

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
IGESC – INSTITUTO DE GEOGRAFIA, GEOCIÊNCIAS E SAÚDE COLETIVA
CURSO DE BACHARELADO EM GEOGRAFIA

VINÍCIUS DE OLIVEIRA MARUSCHI

CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DAS FORMAS DE RELEVO NO ESTADO DE
MINAS GERAIS (BRASIL) POR MEIO DA METODOLOGIA DOS GEOMORPHONS

UBERLÂNDIA

2026

VINÍCIUS DE OLIVEIRA MARUSCHI

CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DAS FORMAS DE RELEVO NO ESTADO DE
MINAS GERAIS (BRASIL) POR MEIO DA METODOLOGIA DOS GEOMORPHONS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Geografia, Geociências e Saúde
Coletiva da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em Geografia

Área de concentração: Geografia

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues

UBERLÂNDIA

2026

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador Silvio pelos ensinamentos ao longo dos anos de LAGES e graduação.

Aos colegas da faculdade e de laboratório, pelo apoio, conversas e parceria, de maneira especial destaco Caio, Fabiana, Fabrício, Luana, Marina, Rafael, Renato e Ruan.

Agradeço a LAGES/FAPEMIG/UFU pelas bolsas de iniciação científica concedida durante os anos do curso.

Agradeço também, à coordenação e ao Silvio, por possibilitarem a conclusão tardia do meu bacharelado em Geografia.

RESUMO

A análise das formas de relevo constitui um elemento fundamental para a compreensão da organização e da dinâmica da paisagem, sendo amplamente utilizada em estudos ambientais, planejamento territorial e interpretação do meio físico. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar a classificação automatizada das formas de relevo do Estado de Minas Gerais por meio da metodologia dos geomorphons, proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013), além de avaliar a representatividade dessas classes nas subunidades morfoesculturais definidas no mapeamento geomorfológico estadual. A aplicação da ferramenta r.geomorphon possibilitou a identificação e classificação das principais formas do relevo, permitindo analisar sua distribuição espacial em escala estadual e sua relação com as 74 subunidades geomorfológicas previamente delimitadas. Os resultados indicaram predominância da classe Encosta (28,5%), seguida por Área plana (14,3%), Vales (11,7%), Cristas (10,3%) e Escavado (10,1%). Os resultados obtidos contribuem para ampliar o conhecimento geomorfológico do Estado de Minas Gerais, além de evidenciar o potencial da geomorfometria e das geotecnologias na análise automatizada do relevo em escala regional/estadual.

Palavras-chave: geomorfometria; geomorphons; classificação do relevo; Minas Gerais; geotecnologias; mapeamento geomorfológico.

ABSTRACT

The analysis of landforms is a fundamental element for understanding the organization and dynamics of landscapes, being widely applied in environmental studies, territorial planning, and the interpretation of the physical environment. In this context, this study aims to perform an automated classification of landforms in the State of Minas Gerais, Brazil, using the geomorphons methodology proposed by Jasiewicz and Stepinski (2013), as well as to evaluate the representativeness of these classes within the morphosculptural subunits defined in the states geomorphological mapping. The application of the r.geomorphon tool enabled the identification and classification of the main landforms, allowing the analysis of their spatial distribution at the state scale and their relationship with the 74 previously delimited geomorphological subunits. The results indicated a predominance of the Slope class (28.5%), followed by Flat areas (14.3%), Valleys (11.7%), Ridges (10.3%), and Hollows (10.1%). The results obtained contribute to expanding the geomorphological knowledge of the State of Minas Gerais and highlight the potential of geomorphometry and geotechnologies for the automated analysis of landform at regional and state scales.

Keywords: geomorphometry; geomorphometry; geomorphons; landform classification; Minas Gerais; geotechnologies; geomorphological mapping.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Elementos de relevo obtidos dos geomorphons.....	19
Figura 2 - Mapa do Sistema de Montanhas e Serras.....	24
Figura 3 - Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Planaltos.....	25
Figura 4 - Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Depressões.....	26
Figura 5 - Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Planícies.....	27
Figura 6 - Mapa de Macroestruturas do estado de Minas Gerais.....	29
Figura 7 - Metodologia do Trabalho.....	30
Figura 8 - Mapa de Localização do Estado de Minas Gerais.....	31
Figura 9 - Aplicação dos geomorphons na classificação de elementos de relevo. (A) MDE em torno da janela de leitura da célula de interesse; (B) leitura entre a célula de interesse e os seus vizinhos; (C) identificação de um tipo de geomorphon; (D) identificação dos geomorphons.	32
Figura 10 - Mapa de Unidades Geomorfológicas do estado de Minas Gerais.....	34
Figura 11- Síntese do sistema classificatório utilizado.....	35
Figura 12 - Aplicação OpenTopography DEM Downloader.....	35
Figura 13 - Aplicação r.geomorphon.....	36
Figura 14 - Aplicação Histograma da camada raster.....	37
Figura 15 - Distribuição Espacial dos Geomorphons no Estado de Minas Gerais.....	38
Figura 16 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) do Estado de Minas Gerais.....	39
Figura 17- Porcentagem relativa de cada classe de geomorphon por subunidade morfoescultural.....	40
Figura 18 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe Canyon.....	41
Figura 19 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe Depressão.....	42
Figura 20 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe maciço.....	42
Figura 21- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe planalto.....	43

Figura 22 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe planície.....	44
Figura 23 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe quadrilátero.....	44
Figura 24 - Ditribuição espacial dos geomorphons na subunidade serra negra.....	45
Figura 25 - Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe serra.....	46
Figura 26 - Valores por subunidades Canyon.....	53
Figura 27 - Valores por subunidades Depressão.....	55
Figura 28 - Valores por subunidades Planalto.....	60
Figura 29 - Valores por subunidade Planície.....	64
Figura 30 - Valores por subunidade Quadrilátero Ferífero.....	65
Figura 31- Valores por subunidades Serras.....	66
Figura 32- Valores por subunidade Macico.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileira de Geografia e Estatística
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
MDE	Modelo Digital de Elevação
USGS	United States Geological Survey
QGIS	Quantum GIS
GIS	Geographic Information System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
SIG	Sistema de Informação Geográfica
IGU	União Geográfica Internacional

SUMÁRIO

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4	METODOLOGIA.....	30
5	RESULTADOS.....	38
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
7	REFERÊNCIAS.....	50
8	APÊNDICE.....	53

1 INTRODUÇÃO

O estudo da geomorfologia e da caracterização das formas de relevo constitui elemento fundamental para a compreensão da organização e da evolução da paisagem, sendo base para estudos ambientais, planejamento territorial e análises integradas do meio físico. No contexto brasileiro, o Estado de Minas Gerais destaca-se pela expressiva diversidade de unidades de relevo, litologias e contextos climáticos, que resultam em grande variedade de paisagens. O estado abriga importantes compartimentos geomorfológicos, além de extensas áreas inseridas nos domínios do Cerrado e da Mata Atlântica. Sua rede hidrográfica apresenta grande relevância em escala nacional, com nascentes que alimentam importantes bacias hidrográficas, como as dos rios São Francisco e Paraná. Essa combinação de fatores geológicos, geomorfológicos, climáticos e hidrológicos confere a Minas Gerais elevada complexidade ambiental, tornando-o um território relevante para estudos relacionados à dinâmica da superfície terrestre.

A compreensão das formas de relevo possui importância não apenas geomorfológica, mas também ambiental e territorial, uma vez que o relevo influencia diretamente a distribuição da drenagem, os processos erosivos, a ocupação humana, a dinâmica hidrológica e a organização das paisagens naturais. Dessa forma, estudos voltados à caracterização geomorfológica contribuem significativamente para análises ambientais integradas e para o planejamento territorial em diferentes escalas espaciais.

Nas últimas décadas, o avanço das geotecnologias promoveu importantes transformações nos estudos relacionados à análise do relevo e à representação da superfície terrestre. O desenvolvimento de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), técnicas de sensoriamento remoto e Modelos Digitais de Elevação (MDEs) ampliou significativamente a capacidade de armazenamento, processamento e análise de dados espaciais, permitindo a incorporação de métodos quantitativos na Geomorfologia. Nesse contexto, consolida-se a geomorfometria, área voltada à quantificação matemática das formas do relevo e à extração automatizada de parâmetros topográficos derivados de modelos digitais.

Para Silva, Oka-Fiori e Silveira (2017), o uso de modelos digitais provenientes de diferentes fontes, assim como dos parâmetros geomorfométricos extraídos deles, exige análise crítica de suas potencialidades e limitações para que se obtenha a melhor representação possível da realidade. Dessa forma, torna-se fundamental não apenas dominar as técnicas de extração automática de dados por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mas também compreender as operações matemáticas e estatísticas utilizadas na validação e interpretação dos

modelos produzidos. Segundo Pike (1988), a geomorfometria possibilita representar quantitativamente a superfície terrestre, reduzindo parte da subjetividade presente nas interpretações geomorfológicas tradicionais e favorecendo análises comparativas entre diferentes áreas e escalas espaciais.

A utilização de métodos automatizados para classificação das formas de relevo tornou-se cada vez mais relevante em estudos ambientais e geomorfológicos, principalmente em áreas extensas e com elevada complexidade morfoestrutural. Essas metodologias permitem identificar padrões topográficos de maneira padronizada, rápida e reproduzível, favorecendo análises integradas do meio físico. Além disso, a automatização dos processos geomorfológicos contribui para aplicações relacionadas ao planejamento territorial, gestão ambiental, estudos hidrológicos, suscetibilidade erosiva e compartimentação da paisagem. Conforme Hengl e Reuter (2009), os Modelos Digitais de Elevação representam uma das principais bases para análises geomorfométricas modernas, possibilitando a derivação de atributos topográficos fundamentais para a interpretação da dinâmica superficial.

A classificação automatizada das formas de relevo constitui importante ferramenta para compartimentação da paisagem e interpretação dos processos geomorfológicos atuantes na superfície terrestre. Além disso, metodologias automatizadas favorecem análises quantitativas e comparações espaciais entre diferentes áreas, permitindo representar padrões geomorfológicos de maneira mais padronizada e reproduzível.

Entre as metodologias voltadas à classificação automatizada das formas de relevo, destaca-se a proposta dos geomorphons, desenvolvida por Jasiewicz e Stepinski (2013). Baseada na análise da variação altimétrica em diferentes direções ao redor de cada ponto do terreno, a metodologia reconhece padrões geomorfológicos como áreas planas, picos, cristas, ressaltos, cristas secundárias, encostas, escavados, bases de encosta, vales e fossos, organizando-os em categorias geomorphométricas. Essa abordagem utiliza princípios relacionados à linha de visada (line-of-sight), considerando ângulos de zênite e nadir para identificar padrões topográficos recorrentes na paisagem.

