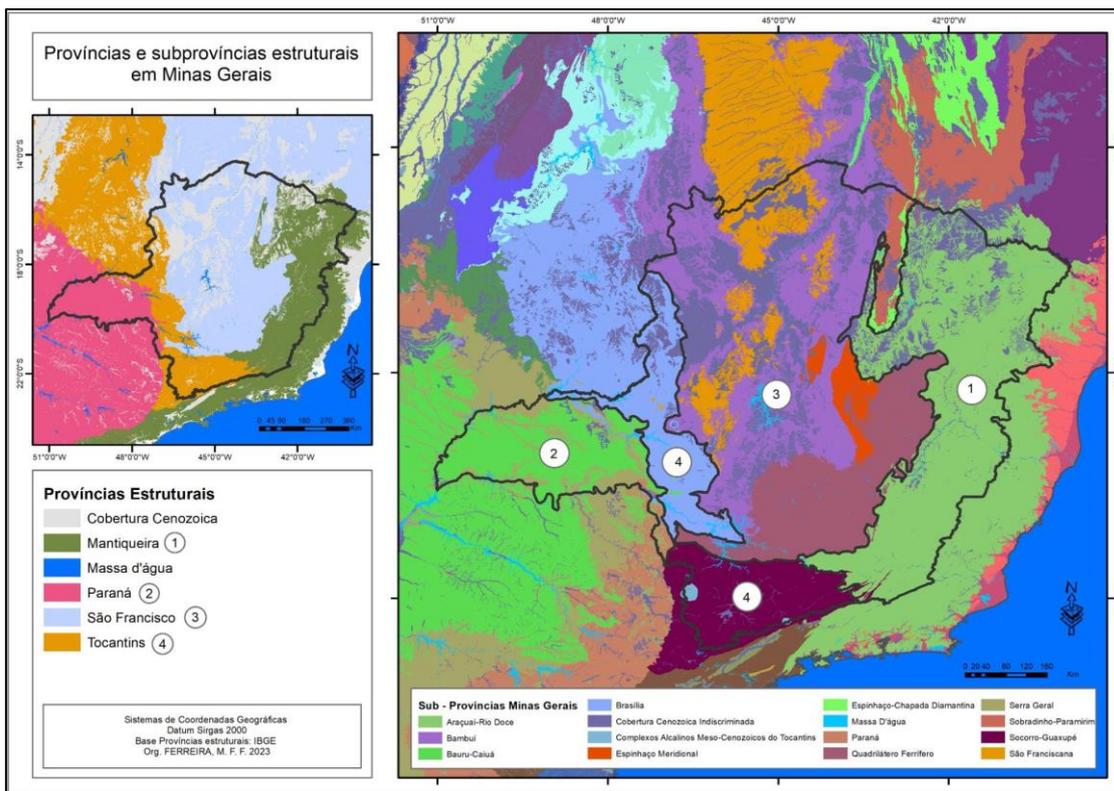
sistemas orogênicos brasileiros (ALMEIDA et al., 1981). Já os terrenos jovens são caracterizados por rochas sedimentares com idade fanerozoica de até 541 milhões de anos.

De acordo com Grotzinger e Jordan (2013), os crátons continentais são porções antigas e estáveis da litosfera que não sofreram deformação durante a história geológica. Devido a essa estabilidade, os crátons não foram afetados por processos orogenéticos, ou seja, colisões de placas litosféricas que levam à formação de cadeias montanhosas. No entanto, em suas bordas, ocorreram esses processos, dando origem aos sistemas orogênicos brasileiros. Por essa razão, os crátons são considerados as regiões mais antigas e estáveis dos continentes (ALKMIM, 2004).

Os sistemas orogênicos brasileiros delimitam os crátons por todos os lados e são cadeias de montanhas antigas que surgiram devido às colisões de placas litosféricas ocorridas entre 630 e 541 milhões de anos atrás, no final da era Neoproterozóica e do período pré-cambriano (CAMPOS-NETO, 2000). A maioria desses sistemas corresponde às terras altas, enquanto grande parte dos crátons, total ou parcialmente cobertos por rochas sedimentares fanerozóicas, equivale às terras baixas do continente (ALKMIM, 2018).

Em Minas Gerais, predomina a presença de terrenos antigos formados pelo Cráton do São Francisco e pelos sistemas orogênicos da Mantiqueira e Tocantins, enquanto uma porção menor é composta pelos terrenos jovens fanerozóicos da Bacia do Paraná. Essas áreas geológicas foram chamadas de províncias geológicas por Almeida et al. (1977), com base na análise de sua evolução estratigráfica, magmática, tectônica e metamórfica, levando em consideração as diferenças das áreas vizinhas. Desde então, as províncias passaram por adaptações e redefinições, sendo realizadas por Lima (1994), CPRM (2003) e IBGE (2019). Este último trouxe mudanças significativas em relação às delimitações das províncias em comparação aos anteriores, e é utilizado como referência neste trabalho (Mapa 2).

Mapa 2 - Minas Gerais e sua divisão geológica



Fonte: IBGE, 2020. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A Província São Francisco corresponde em extensão e características geotectônica ao cráton do São Francisco que é quase inteiramente recoberto por rochas sedimentares pré-cambrianas e fanerozóicas, constituindo a bacia sedimentar do São Francisco. Entretanto, na região sul do cráton, especificamente no quadrilátero ferrífero, é possível encontrar afloramentos do embasamento, compostos por rochas com idade de até 3,2 bilhões de anos, conforme apontado por Alkmim (2018).

De acordo com Alkmim (2018), em Minas Gerais existem dois sistemas de montanhas: a Mantiqueira e o Tocantins. A Mantiqueira é representada pelo Orógeno Araçuaí e pela Faixa Ribeira, presentes na porção Leste e Sul do estado, respectivamente. Na região que compreende a Serra do Espinhaço Setentrional, os Vales do Rio Doce, Mucuri e Jequitinhonha está localizado o Orógeno Araçuaí, onde predominam rochas metassedimentares de baixo a médio grau metamórfico na sua parte externa ao longo da margem do Cráton do São Francisco e rochas metamórficas de alto grau e granitos na sua parte interna (PEDROSA-SOARES et al. 2007). Já a Faixa Ribeira, localizada na região sul de Minas Gerais, é composta principalmente de gnaisses e granitos de idades arqueanas e paleoproterozóicas (ALKMIM, 2018).

A região oeste do estado de Minas Gerais é onde se encontra o sistema orogênico Tocantins, localizado ao longo da margem do Cráton do São Francisco. Esse sistema é representado pelo cinturão externo conhecido como Faixa Brasília (DARDENNE, 2000). A oeste, a região é coberta por depósitos fanerozóicos da bacia do Paraná, enquanto na direção do Cráton do São Francisco há um predomínio de unidades metassedimentares e associações de rochas gnáissicas e graníticas (VALERIANO et al. 2017).

Minas Gerais possui tanto terrenos antigos, como o Cráton do São Francisco e os Sistemas Orogenéticos, quanto terrenos mais jovens com rochas fanerozóicas encontrados em partes das Bacias do São Francisco e Paraná (CAMPOS e DARDENNE, 1997; COSTA et al 2023). Os terrenos fanerozóicos possuem idades que variam de 541 milhões de anos até o presente e são compostos por camadas de rochas sedimentares e ígneas. Essas camadas de rochas preenchem as bacias sedimentares fanerozóicas que sobrepõem as depressões formadas no substrato pré-cambriano (ALKMIM, 2018).

PROCEDIMENTOS METODÓLOGOS

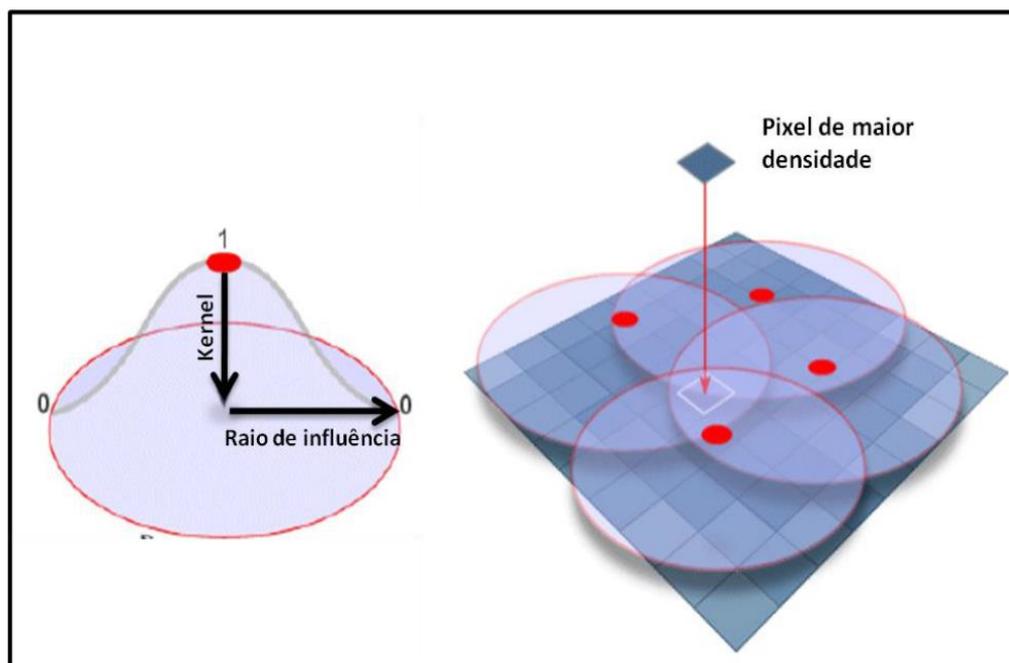
Para analisar a ocorrência de sismos em Minas Gerais, foram utilizadas características espaciais como localização, distribuição, aleatoriedade, conexão, aglomeração e arranjo dos sismos. O foco principal foi a densidade dos sismos, ou seja, o número de eventos por unidade de área. Para isso, os arquivos vetoriais dos epicentros dos sismos ocorridos entre 1824 e 2023 foram inventariados a partir do catálogo sísmico brasileiro, administrado pela Rede Sismográfica Brasileira (RSBR), e dos dados divulgados pelo Observatório Sismológico de Brasília (OBSIS). Em seguida, foram dispostos em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como o ArcGis 10.5, e extraídas as densidades sísmicas por meio de interpolação.

A análise foi realizada utilizando o estimador de intensidade de Kernel, que conta todos os pontos dentro de uma região de influência e pondera a distância de cada um à localização de interesse (CÂMARA E CARVALHO, 2004). Segundo Kawamoto (2012), a técnica de Kernel consiste em um estimador probabilístico de intensidade do processo pontual não-paramétrico por meio de uma função Kernel, utilizando as ocorrências da variável na área, através de um sistema de coordenadas.

Conforme apontado por Kawamoto (2012) e representado na Figura 2, o estimador de densidade de Kernel é capaz de contar todos os pontos dentro de um determinado raio de

influência, ponderando a distância de cada um em relação à localização de interesse. De acordo com o autor, a maior densidade é observada nas áreas em que ocorre a sobreposição de dois ou mais raios de influência, o que resulta em uma superfície matricial. Nessa superfície, o valor para cada pixel é calculado como a soma dos valores Kernel sobrepostos, dividida pela área de cada raio de pesquisa.

Figura 2 - Estimador da densidade de Kernel na distribuição de pontos



Fonte: BERGAMASCHI, 2010.

No ArcGIS 10.5, Minas Gerais foi definida como área de interesse para realizar a interpolação. O raster resultante da interpolação dos sismos dentro do estado foi intencionalmente gerado usando a ferramenta de análise espacial 'densidade de Kernel' no software. Automaticamente, nove níveis de densidade de sismos foram produzidos, os quais foram posteriormente reclassificados com novos valores e convertidos em polígonos. Dos vetores de intensidade resultantes, apenas os quatro níveis mais altos foram utilizados para delimitar as principais zonas de atividade sísmica no estado.

O mesmo método foi empregado para a definição das subzonas sísmicas em Minas Gerais. Contudo, nesta etapa, as zonas previamente estabelecidas foram utilizadas como limites geográficos, e a interpolação foi executada exclusivamente com os eventos sísmicos ocorridos dentro de cada zona específica, de maneira individualizada. Foram destacadas as intensidades mais significativas dentro das áreas abrangentes, permitindo assim a

identificação das subzonas. Estas subzonas representam regiões com maior concentração de atividade sísmica no estado de Minas Gerais.

Do ponto de vista da análise da zonificação da atividade sísmica em Minas Gerais, a abordagem baseada na técnica de densidade de Kernel se destacou como um método eficaz. Isso se deve à sua capacidade de identificar áreas que apresentam uma maior concentração de epicentros de terremotos. Como resultado, essa abordagem fornece uma base sólida para uma análise mais precisa dos riscos enfrentados pela população e das características geológicas específicas dessas regiões.

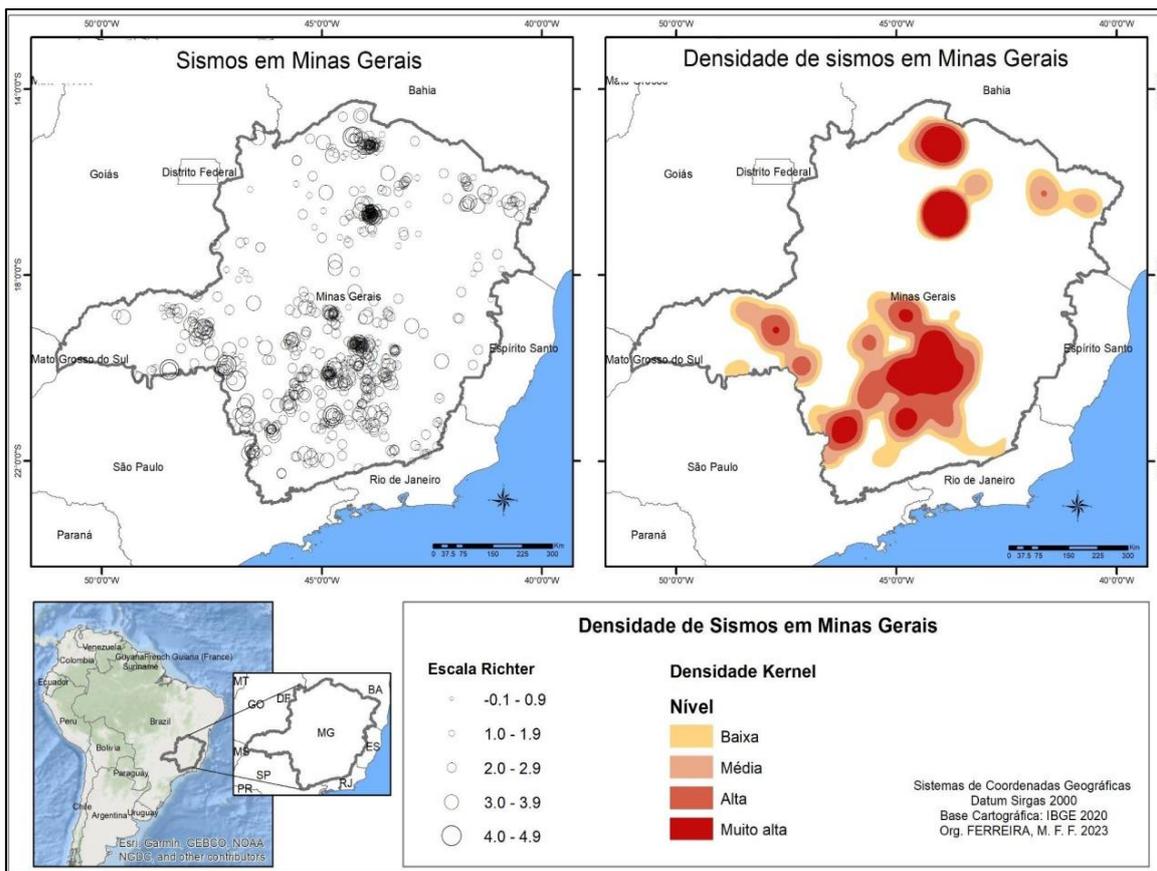
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos resultados da interpolação de Kernel realizada neste estudo para o Estado de Minas Gerais, foram identificadas claramente cinco áreas com uma densidade significativamente maior de atividade sísmica (Mapa 3). Partindo do sul para o norte, a primeira área de alta densidade sísmica está localizada no centro-sul do Estado. Esta área é a maior em comparação com as outras e caracteriza-se por possuir em seu interior vários focos de maior intensidade que posteriormente serão discriminadas como subzonas sísmicas. Nesta área se encontra uma grande densidade populacional, inclusive toda a região metropolitana de Belo Horizonte.