A metodologia dos geomorphons apresenta vantagens relacionadas principalmente à rapidez do processamento, à padronização dos resultados e à possibilidade de aplicação em diferentes escalas espaciais. Além disso, o método reduz parte da subjetividade presente nos mapeamentos geomorfológicos convencionais, favorecendo análises quantitativas e comparações espaciais entre diferentes regiões. Entretanto, alguns estudos destacam limitações relacionadas à resolução espacial dos Modelos Digitais de Elevação, à definição dos parâmetros de processamento e à representação de áreas de baixa rugosidade topográfica. Jasiewicz e

Stepinski (2013) ressaltam que resoluções espaciais mais grosseiras tendem a generalizar as formas do relevo, reduzindo a capacidade de representação da heterogeneidade espacial da superfície terrestre. Da mesma forma, Silveira et al. (2018), ao aplicarem a metodologia no estado do Paraná, identificaram limitações relacionadas principalmente à distinção entre áreas planas e determinadas feições associadas a fundos de vale.

No contexto brasileiro, estudos envolvendo geomorphons ainda apresentam relativa concentração em análises locais ou regionais, sendo menos frequentes aplicações em escala estadual envolvendo territórios extensos e geomorfologicamente complexos. Dessa forma, o Estado de Minas Gerais constitui importante área para avaliação do desempenho dessa metodologia, considerando sua elevada diversidade geomorfológica e estrutural. O território mineiro apresenta grande variedade de formas de relevo, litologias e contextos tectônicos, incluindo serras, planaltos, depressões e planícies associadas a diferentes domínios geológicos e climáticos.

Além disso, o mapeamento geomorfológico elaborado por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) representa importante referência para compreensão da organização espacial das unidades de relevo de Minas Gerais, permitindo integrar aspectos relacionados à estrutura geológica, dinâmica superficial e compartimentação morfoescultural do território estadual. Assim, a aplicação da metodologia dos geomorphons em Minas Gerais possibilita não apenas identificar padrões geomorphométricos em escala regional, mas também avaliar sua correspondência com as subunidades geomorfológicas previamente delimitadas no mapeamento estadual.

Diante desse contexto, o presente estudo fundamenta-se na análise da adequação da metodologia dos geomorphons na representação das subunidades morfoesculturais do Estado de Minas Gerais. A relevância da pesquisa está associada tanto ao avanço das aplicações da geomorfometria em escala estadual quanto à ampliação de estudos automatizados do relevo no Brasil, contribuindo para o desenvolvimento de análises espaciais mais padronizadas, quantitativas e reprodutíveis.

Este trabalho tem como objetivo realizar a classificação automatizada das formas de relevo do Estado de Minas Gerais utilizando a metodologia dos geomorphons, além de avaliar a representatividade das classes obtidas dentro das subunidades morfoesculturais delimitadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023). Para isso, foram utilizados dados do modelo SRTM e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica para processamento e análise espacial das informações geomorfométricas.

Na escala estadual, destacam-se trabalhos importantes para comparação dos resultados obtidos, como os estudos realizados por Silveira et al. (2018) no estado do Paraná, Robaina (2016) no Rio Grande do Sul e Robaina et al. (2017) no estado do Tocantins, os quais demonstram o potencial da metodologia dos geomorphons na identificação automatizada de padrões geomorfológicos em diferentes contextos regionais brasileiros.

Assim, a aplicação da metodologia dos geomorphons no Estado de Minas Gerais possibilita integrar análises geomorfométricas automatizadas e estudos geomorfológicos regionais, contribuindo para o avanço das pesquisas relacionadas à representação quantitativa do relevo em escala estadual no Brasil.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo realizar a classificação automatizada das formas de relevo do Estado de Minas Gerais, utilizando a metodologia dos geomorphons proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013), bem como avaliar a representatividade das classes obtidas nas subunidades morfoesculturais delimitadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023).

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) Classificar as formas de relevo de Minas Gerais pela metodologia dos geomorphons.
- b) Analisar a distribuição espacial das classes de relevo e sua correspondência com as subunidades morfoesculturais do Estado.
- c) Comparar os resultados obtidos com estudos similares realizados em outros estados brasileiros.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para Pedroza (2014) a Geografia, compreendida como a ciência que estuda a Terra e as sociedades humanas, possui como objeto teórico o espaço. Entre seus principais conceitos estão a escala, os polos e a distância, que auxiliam na interpretação das relações espaciais. Além disso, a disciplina estabelece leis explicativas, como a organização e distribuição dos centros urbanos de acordo com uma hierarquia de serviços terciários. Essas leis permitem compreender os padrões de configuração do espaço e explicar o funcionamento dos sistemas espaciais. Dessa forma, a Geografia consolida-se como a ciência dedicada à análise e interpretação do espaço.

A geomorfologia entendida como o estudo científico das formas de relevo da superfície da Terra é, sem dúvida, como dizia J. Tricart (1965), uma das peças mestras da ciência geográfica. Assim, sempre que se pretenda uma completa explicação de qualquer forma da Terra, há que se fazer uma descrição da sua figura geométrica e compreender os processos envolvidos na sua gênese, bem como no seu desenvolvimento através do tempo. (Pedroza, 2014, p. 412).

Segundo Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) o mapeamento geomorfológico tem como objetivo identificar, caracterizar e espacializar as formas de relevo da superfície terrestre, quanto à sua origem, evolução e processos atuantes. Além disso, permite integrar diferentes tipos de dados ambientais, servindo como base para interpretação e análise não apenas para geomorfólogos, mas também para profissionais de diversas áreas. Dessa forma, apresentam elevada relevância no âmbito das pesquisas em Geomorfologia, contribuindo para o entendimento da evolução do relevo, da organização da drenagem e das interações entre os diferentes elementos do meio físico.

Segundo Pike (1988), a morfometria corresponde à mensuração sistemática das formas do relevo, possibilitando a descrição quantitativa da superfície terrestre. Essa abordagem reduz a subjetividade presente nas análises qualitativas e favorece a comparação entre diferentes áreas e escalas de estudo. Além disso, os parâmetros morfométricos auxiliam na interpretação da gênese e da evolução das formas de relevo, uma vez que refletem a atuação de processos geomorfológicos ao longo do tempo.

Pike (1988) evidencia que características geométricas variam conforme a escala e o estágio evolutivo das formas, indicando que os processos atuantes apresentam diferentes intensidades e comportamentos ao longo do tempo. Dessa forma, a análise dessas relações permite compreender padrões evolutivos e identificar condicionantes morfoestruturais. Portanto, a morfometria constitui um suporte essencial para os estudos geomorfológicos, favorecendo a compreensão da dinâmica da paisagem.

A análise quantitativa do relevo possibilita representar parâmetros geomorfológicos de maneira objetiva, favorecendo comparações espaciais entre diferentes áreas e reduzindo parte da subjetividade presente nas interpretações geomorfológicas tradicionais. Conforme Evans (1972), a utilização de parâmetros derivados da altitude permite compreender padrões espaciais relacionados à evolução da paisagem e aos processos geomorfológicos atuantes na superfície terrestre. Além disso, as características geométricas do relevo variam conforme a escala espacial e os processos morfogenéticos predominantes, refletindo diferentes estágios evolutivos da paisagem.

Com o avanço das geotecnologias, a geomorfologia passou a incorporar métodos quantitativos, dando origem à geomorfometria. Essa área busca descrever e analisar as formas do relevo por meio de técnicas matemáticas e computacionais aplicadas aos Modelos Digitais de Elevação (MDE), a utilização de dados altimétricos digitais possibilitou o desenvolvimento de metodologias automatizadas para a classificação do relevo, contribuindo para a padronização dos resultados e redução da subjetividade.

Farr et al. (2007) destacam que a missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) representou importante avanço na obtenção de Modelos Digitais de Elevação em escala global, possibilitando aplicações em estudos geomorfológicos, hidrológicos e ambientais em diferentes regiões do mundo. Wood (1996) destaca que a representação digital da superfície terrestre possibilitou avanços significativos na classificação automatizada do relevo, permitindo identificar padrões geomorfológicos por meio de parâmetros derivados de Modelos Digitais de Elevação. Nesse contexto, a incorporação de métodos quantitativos e automatizados na Geomorfologia favoreceu o desenvolvimento de análises espaciais mais detalhadas, contribuindo para a interpretação da dinâmica da paisagem e para o avanço das pesquisas geomorfológicas em diferentes escalas de análise.

De acordo com Jasiewicz e Stepinski (2013), a classificação digital permite a análise da estrutura espacial da paisagem em diferentes escalas, favorecendo a identificação de padrões geomorfológicos e a comparação entre diferentes áreas. As resoluções espaciais mais grosseiras tendem a generalizar as formas do relevo, reduzindo a capacidade de representação da heterogeneidade espacial da superfície terrestre. Por outro lado, resoluções mais detalhadas permitem identificar feições geomorfológicas menores, embora demandem maior capacidade computacional e maior volume de processamento dos dados.

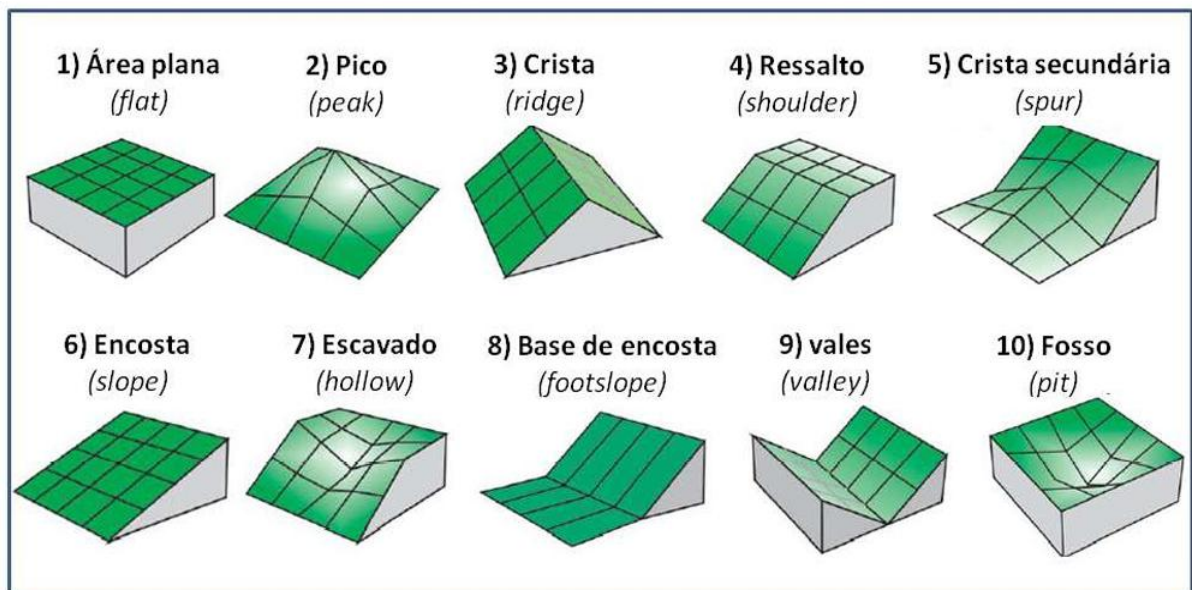
A proposta dos geomorphons, desenvolvida por Jasiewicz e Stepinski (2013), constitui uma abordagem inovadora baseada no reconhecimento de padrões para a classificação automatizada das formas de relevo. Essa metodologia considera a relação entre a célula central

e sua vizinhança, utilizando um padrão ternário que classifica as diferenças altimétricas como positivas, negativas ou nulas.

Jasiewicz e Stepinski (2013) diferentemente de métodos simplificados, a classificação dos geomorphons utiliza a variável Δ , derivada do princípio da linha de visada (*line-of-sight*). Esse princípio relaciona o relevo e a distância horizontal por meio dos ângulos de zênite e nadir, calculados em oito direções principais, permitindo uma análise mais detalhada da superfície possibilitando a identificação de padrões geomorfológicos.

Apesar da elevada quantidade de padrões possíveis, a aplicação prática do método requer a simplificação das classes, agrupando os geomorphons em formas mais comuns e reconhecíveis da paisagem, de acordo com Jasiewicz e Stepinski (2013), as formas mais identificadas na superfície terrestres, como identificado na (Figura 1), são: 1- Áreas planas, 2 - Picos, 3-Cristas, 4-Ressalto, 5-Crista secundária, 6-Encosta, 7-Escavado, 8-Base de encosta, 9-Vales e 10-Fosso.

Figura 1 - Elementos de relevo obtidos dos geomorphons.



Fonte: Silveira C. T. et al. (2018).

A identificação dos elementos do relevo por meio da abordagem dos geomorphons fundamenta-se na proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), a qual busca reconhecer padrões texturais no Modelo Digital de Elevação (MDE). O procedimento consiste na comparação entre o valor altimétrico de uma célula central e os valores de suas células vizinhas. Quando o valor da célula central é equivalente ao da vizinha, atribui-se o código “0”; quando é superior, atribui-

se “1”; e quando é inferior, registra-se “-1”. A classificação da superfície terrestre não se restringe apenas às diferenças altimétricas. Conforme os autores, torna-se essencial considerar a direção e a distância dos pontos vizinhos em relação à célula central, parâmetros que envolvem os ângulos zênite e nadir. Para tal, são traçados perfis nas principais direções a partir da célula central, considerando uma distância de análise denominada “lookup distance” (L), extraída do MDE.

O ângulo de elevação é definido como o ângulo formado entre o plano horizontal e a linha que conecta a célula central a um ponto ao longo do perfil. Quando esse ângulo assume valores negativos, indica que o ponto analisado está em cota inferior à da célula central. Para cada direção (D) e distância (L), calcula-se o ângulo de elevação “DSL”, evidenciando a dependência simultânea desses dois parâmetros espaciais.

O ângulo zênite do perfil é determinado a partir do maior ângulo de elevação ($D\beta L$), sendo expresso por $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$, representando o ângulo entre o zênite e a linha de visada (“line-of-sight”). De forma análoga, o ângulo nadir é calculado com base no menor ângulo de elevação ($D\delta L$), definido por $D\psi L = 90^\circ - D\delta L$, configurando uma linha hipotética derivada da reflexão do perfil em relação ao plano horizontal. Ambos os ângulos assumem valores positivos compreendidos no intervalo entre 0° e 180° .

Para Jasiewicz e Stepinski (2013), resoluções mais grosseiras tendem a generalizar as formas do relevo, reduzindo a capacidade de representação da heterogeneidade espacial, por isso a resolução espacial dos Modelos Digitais de Elevação constitui um fator determinante na qualidade da classificação.

Kramm et al. (2017) defende que resoluções espaciais mais grosseiras tendem a reduzir a capacidade de identificação de feições geomorfológicas menores, ocasionando simplificações na representação da superfície terrestre. Por outro lado, resoluções mais detalhadas possibilitam maior refinamento geomorfométrico, embora demandem maior capacidade computacional.

Por outro lado, dados de maior resolução permitem maior detalhamento, porém demandam maior capacidade computacional e cuidados metodológicos. Dessa forma, a escolha da escala de análise deve considerar os objetivos do estudo e as características da área pesquisada. Para Wen et al. (2025), resoluções espaciais mais refinadas favorecem a identificação de microformas do relevo e feições geomorfológicas locais, permitindo maior detalhamento geomorfométrico da superfície terrestre.

Segundo Kramm et al. (2017), a metodologia dos geomorphons apresentou elevada eficiência na classificação automatizada das formas de relevo, especialmente em áreas montanhosas e com maior variabilidade altimétrica. Os autores destacam ainda que a precisão

das classificações geomorfométricas apresenta forte relação com a resolução espacial do Modelo Digital de Elevação utilizado, sendo observadas reduções na capacidade de identificação de feições geomorfológicas menores em resoluções mais grosseiras.

Segundo Gupta et al. (2026), a metodologia apresenta elevada eficiência computacional e capacidade de representação geomorfológica, especialmente em áreas montanhosas e de elevada variabilidade altimétrica. Além disso, os autores destacam que os geomorphons permitem diferenciar feições geomorfológicas locais com maior detalhamento quando comparados a metodologias tradicionais de classificação automatizada do relevo.

Além disso, Kramm et al. (2017) observaram que os geomorphons apresentaram resultados satisfatórios na representação de áreas planas, vales e encostas quando comparados a outras metodologias automatizadas de classificação do relevo, demonstrando potencial para aplicações em análises geomorfológicas regionais e compartimentação da paisagem.

Para Robaina (2016) a identificação de elementos do relevo por meio dos geomorphons apresenta-se como uma técnica eficiente para delimitar diferentes compartimentos geomorfológicos. A aplicação desse método no estado do Rio Grande do Sul permitiu reconhecer sete compartimentos de formas de relevo, cada um caracterizado por combinações predominantes de elementos como áreas planas, encostas, vales e cristas. Entre eles, destacam-se as áreas planas com encostas de bases amplas, que ocupam a maior parte do território, seguidas por compartimentos dominados por encostas associadas a vales, enquanto áreas com vales encaixados e cristas representam a menor porção do estado.

Já para Silveira C. T. et al. (2018) a aplicação do método dos geomorphons na classificação automática do relevo no estado do Paraná demonstrou ser viável e eficaz para os objetivos propostos. Em escala regional, o agrupamento dos elementos de relevo permitiu identificar compartimentos com padrões morfológicos predominantes, apresentando correspondência com as subunidades morfoesculturais previamente delimitadas, em escala local, os resultados também mostraram boa concordância com as formas de relevo observadas em campo em áreas amostrais representativas. Contudo, foram identificadas limitações, especialmente na classe geomorphon 9, que agrupou indevidamente planícies fluviais e áreas de baixa declividade em determinadas regiões. De modo geral, o método apresentou melhor desempenho em áreas com relevos mais complexos e maior variação altimétrica, sendo menos preciso em superfícies mais planas e homogêneas.

A utilização de geotecnologias, como SIG e sensoriamento remoto, tem ampliado as possibilidades de aplicação da geomorfometria, favorecendo a o desenvolvimento de análises espaciais mais precisas. O método dos geomorphons foi implementado como extensão do

software GRASS GIS, possibilitando o processamento de grande quantidade de dados. Essa ferramenta permite a geração de mapas geomorfológicos de forma automatizada.

Entretanto, apesar das vantagens operacionais, alguns estudos apontam limitações relacionadas principalmente à resolução espacial dos Modelos Digitais de Elevação, à escolha dos parâmetros de processamento e à representação de áreas de baixa rugosidade topográfica. Segundo Hengl e Reuter (2009), a resolução espacial dos MDEs influencia diretamente a capacidade de representação das formas do relevo, podendo alterar significativamente os padrões geomorfológicos identificados.

Gupta et al. (2026) destacam que os geomorphons apresentam elevada capacidade de representação de padrões geomorfológicos regionais, permitindo identificar compartimentos topográficos associados a processos erosivos, estruturais e deposicionais, além disso, verificaram diferenças importantes entre metodologias automatizadas de classificação do relevo, observando que os geomorphons apresentam maior capacidade de diferenciação de feições geomorfológicas locais, enquanto metodologias baseadas em índices topográficos, como o Topographic Position Index (TPI), apresentam melhor desempenho na representação de unidades geomorfológicas mais amplas. Dessa forma, os autores ressaltam que a escolha da metodologia deve considerar os objetivos da pesquisa, a escala espacial da análise e as características geomorfológicas da área de estudo.

Estes estudos demonstram o potencial da metodologia dos geomorphons para análises geomorfológicas automatizadas em escala regional, evidenciando sua capacidade de representação de diferentes contextos geomorfológicos brasileiros.

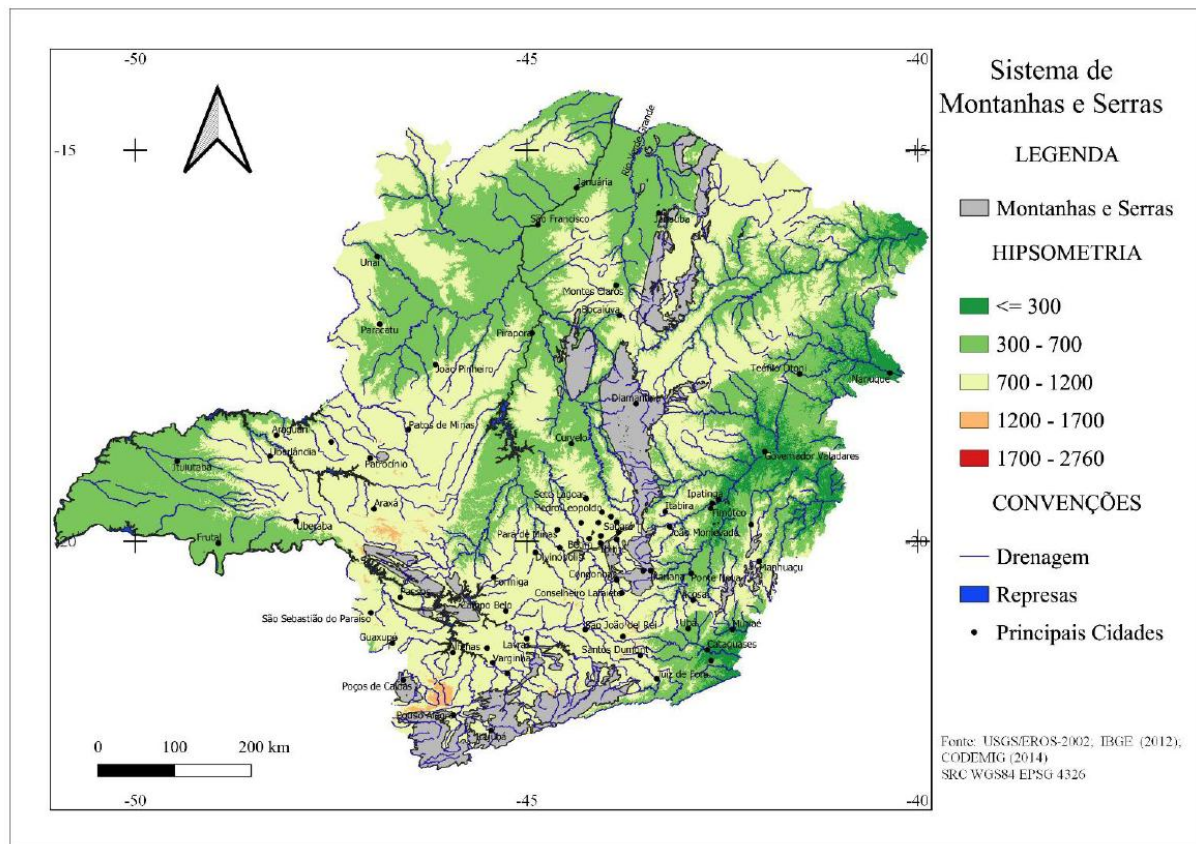
Dessa forma, os estudos relacionados à geomorfometria e à classificação automatizada das formas de relevo demonstram elevado potencial para aplicações em análises ambientais. Nesse contexto, a metodologia dos geomorphons destaca-se como importante ferramenta para representação quantitativa do relevo e compartimentação geomorfológica em diferentes escalas espaciais.