A segunda área de alta densidade sísmica encontra-se no triângulo mineiro. Nela se observa uma área com diversas intensidades próximo a cidade de Uberlândia, também grande centro populacional do Estado. A terceira área de alta densidade sísmica está centralizada na porção Norte do espaço de estudo. Embora essa área não seja tão extensa quanto a primeira, a concentração de sismos é intensa na cidade de Montes Claros, a principal cidade do Norte de Minas, com uma população que ultrapassa os quatrocentos mil habitantes.

A quarta área de grande concentração se estende em uma faixa no extremo norte do Estado, abrangendo municípios como Itacarambi e Jaíba. Essa área se destaca pela sua alta densidade de sismos e por ser destaque nacional quanto a um episódio de morte decorrente de um sismo em 2007 (CHIMPLIGANOND, 2013). A quinta área é observada na região do vale do Jequitinhonha a Nordeste do Estado em uma área com densidade menor em comparação com as outras.

Mapa 3 - Espacialização dos sismos e da densidade sísmica em Minas Gerais.

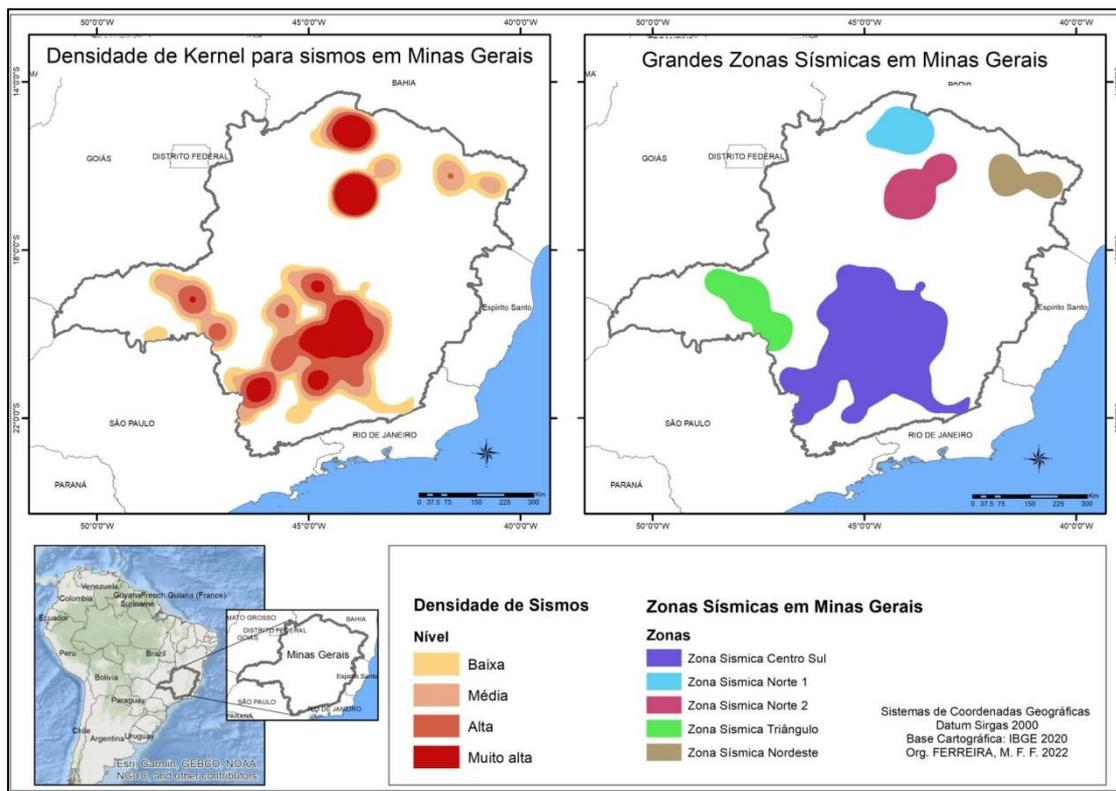


Fonte: RSBR, 2014; OBSIS, 2023. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

Através da interpolação de Kernel, foi possível não apenas identificar as áreas com maior atividade sísmica, mas também criar representações visuais que destacam claramente essas regiões. Essa técnica de análise espacial permitiu a identificação de zonas de eventos sísmicos e a caracterização de áreas que podem apresentar maior risco de ocorrência de abalos sísmicos no futuro.

Por meio da identificação das áreas de alta densidade sísmica, foram delineadas as cinco grandes zonas de densidade sísmica para o Estado e concedido nomes específicos para cada uma delas. As zonas em questão são nomeadas como: Zona Sísmica Centro-Sul, Zona Sísmica Norte 1, Zona Sísmica Norte 2, Zona Sísmica Triângulo e Zona Sísmica Nordeste (Mapa 4). A designação desses nomes às zonas sísmicas identificadas faz relação com a sua localização geográfica no Estado de Minas Gerais.

Mapa 4 - Grandes zonas sísmicas de Minas Gerais.

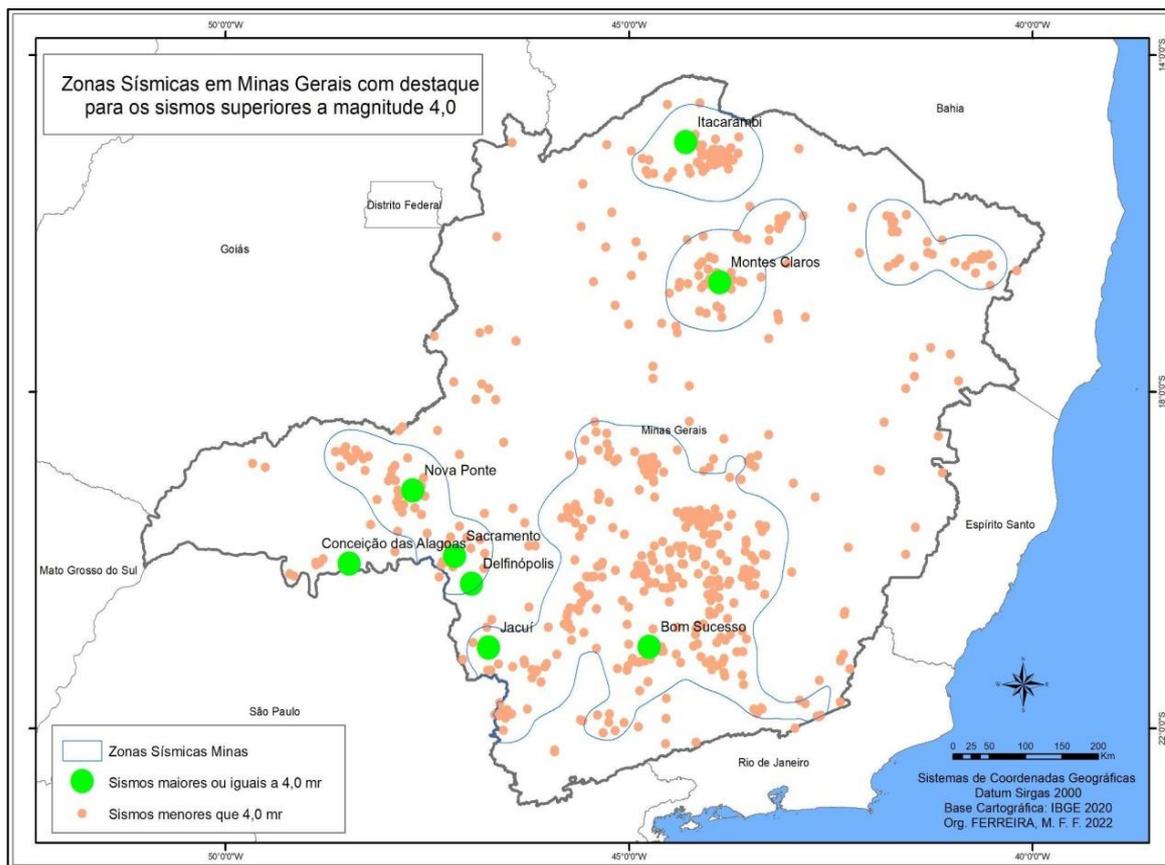


Fonte: RSBR, 2014; OBSIS, 2023. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A presença dessas cinco áreas com densidade significativamente maior de atividade sísmica sugere que existem fatores tectônicos e geológicos específicos que contribuem para essa concentração. É crucial investigar mais a fundo esses fatores para compreender melhor a natureza dos sismos nessas regiões. Isso pode incluir o estudo das falhas geológicas, características da crosta terrestre, presença de zonas de fratura, contato entre províncias geológicas ou outros elementos que possam estar desempenhando um papel no desencadeamento dos sismos.

Os resultados representados no Mapa 5 revelam diferenças distintas na atividade sísmica entre as zonas estudadas quanto ao número de sismos acima de 4,0 de magnitude. A Zona Sísmica Centro-Sul, sendo a maior em área espacial, apresentou dois sismos acima de 4,0 de magnitude em Jacuí e Bom Sucesso. Na Zona Sísmica Norte 1, um sismo acima de 4,0 ocorreu em Itacarambi, enquanto na Zona Sísmica Norte 2, um evento semelhante foi registrado em Montes Claros. A Zona Sísmica Triângulo mostrou uma atividade mais pronunciada, com três sismos acima de 4,0 em Nova Ponte, Sacramento e Delfinópolis. Por fim, na Zona Sísmica Nordeste, nenhum sismo acima de 4,0 de magnitude foi registrado.

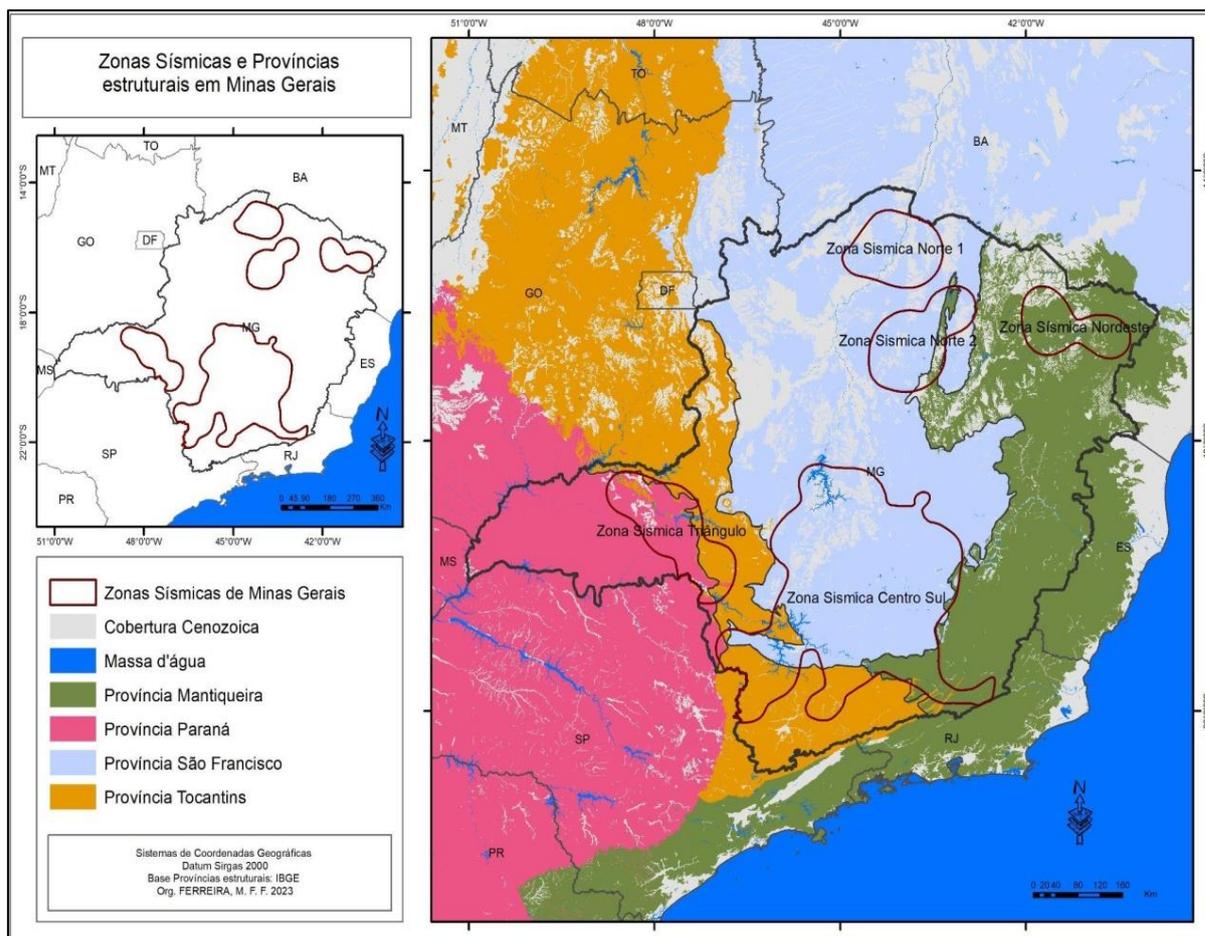
Mapa 5 - Representação dos sismos mais intensos em Minas Gerais.



Fonte: RSBR, 2014; OBSIS, 2023. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A abordagem geológica representada no Mapa 6 mostra que a atividade sísmica da Zona Triângulo está localizada no ponto de contato entre a província Paraná e a Província Tocantins. A maior parte da Zona Centro-Sul encontra-se na província São Francisco, embora as áreas mais ao sul da zona estejam associadas ao contato entre as províncias Tocantins, São Francisco e Mantiqueira. A análise também delinea a distribuição das duas zonas sísmicas na região Norte. A Zona Norte 2 ocorre na interseção entre as províncias São Francisco e Mantiqueira, enquanto a Zona Norte 1 está contida inteiramente na Província São Francisco. A Zona Nordeste, por sua vez, está completamente inserida na Província Mantiqueira. Essa análise contribui para uma melhor compreensão da atividade sísmica nessas áreas, identificando os pontos de contato entre as diferentes províncias e as zonas sísmicas resultantes.