O mapeamento geomorfológico do Estado de Minas Gerais feito por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) revelou grande diversidade de sistemas morfoaltimétricos, subdivididos em Compartimentos Morfoestruturais, totalizando 74 Unidades Geomorfológicas. As altitudes variam de aproximadamente 50 m, no Vale do Rio Mucuri, até 2.854 m no Pico da Bandeira, na Serra do Caparaó, uma das maiores elevações do Brasil. Os sistemas de montanhas e serras concentram-se principalmente nas regiões centro-leste, sudeste e sul, com altitudes geralmente superiores a 900 m, podendo ultrapassar 2000 m em áreas como a Serra do Caparaó, o Maciço de Itatiaia e a Serra do Espinhaço. Os planaltos constituem o sistema mais extenso do

estado, predominando nas regiões oeste, centro-oeste e centro-norte, associados principalmente a rochas sedimentares, enquanto planaltos sobre rochas cristalinas são mais comuns no leste e sudeste. As depressões acompanham as principais bacias hidrográficas e apresentam altitudes geralmente inferiores a 500 m, destacando-se a Depressão do Rio São Francisco, que ocupa grande parte das regiões central e norte do estado. Os canyons possuem ocorrência mais restrita, identificados principalmente nos rios Jequitinhonha e Araguari, caracterizados por vales profundos e íngremes. Já as planícies aluviais foram mapeadas apenas ao longo dos grandes rios, como São Francisco, Doce, Paranaíba e Jequitinhonha, sendo a planície do Rio São Francisco a mais extensa e representativa, devido à grande bacia hidrográfica que concentra águas e sedimentos de grande parte do estado.

Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) classificaram conforme o sistema geomorfológico de Montanhas e Serras correspondendo a conjuntos de relevo que se destacam na paisagem por apresentarem altitudes geralmente superiores a 1200 metros ou por possuírem grande diferença altimétrica em relação às áreas ao redor. Essas formas de relevo ocupam posições mais elevadas em comparação aos terrenos vizinhos e podem ocorrer sobre diferentes tipos de rochas e estruturas geológicas. No entanto, apresentam forte relação com a estrutura e composição das rochas que compõem o substrato, o que influencia aspectos como a organização da rede de drenagem e as transições topográficas, normalmente marcadas por mudanças abruptas no relevo. (Figura 2).

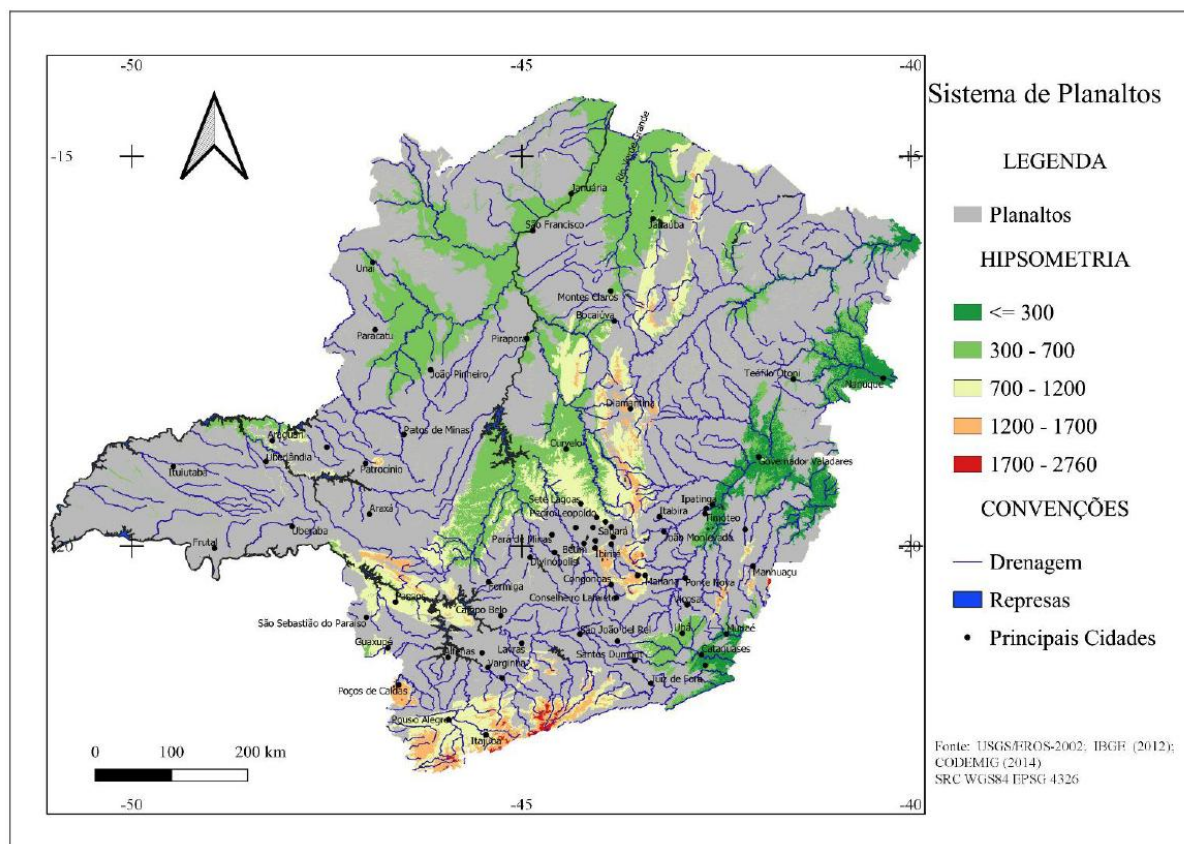
Figura 2 - Mapa do Sistema de Montanhas e Serras.



Fonte: Rodrigues, Augustin e Nazar (2023)

Os autores definem os planaltos como formas de relevo situadas em posição topográfica mais elevada em relação à maioria das áreas próximas, com exceção das montanhas e serras. Essas formas podem se desenvolver sobre diferentes tipos de rochas e estruturas geológicas, apresentando variações na rugosidade do terreno e na densidade da rede de drenagem. Os limites entre os planaltos e outras unidades de relevo podem ocorrer de forma gradual ou abrupta. A distinção entre os diferentes tipos de planaltos está relacionada principalmente à litoestrutura que os sustenta, fator que influencia tanto os padrões de rugosidade quanto os processos predominantes responsáveis por sua formação. (Figura 3).

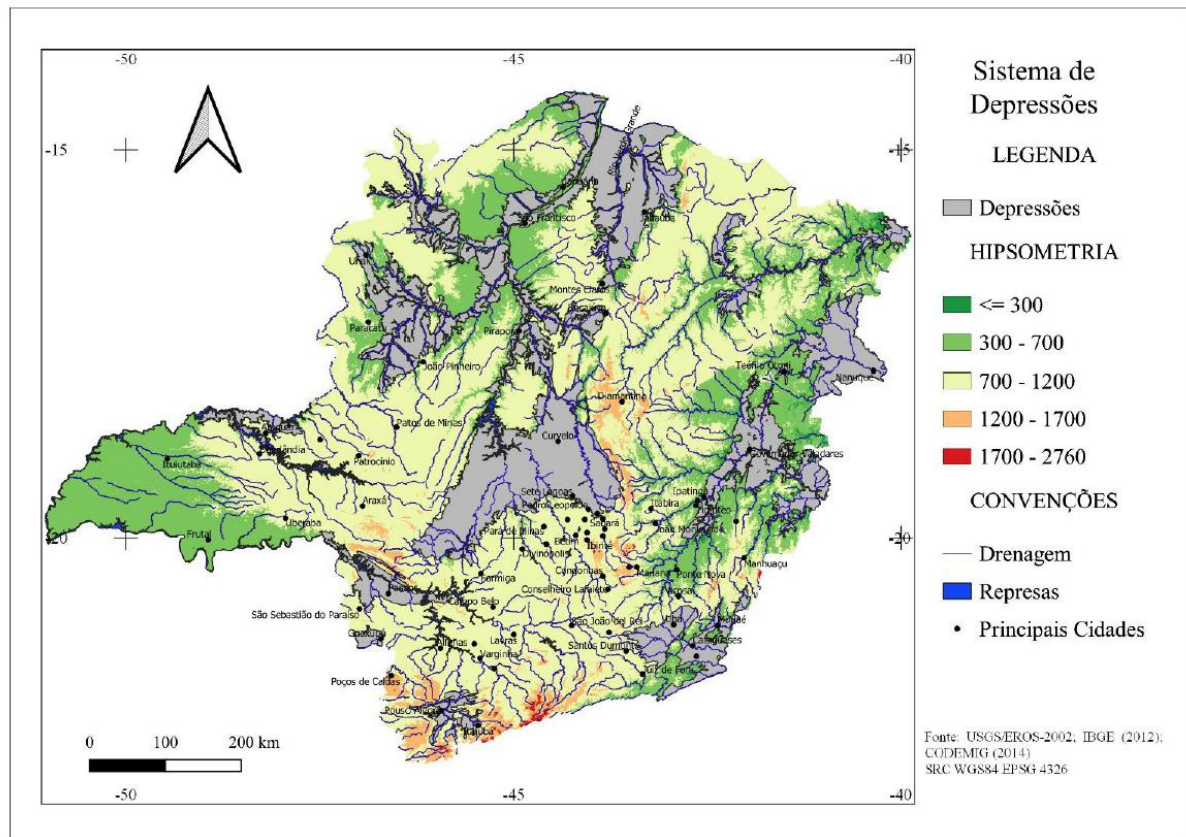
Figura 3 - Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Planaltos.



Fonte: Rodrigues, Augustin e Nazar (2023).