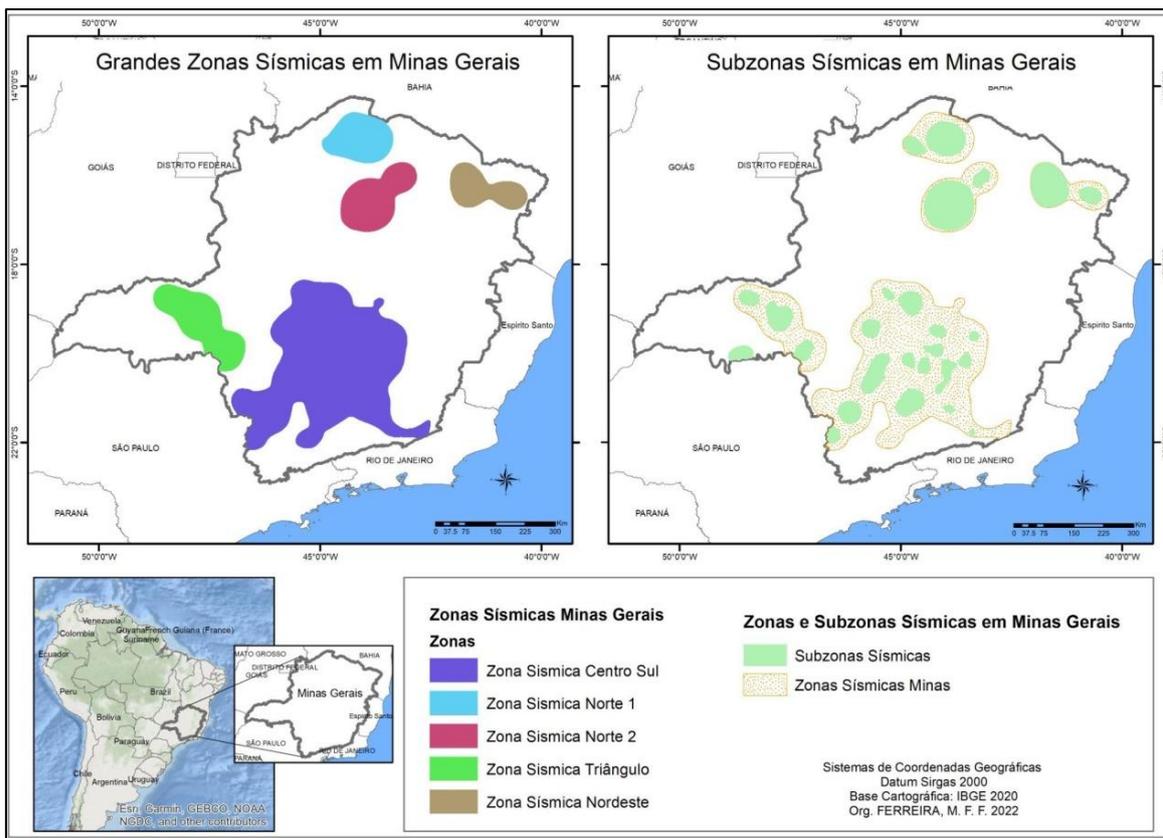
Mapa 6 - Representação das grandes zonas sísmicas sobrepostas as províncias geológicas do Estado de Minas Gerais.



Fonte: IBGE, 2020. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

No contexto das zonas sísmicas em Minas Gerais, foi realizado um mapeamento que resultou na subdivisão dessas grandes zonas em vinte e seis subzonas (Mapa 7). Essas subzonas representam áreas específicas onde a atividade sísmica mostrou maior concentração. Esse mapeamento minucioso desempenha um papel crucial na identificação das regiões focais da atividade sísmica, permitindo uma compreensão mais precisa das áreas geográficas que são mais propensas a abalos sísmicos.

Mapa 7 - Subzonas sísmicas em Minas Gerais.



Fonte: IBGE, 2020. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

No âmbito do estudo das subzonas sísmicas em Minas Gerais, uma abordagem de nomeação foi adotada com base nos municípios que mais sofreram impacto de sismos, e essas subzonas estão claramente representadas no Mapa 8. Um exame mais detalhado revela como essas subzonas estão distribuídas nas diferentes mesorregiões do estado.

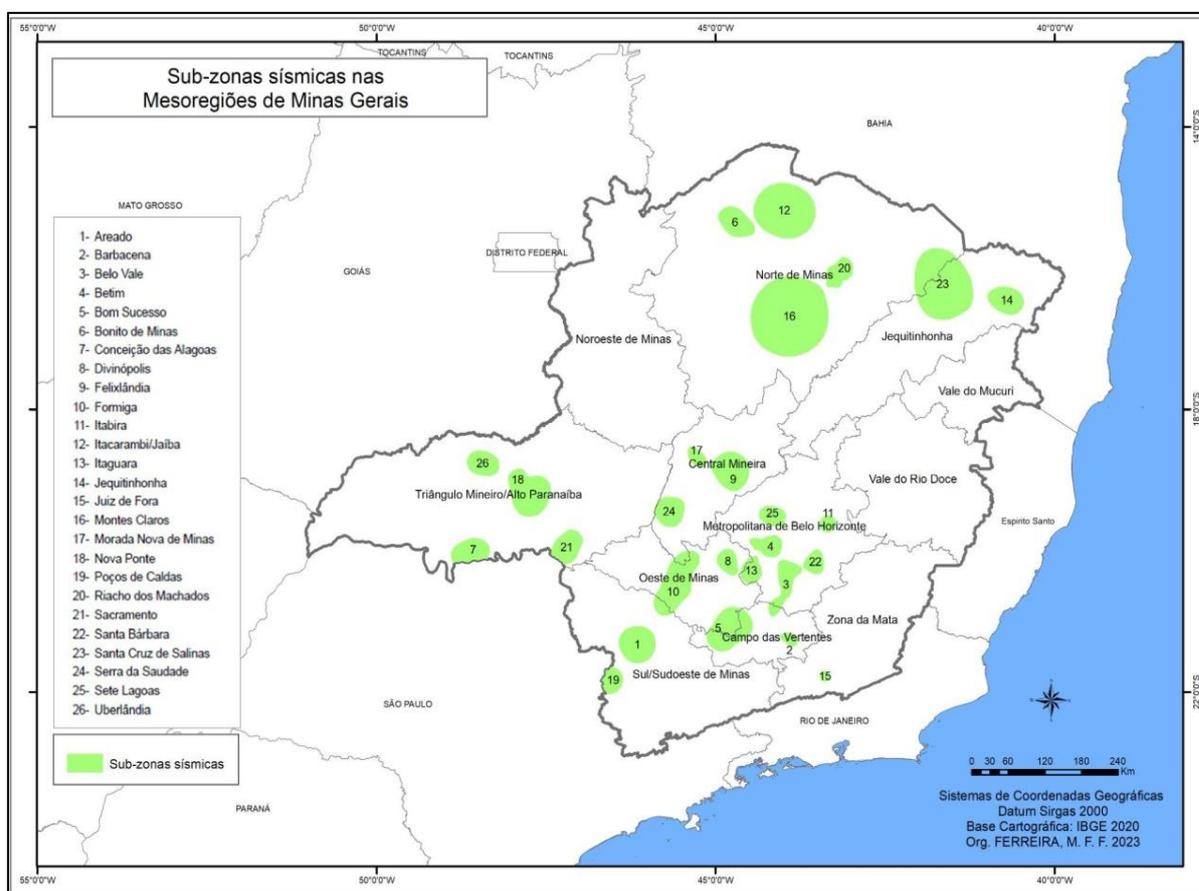
Na Mesorregião Norte, foi identificado a presença de quatro subzonas completas e parte de mais uma, indicando uma alta concentração de atividade sísmica nessa região. A Mesorregião Jequitinhonha apresenta uma subzona completa e parte de outra. Na Mesorregião Central foram observadas três subzonas completas e uma pequena parcela de outra. Na Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, encontramos cinco subzonas completas e parte de uma, ressaltando a complexidade das atividades sísmicas em áreas urbanas densamente povoadas.

Na Mesorregião Oeste, uma subzona completa e partes de mais duas subzonas delimitam os padrões sísmicos na região. O Campo das Vertentes também apresenta uma subzona completa e parte de outra. Na Zona da Mata, uma subzona foi identificada. No Sul/Sudoeste de Minas, destacam-se duas subzonas. Finalmente, a região do Triângulo

Mineiro é marcada por quatro subzonas, indicando uma concentração significativa de atividade sísmica nesse ponto.

Através dessa delimitação das subzonas sísmicas em Minas Gerais, a pesquisa proporciona uma compreensão mais abrangente dos padrões de atividade sísmica em todo o estado, ao mesmo tempo em que permite uma análise mais focada das áreas de maior risco. Esse nível de detalhamento é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de gestão de riscos eficazes e a adoção de medidas de proteção adequadas para as populações afetadas.

Mapa 8 - Nomeação das Subzonas sísmicas em Minas Gerais.



Fonte: IBGE, 2020. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A compreensão das relações entre as subzonas sísmicas e as províncias geológicas (Mapa 9) oferece análises valiosas para investigações futuras sobre os fatores que geram a atividade sísmica em Minas Gerais. Este estudo propõe algumas hipóteses que merecem aprofundamento em futuros artigos científicos, visando uma compreensão mais abrangente dos mecanismos que desencadeiam os sismos na região.