Já para as depressões os autores classificam como áreas que se encontram em posição topográfica inferior em relação aos relevos adjacentes, excetuando-se as planícies, e podem ocorrer sobre diferentes tipos de rochas e estruturas geológicas. Essas formas apresentam variações na rugosidade do terreno e na densidade da rede de drenagem, dependendo das características das rochas presentes. Elas podem ser classificadas em dois principais subtipos: estruturas de falhas em gráben, como aquelas associadas aos rios Paraíba do Sul e Doce, e depressões formadas em rochas ígneas e metamórficas intensamente erodidas, geralmente relacionadas à evolução das bacias hidrográficas. Além disso, incluem-se também os canyons, que são vales profundos com paredes íngremes, normalmente ocupados por cursos d'água. Essas formas resultam principalmente da erosão fluvial intensa, muitas vezes favorecida por processos de soerguimento tectônico. (Figura 4)

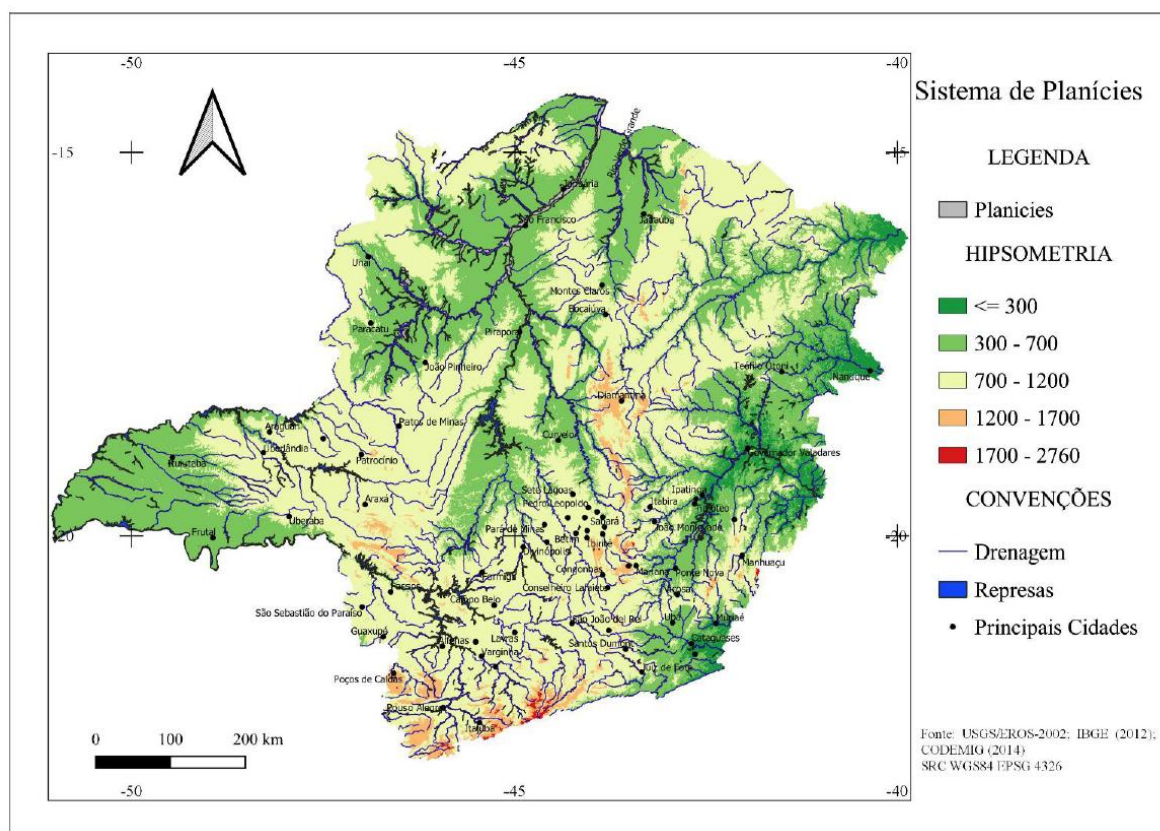
Figura 4- Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Depressões.



Fonte: Rodrigues, Augustin e Nazar (2023).

As planícies correspondem a áreas de baixa altitude caracterizadas por relevo predominantemente plano ou suavemente ondulado. Geralmente estão associadas à dinâmica dos rios, tanto em relação ao transporte quanto à deposição de sedimentos. Essas áreas também apresentam características morfológicas típicas dos sistemas fluviais, como a presença de lagoas marginais e canais sinuosos ou meandantes. (Figura 5).

Figura 5- Mapa de Distribuição espacial do Sistema de Planícies



Fonte: Rodrigues, Augustin e Nazar (2023).

A litologia do estado de Minas Gerais (Figura 6) é caracterizada pela predominância de terrenos pré-cambrianos associados a importantes estruturas tectônicas em bacias sedimentares que registram diferentes fases da evolução geológica do território brasileiro. Entre os principais compartimentos geológicos presentes destacam-se o cráton do São Francisco, os sistemas orogênicos Mantiqueira e Tocantins, além de coberturas sedimentares e corpos ígneos de idade fanerozoica (ALKMIM, 2017).

O cráton do São Francisco corresponde a um bloco continental antigo estabilizado aproximadamente há 1,8 bilhões de anos, limitado pelos sistemas orogênicos Mantiqueira, Tocantins e Borborema. Esse cráton apresenta uma configuração estrutural com orientação predominante norte-sul que, posteriormente, se curva para a direção leste-oeste até atingir o litoral brasileiro. De forma geral, sua configuração geológica acompanha o padrão espacial da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, que lhe dá nome (ALMEIDA, 1977; ALKMIM, 2004). No interior desse cráton destaca-se o Quadrilátero Ferrífero, uma das regiões geológicas mais importantes de Minas Gerais, caracterizada por relevo acidentado e pela presença de conjuntos de serras aproximadamente ortogonais entre si. Essa região abriga expressivos

depósitos de minério de ferro de alto teor, além de diferentes associações litológicas que se organizam em uma sucessão de rochas de idades distintas, registrando diversos eventos tectônicos e sedimentares ao longo da evolução geológica regional (DORR, 1969; RENGGER et al., 1994; LANA et al., 2013).

Associada a esse contexto encontra-se também a Bacia Sedimentar do São Francisco, que corresponde à porção do cráton preenchida por rochas sedimentares de idades pré-cambrianas e fanerozoicas. Essa bacia ocupa grande parte da porção central do cráton e se estende pelos estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. Em território mineiro, seus limites são definidos pela Faixa Brasília, pertencente ao Sistema Tocantins, a oeste, e pelo Orógeno Araçuaí, integrante do Sistema Mantiqueira, a leste, ao sul, ocorre o contato com rochas do embasamento arqueano e paleoproterozoico do Quadrilátero Ferrífero (ALKMIM; MARTINS-NETO, 2001; REIS et al., 2017).

O Sistema Orogênico Mantiqueira constitui um importante conjunto de cinturões orogênicos que se estende ao longo da porção oriental do Brasil, desde a região da divisa entre Minas Gerais e Bahia até o sul do país. No estado de Minas Gerais, sua ocorrência corresponde principalmente à porção setentrional do sistema, representada por segmentos do Orógeno Araçuaí e da Faixa Ribeira, estruturas associadas a processos tectônicos de colisão continental durante a evolução geológica neoproterozoica (ALMEIDA; HASUI, 1984; CAMPOS-NETO, 2000).

Já o Sistema Orogênico Tocantins desenvolveu-se entre os crátons Amazônico, Paranapanema e São Francisco, sendo representado em Minas Gerais principalmente pela Faixa Brasília, localizada na margem oeste do cráton do São Francisco. Essa unidade geológica apresenta importante expressão no relevo regional, destacando-se a Serra da Canastra e áreas elevadas adjacentes que integram a borda oriental do Planalto Central Brasileiro (PIMENTEL et al., 2004; VALERIANO, 2017).

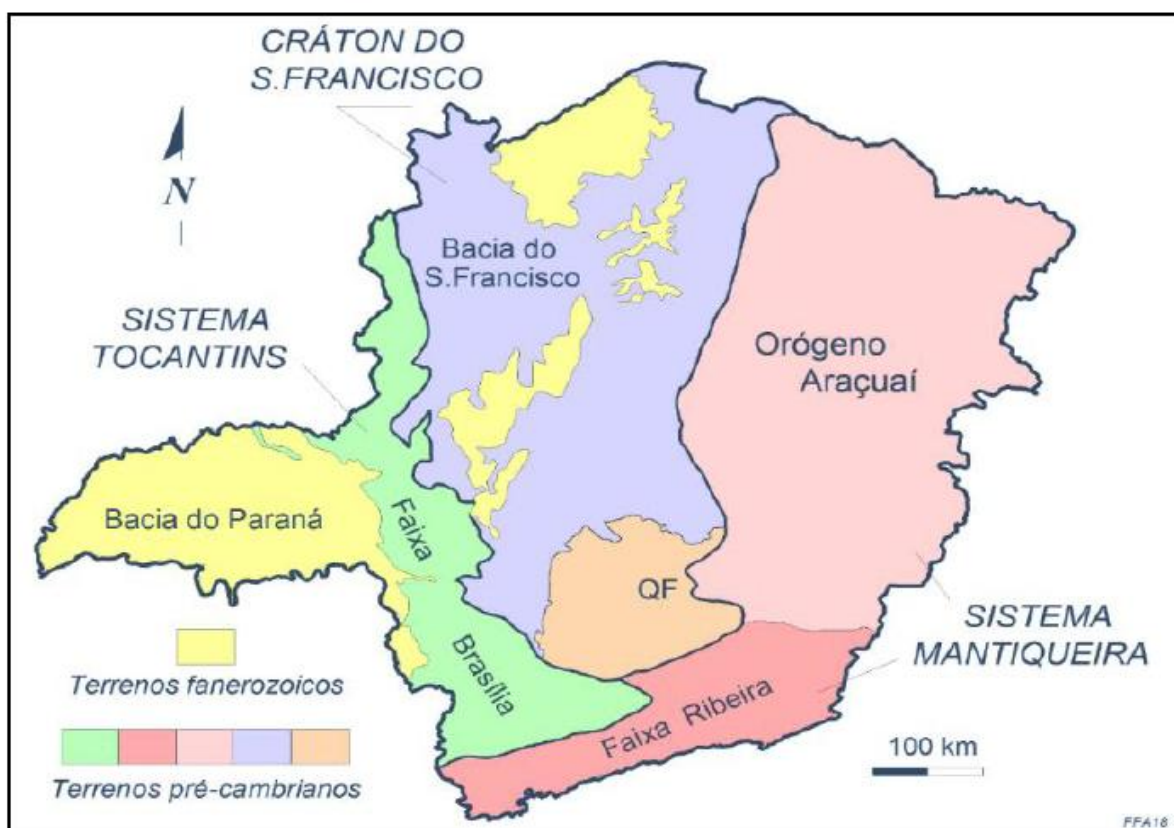
Além das unidades geológicas pré-cambrianas, o estado também apresenta coberturas sedimentares e corpos ígneos de idade fanerozoica. Na Bacia do São Francisco, além das espessas sequências sedimentares mais antigas, ocorrem depósitos formados no final do Paleozoico, entre os períodos Carbonífero e Permiano, bem como depósitos mais recentes associados ao Período Cretáceo da Era Mesozoica (REIS et al., 2017).

Outra importante unidade geológica presente em Minas Gerais é a Bacia do Paraná, que ocupa grande parte da região do Triângulo Mineiro. Essa bacia sedimentar estende-se por diversos estados do sul do Brasil e por países vizinhos da América do Sul. Na área mineira predominam as unidades sedimentares dos Grupos São Bento e Bauru, de idade cretácea, além

de ocorrências menores dos Grupos Itararé e Passa Dois, associados a depósitos de idades permo-carbonífera e jurássica (MILANI et al., 2007; SEER; MORAES, 2017).