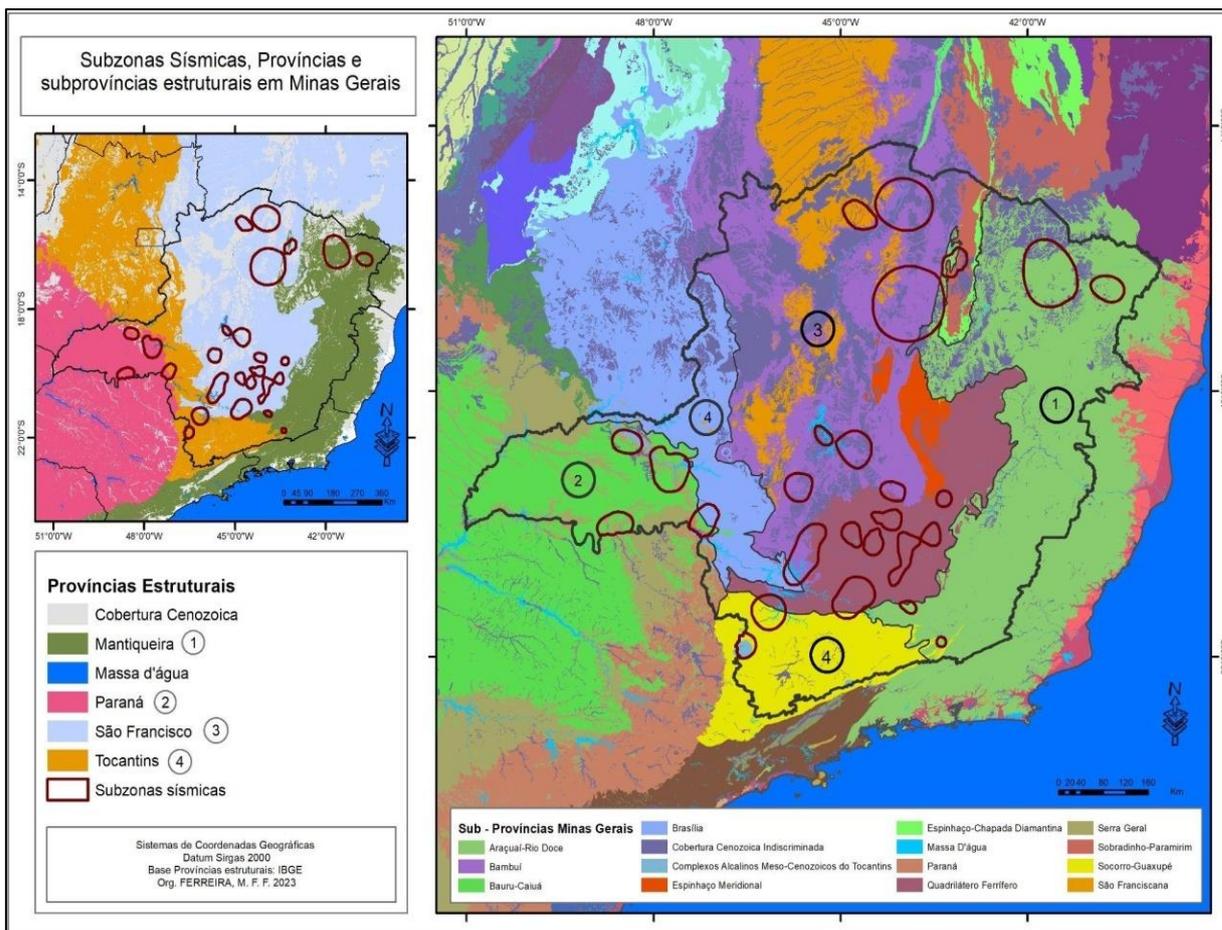
As subzonas sísmicas Uberlândia, Nova Ponte e Sacramento apresentam uma característica interessante. Todas estão situadas precisamente nas áreas de contato entre a província Tocantins e Paraná. A presença de forças de compressão que desencadearam a orogenia da subprovíncia Brasília emerge como uma possível explicação para essa distribuição. Notavelmente, essas subzonas já registraram sismos de magnitude considerável. A relação entre as forças de compressão e a ocorrência desses eventos sísmicos representa um ponto para investigações futuras, visando uma compreensão mais profunda dos mecanismos de deformação nessas regiões.

As subzonas Areado, Bom Sucesso e Barbacena estão localizadas nos pontos de contato entre a província São Francisco e as províncias Tocantins e Mantiqueira. A província São Francisco, de natureza mais estável, interage com essas regiões vizinhas, que foram moldadas pelas orogenias. A compressão resultante dessas interações pode ter ocasionado fraturas nas rochas, conduzindo à formação de falhas ativas que contribuem para a atividade sísmica observada. A relação entre a estabilidade da província São Francisco e a geração de sismos nas zonas de contato demanda investigações mais detalhadas para uma compreensão mais completa dos processos envolvidos.

A densidade notável de subzonas sísmicas na subprovíncia Quadrilátero Ferrífero chama a atenção. Esta região se caracteriza como um afloramento do Cráton São Francisco, uma área tectonicamente estável. A densidade de sismos registrada nessa região pode estar vinculada a causas diferentes daquelas relacionadas às forças tectônicas. A atividade frequente de detonações em mineradoras na região pode estar contribuindo para a geração de sismos naturais, e essa possível relação merece investigações específicas.

Por fim, as subzonas Montes Claros e Itacarambi/Jaíba, situadas integralmente na província São Francisco, têm sido associadas a falhas geológicas abaixo das camadas de rochas sedimentares que recobrem o Cráton São Francisco. Essas subzonas se destacam por estar em regiões de rochas calcárias de grande espessura. A interação entre as características geológicas específicas dessas áreas e a geração de sismos mais superficiais dentro das rochas sedimentares são questões a serem exploradas em pesquisas futuras.

Mapa 9 - Subzonas sísmicas e as províncias e sub províncias geológicas em Minas Gerais.



Fonte: IBGE, 2020. Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A análise da distribuição das subzonas sísmicas em relação às províncias e subprovíncias geológicas em Minas Gerais proporciona um panorama inicial dos fatores que geram à atividade sísmica na região. A identificação de padrões geográficos e geológicos sugere múltiplas linhas de investigação que podem enriquecer nosso entendimento dos processos tectônicos e geológicos que desencadeiam os sismos em Minas Gerais. Aprofundar essa análise pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias de mitigação de riscos e preparação mais eficazes para a população e infraestrutura nessas áreas sísmicas.

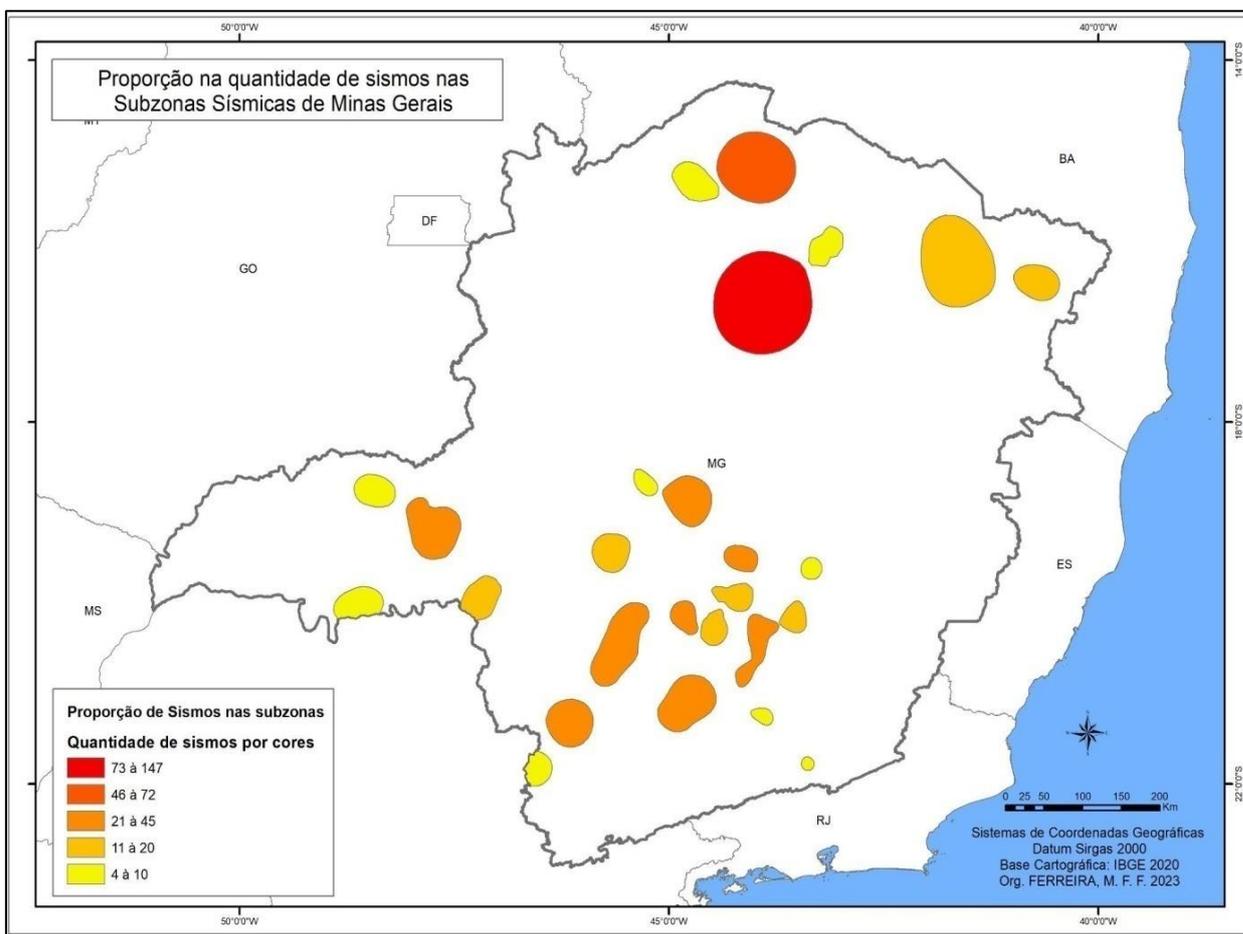
Durante a análise detalhada das subzonas sísmicas em Minas Gerais, foi conduzido um ranqueamento com base na quantidade de sismos registrados em cada uma dessas áreas. Os resultados revelaram uma distribuição interessante das subzonas que mais experimentaram atividade sísmica ao longo do tempo.

A subzona Montes Claros, localizada na região Norte de Minas Gerais, conquistou a primeira posição no ranqueamento, indicando uma presença significativa de sismos nessa

área. Em seguida, a subzona Itacambira/Jaíba, também situada na região Norte, garantiu a segunda posição, reforçando a concentração de atividade sísmica nessa parte do estado.

A região Metropolitana, com a subzona Sete Lagoas, está na terceira posição do ranqueamento. Já na região oeste de Minas, a subzona Divinópolis alcançou o quarto lugar. Para completar o grupo das cinco subzonas com maior atividade sísmica, a subzona Areado, situada na região Sul/Sudeste de Minas, ocupou o quinto lugar no ranqueamento. Esses resultados são visualmente ilustrados no Mapa 10, que oferece uma visão clara da distribuição dessas subzonas e os respectivos valores de sismos registrados em cada uma delas e também descritos na Tabela 1. Chama a atenção o destaque da região Norte do estado, que se sobressai pela quantidade de sismos já ocorridos em Minas Gerais.

Mapa 10 - Mapa de quantidade de sismos nas Subzonas sísmicas em Minas Gerais.



Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.



Tabela 1 - Subzonas sísmicas em Minas Gerais, seus respectivos valores de ocorrência de Sismos e sua localização em relação às Mesorregiões do Estado.

| Subzona Sísmica | Quantidade de Sismos | Mesorregião |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Montes Claros | 147 | Norte de Minas |
| Itacarambi/Jaíba | 72 | Norte de Minas |
| Sete Lagoas | 45 | Metropolitana de BH |
| Divinópolis | 31 | Oeste de Minas |
| Areado | 30 | Sul-Sudeste de Minas |
| Bom Sucesso | 30 | Oeste/Campo das vertentes |
| Formiga | 28 | Oeste/Central/Sul-Sudeste de Minas |
| Nova Ponte | 27 | Triângulo/Alto Paranaíba |
| Belo Vale | 24 | Metropolitana BH/Campo das Vertentes |
| Felixlândia | 23 | Central Mineira |
| Santa Cruz de Salinas | 20 | Norte de Minas/Jequitinhonha |
| Itaguara | 17 | Metropolitana de BH |
| Betim | 14 | Metropolitana de BH |
| Sacramento | 13 | Triângulo/Alto Paranaíba |
| Serra da Saudade | 12 | Central Mineira |
| Santa Bárbara | 12 | Metropolitana de BH |
| Jequitinhonha | 11 | Jequitinhonha |
| Poços de Caldas | 10 | Sul-Sudeste de Minas |
| Uberlândia | 9 | Triângulo-Alto Paranaíba |
| Conceição das Alagoas | 9 | Triângulo-Alto Paranaíba |
| Riacho dos Machados | 9 | Norte de Minas |
| Itabira | 8 | Metropolitana de BH |
| Bonito de Minas | 7 | Norte de Minas |
| Juiz de Fora | 5 | Zona da Mata |
| Barbacena | 5 | Campo das Vertentes |
| Morada Nova de Minas | 4 | Central Mineira |

Org. FERREIRA, M. F. F., 2023.

A observação de padrões claros de atividade sísmica em certas subzonas sugere a presença de processos sismogênicos ativos e intensos. O ranqueamento fornece uma visão das fontes sísmicas mais significativas em Minas Gerais. Subzonas que se destacam no ranqueamento podem ser identificadas como áreas prioritárias para estudos adicionais visando compreender as causas precisas dos sismos.

Outro aspecto importante dessa análise é a identificação de áreas de maior perigo e vulnerabilidade sísmica. Subzonas com uma alta quantidade de sismos podem indicar regiões que possuem um risco mais elevado de ocorrência de abalos sísmicos no futuro. Essa informação pode ser essencial para o planejamento de medidas de mitigação de riscos sísmicos, e ser realizado um trabalho direcionado e assertivo quanto à minimização de problemas relacionados aos sismos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da interpolação de Kernel, este estudo identificou e mapeou cinco grandes áreas com uma densidade significativamente maior de atividade sísmica no Estado de Minas Gerais. Esse mapeamento fornece uma visão geral dos padrões espaciais da atividade sísmica no Estado e destaca a importância de considerar esses padrões para aprofundar as pesquisas na área da geologia e no desenvolvimento de medidas de preparação e mitigação de riscos sísmicos.

Essa técnica demonstrou ser uma ferramenta poderosa para a identificação de zonas de atividade sísmica concentrada e apontar as áreas com maior risco de abalos sísmicos no futuro. Essa abordagem fornece informações importantes para o gerenciamento de riscos e o desenvolvimento de estratégias de planejamento urbano que levam em conta a ocorrência de abalos sísmicos.

Esse estudo detalhou as zonas sísmicas em Minas Gerais por meio de um processo de mapeamento mais específico, resultando na subdivisão das grandes zonas sísmicas em subzonas mais específicas. Essas subzonas, que também foram criadas a partir da aplicação da técnica de interpolação de Kernel, revelaram áreas de maior concentração de atividade sísmica.

A criação das subzonas é significativa no campo da análise espacial de atividades sísmicas. Elas não apenas fornecem uma visualização mais detalhada da distribuição espacial da atividade sísmica, mas também desempenham um papel fundamental na identificação das regiões focais de ocorrência de abalos sísmicos. Essas áreas específicas de alta concentração

de eventos sísmicos são cruciais para compreender os padrões geológicos anteriores que impulsionaram a atividade sísmica.