Associados a esses contextos geológicos também ocorrem corpos ígneos cretácicos, que se manifestam na forma de diques, soleiras e corpos intrusivos de diferentes dimensões. De acordo com sua composição, esses corpos podem ser classificados em três principais tipos: alcalinos, carbonáticos e kimberlitos, representando importantes eventos magmáticos que contribuíram para a evolução geológica regional (ALKMIM, 2017).

Figura 6- Mapa de Macroestruturas do estado de Minas Gerais.

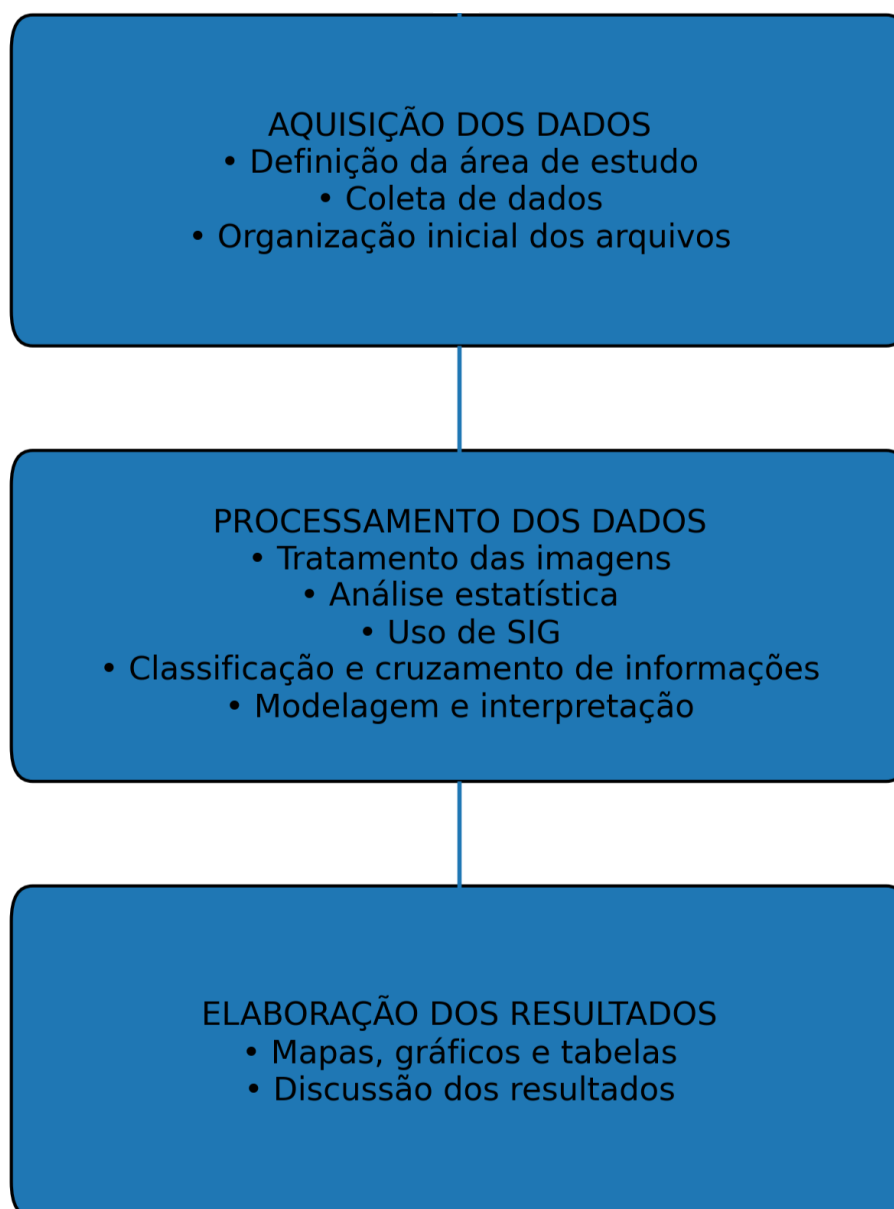


Fonte: ALKMIM, (2018).

4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho foi dividida em quatro grandes grupos conforme Figura 7, sendo: 1- Aquisição dos Dados; 2- Processamento dos Dados; e 3- Elaboração dos Resultados.

Figura 7- Metodologia do Trabalho.



Fonte: O Autor (2026).

Como área de estudo deste trabalho temos o Estado de Minas Gerais (Figura 8), localizado na região Sudeste do Brasil, um estado com uma grande diversidade física, social e ambiental. Minas Gerais tem uma área de 588.384,30km² sendo o quarto maior Estado nesse quesito. Do ponto de vista físico, o Estado se destaca pela diversidade de formas de relevo, diversidade essa que contribui para uma heterogeneidade das paisagens. Além disso, Minas Gerais abriga importantes bacias hidrográficas, como as dos rios São Francisco e Paraná.

Figura 8 - Mapa de Localização do Estado de Minas Gerais.



Fonte: O Autor (2026).

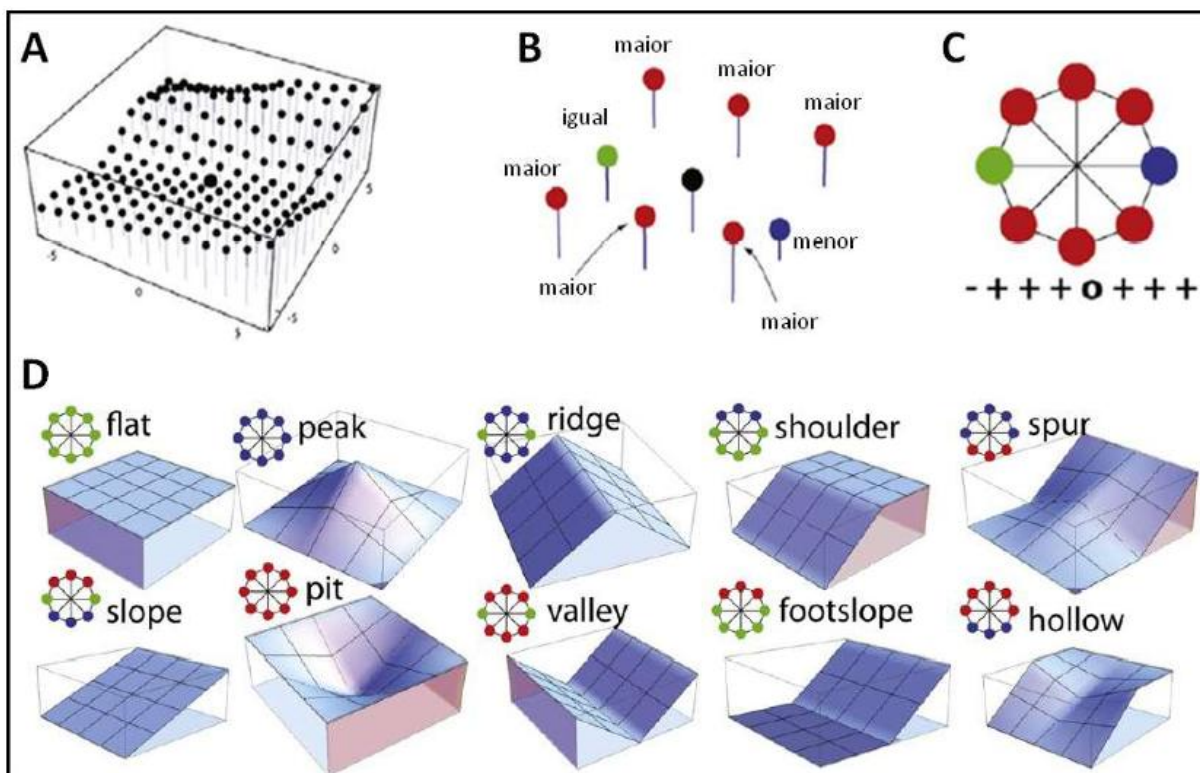
Para Alkmin (2022) a composição litológica do estado de Minas Gerais é marcada principalmente pela presença de terrenos de idade pré-cambriana, associados a importantes estruturas tectônicas e a bacias sedimentares que registram diferentes etapas da evolução geológica do território brasileiro. Entre as principais unidades geológicas que compõem essa estrutura destacam-se o cráton do São Francisco, os sistemas orogênicos Mantiqueira e Tocantins, além de coberturas sedimentares e intrusões ígneas formadas durante o período fanerozoico.

Para identificação automatizada do relevo foi empregado a proposta dos geomorphons criada por Jasiewicz e Stepinski (2013). Segundo Silveira C. T. et al. (2018) o método analisa

a similaridade textural de um Modelo Digital de Elevação (MDE), considerando a variação dos níveis de cinza entre uma célula central e as células vizinhas, considerando que se a célula central for maior, assume o valor positivo “+”, se é menor, valor negativo “-” e se for igual seu valor é zero “0”. A primeira leitura e símbolo, atribuído na janela móvel de leitura, corresponde ao vizinho a leste e os subsequentes, correspondem aos vizinhos no sentido anti-horário.

A figura 9 representa a operação para identificação dos geomorphons, com o conjunto de leitura na janela de interesse do MDE (figura 9-A), com análise da relação entre a célula de interesse e os seus vizinhos, detectando se possui valor maior, menor ou igual (figura 9-B), representação dos valores de leitura da vizinhança (positivos, negativos e zero) que resulta em um geomorphon (figura 9-C). A combinação dos padrões ternários locais possibilita a identificação de até 498 geomorphons, porém são 10 os que mais comumente são identificados (figura 9-D).

Figura 9- Aplicação dos geomorphons na classificação de elementos de relevo. (A) MDE em torno da janela de leitura da célula de interesse; (B) leitura entre a célula de interesse e os seus vizinhos; (C) identificação de um tipo de geomorphon; (D) identificação dos geomorphons



Fonte: Silveira C. T. et al. (2018).

Foi utilizado a base cartográfica do IBGE disponível em:
<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774>

[malhas.html](#) para a delimitação do Estado de Minas gerais.

Para a realização da pesquisa e classificação dos geomorphons, foi necessário realizar o download do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Estado de Minas Gerais. O modelo utilizado foi o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), com resolução espacial de 3 arc-second (90 metros). Os dados SRTM são amplamente empregados em estudos geomorfológicos e ambientais devido à sua disponibilidade, cobertura espacial e capacidade de representação altimétrica em diferentes escalas de análise.