Portanto, a criação das zonas e subzonas sísmicas por meio do mapeamento representa um importante passo na análise de atividades sísmicas em Minas Gerais. O entendimento mais profundo das áreas de concentração de eventos sísmicos fornece uma base sólida para a pesquisa contínua e o desenvolvimento de políticas de mitigação de riscos. À medida que essa abordagem se concretiza, futuras pesquisas em diversas áreas do conhecimento podem se consolidar não só em Minas Gerais, mas em todo o território nacional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – procedimento – NBR 15421**. Rio de Janeiro, 2006.

ALKMIM, F. F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (Orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. p. 17-35. ISBN: 8587256459.

ALKMIM, F. F. História Geológica de Minas Gerais. In: **Recursos Minerais de Minas Gerais**. CODENGE. 2018. Disponível em <http://recursomineralmg.codemge.com.br/historia-geologica-de-minas-gerais/> Acesso em setembro de 2023.

ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth Science Reviews**, v. 17, p. 1-21, 1981.

ALMEIDA, A. A. D. **Análise probabilística de Segurança Sísmica de Sistemas e Componentes Estruturais**. Dissertação de Doutorado. PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2002.

AGURTO-DETZEL, H. et al. The 2012-2013 Montes Claros earthquake series in the São Francisco Craton, Brazil: new evidence for non-uniform intraplate stresses in mid-plate South America. **Geophysical Journal International**, [S.l.], submitted, 2014.

ASSUMPCÃO, M.; NETO, C. M. D. Sismicidade e Estrutura Interna da Terra. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 43-62.

ASSUMPCÃO, M. et al. Intraplate seismicity in Brazil. In: TALWANI, P. (Ed.). **Intraplate Earthquakes**. Capítulo 3. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

ASSUMPCÃO, M. et al. Terremotos no Brasil: preparando-se para eventos raros. **Boletim SBGF**, n. 96, p. 25-29, 2016.

BARROS, L. V.; ASSUMPCÃO, M.; QUINTERO, R.; CAIXETA, D. The intraplate Porto dos Gaúchos seismic zone in the Amazon craton – Brazil. **Tectonophysics**, v. 469, p. 37–47, 2009.

BARROS, L. V. et al. Recorrência e migração sísmica em Montes Claros – MG. Expanded abstract. In: **VI Simpósio Brasileiro de Geofísica**, Porto Alegre, Brazil, 14-16 October 2014.

BERGAMASCHI, R. B. **SIG aplicado à segurança no trânsito – estudo de caso no município de Vitória – ES**. 74 f. Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

BERROCAL, J.; ASSUMPCÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J. A. Sismicidade do Brasil. **São Paulo: IAG/USP e Comissão Nacional de Energia Nuclear**, 1984. 320 p.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. (Org.). **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Origem e evolução da Bacia Sanfranciscana. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 283-294, 1997. DOI: 10.25249/0375-7536.1997283294.

CAMPOS-NETO, M. C. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: An approach to Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage in South eastern Brazil. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Orgs.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31o International Geological Congress, p. 335-365, 2000.



CHIMPLIGANOND, C. N. **Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características**. 2013. 100 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COSTA, L. R. F. da; SENA SOUZA, J. P.; BAGGIO FILHO, H.; CAVALCANTI, J. A. D.; LEITE, M. R. Geomorfologia da Mesorregião Norte de Minas Gerais – Brasil. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], v. 19, n. 40, 2023. DOI: 10.5418/ra2023.v19i40.17870. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/17870>. Acesso em: 29 abr. 2024.

CPRM. **Geotectônica do escudo atlântico**. In: BIZZI, L. A. et al. (Org.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas & SIG. Brasília, DF: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003. p. 227-334. Disponível em http://www.cprm.gov.br/didote/pdf/geologia_tectonica.pdf. Acesso em maio de 2023.

DARDENNE, M. A. The Brasília foldbelt. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Orgs.). Tectonic Evolution of South America. **31º International Geological Congress**, Rio de Janeiro. p. 231-264, 2000.

DOURADO, J. C. Mapa de Ameaça Sísmica do Brasil. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**, 47., Salvador, 2014. Disponível em <http://www.47cbg.com.br/apresentacoes/PAP015043.pdf>. Acesso em Junho de 2023.

FONTES, S.; SANT'ANA, T.; ASSUMPÇÃO, M. A rede sismográfica brasileira - Breve histórico da Sismologia no Brasil. **Boletim SBGF**, n. 125, p. 10-12, 2023.

GIARDINI, D. The global seismic hazard assessment program (GSHAP) – 1992/1999. **Annali di Geofisica**, v. 42, n. 6, p. 957-974, dez. 1999. DOI: 10.4401/ag-3780.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

IBGE. **Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil: Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos, regiões fitoecológicas e outras áreas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. p. 24-60. Disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2101648>. Acesso em maio de 2023.

LIMA, M. I. C. de. Província Estrutural da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Camboriú. **Anais do Congresso Brasileiro de Geologia**. Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. v. 2. p. 410-411.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 381 p.

MACDONALD, K. C. Exploring the Mid-Ocean Ridge. **Oceanus**, v. 41, n. 1, p. 2-8, 1998.

NÓBREGA, P. G. B. et al. Sobre os Mapas de Perigo Sísmico para o Projeto de Estruturas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, 61., 2019, Fortaleza. Anais... Fortaleza: [s.n.], 2019.

PEDROSA-SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; ALKMIM, F. F.; SILVA, L. C.; BABINSKI, M.; CORDANI, U. G.; CASTAÑEDA, C. (2007). Orógeno Araçuaí: Síntese do Conhecimento 30 anos após Almeida 1977. **Geonomos**, 15(1), 1-16. DOI: 10.18285/geonomos.v15i1.103.

PETERSEN, M. D.; HARMSSEN, S. C.; JAISWAL, K. S.; RUKSTALES, K. S.; LUCO, N.; HALLER, K. M.; MUELLER, C. S.; SHUMWAY, A. M. Seismic Hazard, Risk, and Design for South America: U.S. **Geological Survey data release**, 2018. DOI: 10.5066/F7Wm1BK1.

PIRCHINER, Marlon. **Técnicas de suavização aplicadas à caracterização de fontes sísmicas e à análise probabilística de ameaça sísmica**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Modelagem Matemática da Informação, Escola de Matemática Aplicada, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/14010>>. Acesso em agosto de 2023.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. Tradução por Menegat, R.; Fernandes, P. C. D.; Fernandes, L. A. D.; Porcher, C. C. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

KAWAMOTO, M. T. **Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro–SP**. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu, SP, 2012.

RODRIGUES, R. M. R. **Geração de acelerogramas sísmicos artificiais compatíveis com um espectro de resposta.** Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, S. H. C.; SOUZA, L. S. Estudos da Zonificação Sísmica Brasileira Integrada em um Contexto Sul-Americano. **Anais das Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural**, Buenos Aires, 2004.

SHEDLOCK, K. M.; GIARDINI, D.; GRÜNTAL, G.; ZHANG, P. The GSHAP Global Seismic Hazard Map. **Seismological Research Letters**, v. 71, p. 979-686, 2000.

SILVA, F. C. M. **Avaliação do risco sísmico nas regiões nordeste e sudeste do Brasil.** Projeto final de graduação, Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SYKES, L. R. Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zone of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation. **Reviews of Geophysics**, v. 16, n. 4, p. 621-688, 1978.

TASSINARI, C. C. G. Tectônica Global. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C.; FAIRCHILD, T.; TAIOLI, F. (Org.). **Decifrando a Terra**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 97-112.

VALERIANO, C. M. The Southern Brasília Belt. In: HEILBRON, M.; CORDANI, U. G.; ALKMIM, F. F. (Eds.). **São Francisco craton, eastern Brazil. Tectonic Genealogy of a Miniature Continent. Regional Geology Reviews**. Springer International Publishing Co., 2017. p. 189-203. ISBN: 9783319017150. doi: 10.1007/978-3-319-01715-0_10.

Artigo recebido em: 13 de janeiro de 2024.

Artigo aceito em: 29 de março de 2024.

Artigo publicado em: 04 de maio de 2024.