O mapa base para identificar as subunidades morfoesculturais veio do Mapeamento das Unidades Geomorfológicas do Estado de Minas Gerais, Brasil de Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) (Figura 6), segundo os autores, o mapeamento geomorfológico exigiu a definição de critérios técnicos e de fontes de informação para interpretar as características do relevo do estado, considerando aspectos topográficos, estruturais e de distribuição espacial. Para isso, foi necessário determinar quais feições seriam analisadas e quais critérios seriam utilizados na classificação. Assim, foram definidos dois níveis taxonômicos (táxons) para classificar as formas de relevo, seguindo parcialmente a proposta da União Geográfica Internacional (IGU), uma vez que a escala do estudo limitou a quantidade de formas que poderiam ser representadas. O Táxon I corresponde aos Sistemas Morfoaltimétricos, identificados com base na forma da superfície, na altitude e na continuidade espacial das feições na paisagem. Esse nível inclui quatro grandes categorias de relevo: montanhas e serras, caracterizadas por terrenos elevados e acidentados formados por processos tectônicos; planaltos, áreas elevadas com topos convexos ou planos; depressões relativas, áreas mais baixas em relação ao entorno; e planícies, regiões de relevo plano ou suavemente ondulado, associadas à deposição de sedimentos fluviais. O Táxon II corresponde aos Compartimentos Morfoestruturais, que relacionam a forma do relevo com a estrutura geológica e os processos de formação das paisagens. Esse nível subdivide os grandes sistemas em unidades menores, considerando o tipo de substrato rochoso e os processos tectônicos e erosivos envolvidos. Entre essas subdivisões estão áreas com rochas dobradas, blocos falhados, intrusões magmáticas, estruturas sedimentares, rochas ígneas e metamórficas erodidas, grabens, cânions e planícies aluviais. Nesse contexto, o conceito de Unidade Geomorfológica refere-se a uma forma de relevo geneticamente homogênea, resultante de processos específicos de modelagem da paisagem, permitindo sua identificação e individualização no mapeamento geomorfológico. A Figura 10 representa a Síntese do sistema classificatório utilizado pelos autores do mapeamento.

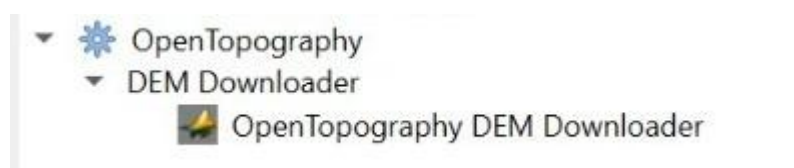
Figura 11- Síntese do sistema classificatório utilizado

Sistema Morfoaltimétrico	Compartimentação da Morfoestrutura	*Unidades Geomorfológicas
Montanhas e Serras	Substratos Rochosos Predominantemente Dobrados	7 unidades
	Substratos Rochosos de Blocos Soerguidos e Predominantemente Falhado	3 unidades
	Residuais de Intrusões/Magmatismo	3 unidades
Planaltos	Estruturas Sedimentares em Camadas Horizontalizadas a Sub Horizontalizadas	23 unidades
	Estruturas em Rochas Ígneas e Metamórficas	21 unidades
Depressões	Estruturas de Falhas em Graben	3 unidades
	Estruturas em Rochas Ígneas e Metamórficas Erodidas	11 unidades
	Canyons	2 unidades
Planícies	Planícies Aluviais	1 unidade

Fonte: Rodrigues, Augustin e Nazar (2023).

O download das imagens SRTM foi realizado por meio do plugin OpenTopography DEM Downloader, disponível no software QGIS 3.22.11 (Figura 12). A ferramenta possibilitou a obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDEs) do Estado de Minas Gerais de maneira integrada ao ambiente SIG, facilitando o processamento e organização dos dados utilizados na pesquisa.

Figura 12- Aplicação OpenTopography DEM Downloader.



Fonte: O Autor (2026).

Para o processamento das imagens SRTM e classificação automatizada das formas de

relevo, foi utilizado o software QGIS 3.22.11 em conjunto com a ferramenta *r.geomorphon* (Figura 13), disponível no ambiente GRASS GIS 7.8.7. Devido às limitações operacionais da ferramenta *r.geomorphon*, especialmente relacionadas ao limite máximo de aproximadamente 1.500.000 pixels processados por análise, foi necessária a subdivisão da área de estudo em 81 partes para realização do processamento das imagens. Após o processamento individual de cada bloco, os resultados foram integrados em um único raster correspondente ao território estadual. Essa estratégia permitiu viabilizar o processamento em escala regional, considerando a extensão territorial de Minas Gerais e a resolução espacial dos dados utilizados.

A subdivisão da área de estudo em 81 partes foi necessária devido às limitações operacionais da ferramenta *r.geomorphon* em relação à quantidade máxima de pixels processados por análise. Apesar da necessidade de fragmentação do processamento, buscou-se manter a continuidade espacial dos resultados por meio da padronização dos parâmetros utilizados em todas as etapas do processamento. Após a classificação individual das imagens, os resultados foram integrados em um único mosaico raster, permitindo a análise contínua do relevo em escala estadual.

Como o relevo do Estado de Minas Gerais é muito heterogêneo, para a aplicação da ferramenta *r.geomorphon* foram utilizados os parâmetros padrão do algoritmo, sendo *search radius* igual a 3, *skip radius* igual a 0 e *flatness threshold* correspondente a 1,0°. Segundo Wen et al. (2025), esses parâmetros influenciam diretamente a sensibilidade da classificação geomorfológica e a capacidade de representação das formas do relevo em diferentes escalas espaciais.

Figura 13- Aplicação *r.geomorphon*.

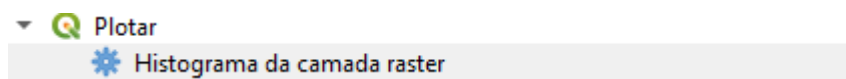


Fonte: O Autor (2026).

Posteriormente, para extração dos valores do raster e análise espacial da distribuição dos geomorphons nas subunidades morfoesculturais do Mapeamento das Unidades Geomorfológicas do Estado de Minas Gerais, foi utilizada a ferramenta Histograma da Camada Raster, disponível no software QGIS 3.22.11 (Figura 14). Essa etapa possibilitou calcular as porcentagens relativas de ocorrência das classes de geomorphons em cada subunidade analisada, permitindo realizar comparações entre os diferentes compartimentos

geomorfológicos do estado.

Figura 14- Aplicação Histograma da camada raster.



Fonte: O Autor (2026).

5 RESULTADOS

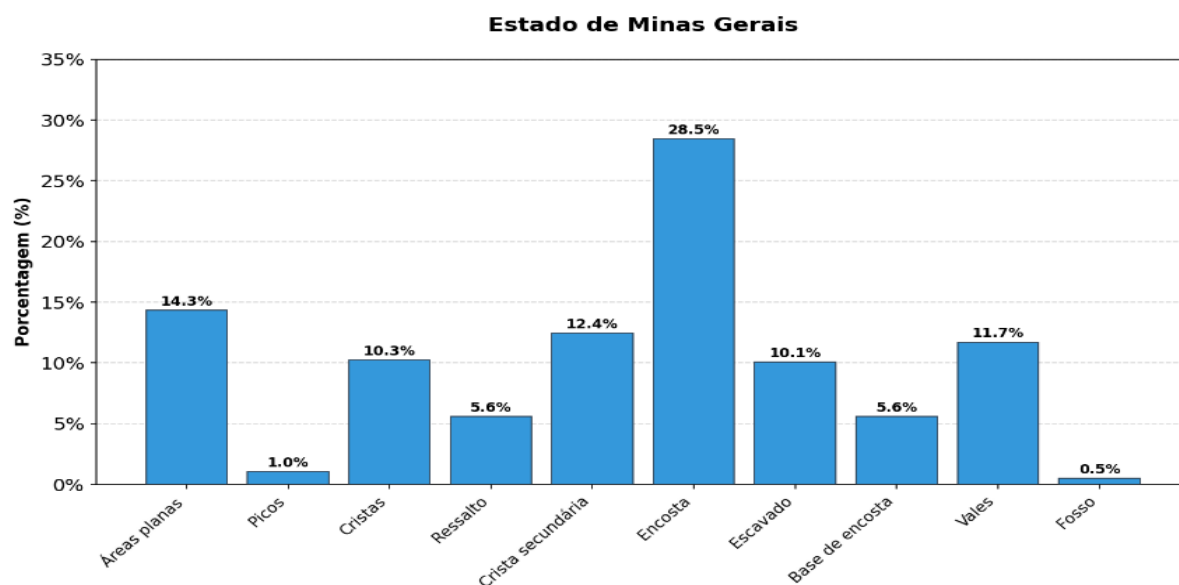
Como resultado principal do trabalho temos o mapa de distribuição espacial dos geomorphons no Estado de Minas Gerais (Figura 15). Podemos observar neste mapa e o no gráfico da Figura 10 a predominância da classe de geomorphon Encosta com 28.5%, seguido por ordem decrescente de Área plana com 14.3%, Crista secundária, Vales 11.7%, Cristas 10.3%, Escavado 10.1%, Ressalto 5.6%, Base de encosta 5.6%, Picos 1.0% e Fosso 0.5%.

Figura 15- Distribuição espacial dos geomorphons no Estado de Minas Gerais.



Fonte: O Autor (2026).

Figura 16- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) do Estado de Minas Gerais.



Fonte: O Autor (2026).

Após a elaboração do mapa de distribuição Espacial dos geomorphons no Estado de Minas Gerais, foi analisado a distribuição dos geomorphons dentro das 74 subunidades morfoesculturais do Estado, classificadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) na Figura 10, após a análise, foi elaborado gráficos conforme apêndice e figura 17 para melhor entendimento das subunidades morfoesculturais.

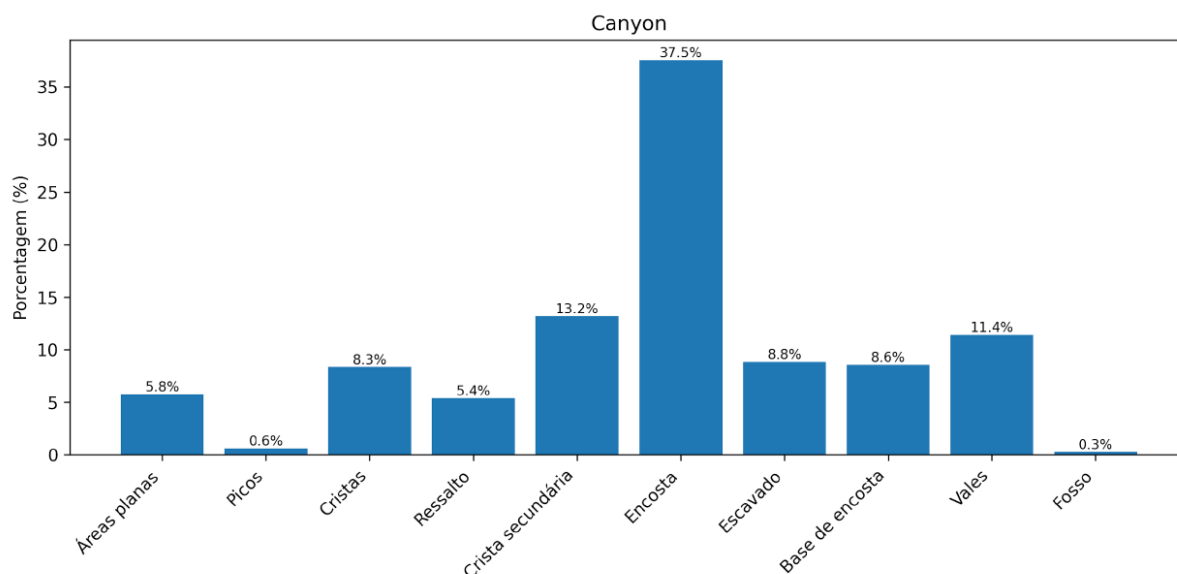
Figura 17- Porcentagem relativa de cada classe de geomorfon por subunidade morfoescultural.

Subunidades Morfoescultural	Porcentagem Relativa										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Canyon do Rio Araguaari	1.34%	0.31%	7.28%	3.62%	14.84%	45.91%	11.11%	3.47%	11.90%	0.22%	100%
Canyon do Rio Jequitinhonha	10.20%	0.97%	9.39%	7.14%	11.58%	29.19%	6.58%	13.70%	10.91%	0.35%	100%
Depressão do Alto São Francisco	17.30%	0.46%	7.97%	10.51%	9.19%	28.24%	7.01%	10.08%	9.03%	0.21%	100%
Depressão do Baixo Jequitinhonha	7.96%	0.96%	12.63%	6.00%	14.01%	26.36%	8.56%	8.79%	14.13%	0.59%	100%
Depressão do Médio Jequitinhonha	5.13%	1.23%	12.57%	7.57%	13.08%	28.20%	8.54%	8.72%	14.18%	0.78%	100%
Depressão do Paraíba do Sul	1.02%	3.06%	17.96%	0.23%	16.27%	23.86%	12.99%	3.04%	19.98%	1.58%	100%
Depressão do Paranaíba	5.23%	0.58%	8.74%	6.41%	13.26%	38.95%	10.94%	5.22%	10.50%	0.17%	100%
Depressão do Rio Doce	2.75%	2.48%	17.47%	0.82%	15.76%	24.07%	12.06%	4.91%	18.83%	0.85%	100%
Depressão do Rio Grande	7.14%	0.59%	9.45%	5.11%	13.60%	36.41%	10.76%	6.19%	10.57%	0.18%	100%
Depressão do Rio Jequitai	30.81%	0.12%	3.89%	13.83%	5.50%	22.73%	3.93%	13.88%	5.25%	0.05%	100%
Depressão do Rio Mucuri	4.11%	1.52%	15.48%	4.07%	16.74%	25.10%	10.70%	3.16%	17.93%	1.18%	100%
Depressão do Rio Pardo	2.03%	0.80%	10.27%	3.78%	16.35%	37.93%	11.18%	4.66%	12.81%	0.20%	100%
Depressão do Rio Pomba	1.12%	2.92%	17.51%	0.39%	15.45%	24.65%	13.62%	3.28%	19.94%	1.11%	100%
Depressão do Rio Preto	47.47%	0.19%	3.42%	12.81%	2.54%	13.84%	1.94%	14.39%	3.37%	0.03%	100%
Depressão do Rio São Francisco	68.32%	0.07%	1.58%	8.45%	1.66%	8.08%	1.22%	8.45%	2.13%	0.04%	100%
Depressão do Rio Sapucaí	2.11%	1.67%	15.21%	1.22%	15.85%	29.55%	11.73%	5.87%	16.41%	0.39%	100%
Maçico Itatiaia/Passa Quatro	0.00%	1.00%	9.97%	0.01%	19.27%	39.89%	18.76%	0.04%	10.74%	0.31%	100%
Planalto Borda do Espinhaço	13.53%	0.58%	9.02%	9.75%	10.27%	28.81%	7.67%	10.16%	10.04%	0.18%	100%
Planalto Conservado do Alto Paranaíba	22.47%	0.15%	4.55%	13.46%	8.30%	33.38%	6.67%	4.88%	6.06%	0.08%	100%
Planalto Conservado do Jequitinhonha	22.97%	0.14%	5.11%	12.24%	9.58%	35.69%	6.45%	3.46%	4.26%	0.11%	100%
Planalto Conservado do Médio São Francisco	37.82%	0.13%	4.36%	10.96%	6.70%	24.90%	5.26%	4.88%	4.90%	0.09%	100%
Planalto Conservado do rio Caninhanha	78.30%	0.01%	0.96%	7.16%	0.98%	5.09%	0.98%	5.26%	1.25%	0.01%	100%
Planalto Conservado do Rio Caninhanha/Peruaçu	81.58%	0.02%	0.96%	6.64%	0.67%	3.85%	0.80%	4.64%	0.83%	0.01%	100%
Planalto Conservado do Triângulo Mineiro	38.62%	0.08%	2.29%	12.57%	4.48%	26.47%	3.74%	7.74%	3.95%	0.06%	100%
Planalto Conservado do Urucuia	54.13%	0.04%	2.29%	12.41%	3.25%	16.44%	2.97%	5.69%	2.75%	0.03%	100%
Planalto Conservado Guarda-Mor/Paracatu	53.87%	0.08%	2.78%	10.86%	3.66%	16.68%	3.32%	5.58%	3.15%	0.03%	100%
Planalto da Zona da Mata Mineira	0.21%	2.35%	16.36%	0.19%	17.30%	27.47%	16.03%	1.09%	17.81%	1.18%	100%
Planalto de Araxá/Ibiá	3.78%	0.26%	8.20%	9.08%	13.67%	38.92%	9.40%	4.55%	11.91%	0.25%	100%
Planalto de Juiz de Fora	0.18%	3.93%	18.88%	0.07%	15.62%	22.40%	13.84%	1.28%	21.94%	1.86%	100%
Planalto de Pedra Azul	1.21%	1.03%	12.97%	1.35%	19.50%	33.03%	13.43%	1.63%	15.08%	0.77%	100%
Planalto de Poços de Caldas	0.41%	1.62%	15.50%	0.39%	17.36%	30.34%	15.04%	1.99%	16.81%	0.55%	100%
Planalto de São Lourenço	0.78%	2.36%	17.06%	0.48%	15.97%	26.76%	13.44%	3.64%	18.78%	0.73%	100%
Planalto de Tapira	1.11%	0.72%	14.25%	2.49%	17.78%	32.92%	12.32%	1.40%	16.32%	0.69%	100%
Planalto Dissecado de Paracatu	12.79%	1.10%	10.03%	6.35%	10.84%	29.81%	9.22%	8.68%	10.83%	0.36%	100%
Planalto Dissecado de Unai	9.68%	1.05%	10.87%	6.99%	9.73%	31.67%	8.35%	10.69%	10.73%	0.25%	100%
Planalto Dissecado do Alto Rio Paranaíba	6.25%	0.64%	10.46%	7.07%	12.86%	33.28%	9.90%	6.53%	12.62%	0.39%	100%
Planalto Dissecado do Espinhaço	10.84%	0.63%	8.33%	5.90%	13.00%	34.31%	9.90%	6.86%	10.10%	0.12%	100%
Planalto Dissecado do Jequitinhonha	0.82%	1.04%	12.81%	1.23%	18.04%	33.36%	13.94%	1.62%	16.25%	0.90%	100%
Planalto Dissecado do Triângulo Mineiro	25.85%	0.09%	2.92%	15.04%	5.10%	29.04%	3.78%	13.30%	4.82%	0.05%	100%
Planalto Dissecado Peruaçu/Pandeiros	38.43%	0.26%	4.28%	13.29%	4.59%	17.74%	3.49%	12.98%	4.84%	0.10%	100%
Planalto do Alto Rio Doce	0.23%	3.43%	18.67%	0.17%	15.45%	23.45%	14.20%	1.39%	21.48%	1.54%	100%
Planalto do Alto Rio Grande	1.38%	1.14%	14.17%	2.38%	16.19%	33.13%	11.98%	3.87%	15.40%	0.36%	100%
Planalto do Alto Rio Mucuri	0.26%	2.39%	17.70%	0.24%	17.98%	25.56%	14.03%	1.23%	19.05%	1.56%	100%
Planalto do Alto Rio Paranaíba	16.79%	0.20%	6.06%	11.90%	9.71%	31.27%	6.94%	6.58%	10.29%	0.26%	100%
Planalto do Alto São Francisco	1.37%	1.28%	14.21%	1.89%	16.83%	31.66%	12.51%	4.02%	15.80%	0.43%	100%
Planalto do Baixo Jequitinhonha	0.23%	1.84%	15.44%	0.32%	19.16%	29.78%	14.32%	0.96%	16.87%	1.07%	100%
Planalto do Campo das Vertentes	0.85%	2.29%	17.28%	0.54%	16.28%	26.28%	13.24%	2.73%	19.88%	0.63%	100%
Planalto do Geraizinhos	19.06%	0.16%	5.13%	10.02%	10.48%	34.70%	6.69%	5.46%	8.03%	0.27%	100%
Planalto do Leste de Minas	0.41%	2.50%	17.30%	0.25%	16.97%	25.98%	14.74%	1.36%	19.13%	1.36%	100%
Planalto do Médio São Francisco	10.04%	0.66%	10.73%	8.41%	11.84%	29.21%	9.24%	6.62%	12.65%	0.60%	100%
Planalto do Rio Jaguarí	0.57%	1.55%	15.29%	0.55%	17.38%	29.42%	14.32%	3.24%	17.21%	0.46%	100%
Planalto do Rio Preto	0.15%	2.95%	16.91%	0.19%	16.50%	26.16%	15.52%	1.31%	18.90%	1.39%	100%
Planalto do Rio São Marcos	28.46%	0.19%	4.61%	11.15%	6.84%	27.49%	5.39%	9.21%	6.54%	0.10%	100%
Planalto do Rio São Marcos/Preto	40.67%	0.06%	2.15%	16.26%	2.40%	20.06%	2.01%	13.62%	2.75%	0.02%	100%
Planalto do Rio São Mateus	0.42%	2.05%	16.50%	0.40%	18.35%	27.62%	14.10%	1.85%	17.60%	1.11%	100%
Planalto do Rio Sapucaí	2.08%	0.38%	7.91%	6.51%	14.70%	42.70%	10.57%	4.66%	10.36%	0.13%	100%
Planalto do Urucuia	15.27%	0.17%	5.78%	10.96%	9.88%	31.51%	7.51%	10.42%	8.41%	0.11%	100%
Planalto Interior do Quadrilátero Ferrífero	0.10%	2.02%	16.31%	0.21%	18.21%	27.64%	15.20%	0.79%	18.11%	1.42%	100%
Planalto Jequitai/Verde	15.38%	0.40%	8.60%	11.14%	9.82%	27.27%	7.39%	9.99%	9.78%	0.25%	100%
Planalto Residual de Arinos	3.93%	0.55%	8.42%	4.20%	13.44%	47.57%	11.14%	2.82%	7.62%	0.31%	100%
Planalto Residual do Triângulo Mineiro	10.02%	0.25%	9.03%	14.28%	10.80%	34.63%	10.33%	4.68%	5.95%	0.03%	100%
Planície Aluvial	65.86%	0.19%	2.29%	7.78%	1.17%	5.72%	0.68%	13.47%	2.75%	0.09%	100%
Quadrilátero Ferrífero	0.20%	1.72%	14.13%	0.27%	18.21%	32.29%	16.56%	0.75%	15.09%	0.79%	100%
Serra da Canastra	2.51%	0.80%	10.71%	3.68%	15.75%	39.88%	12.83%	2.04%	11.44%	0.36%	100%
Serra da Mantiqueira Meridional	0.19%	2.03%	15.12%	0.18%	17.25%	29.67%	17.34%	1.17%	16.23%	0.81%	100%
Serra da Mantiqueira Setentrional	0.06%	1.46%	13.22%	0.52%	18.07%	34.02%	19.99%	0.36%	11.96%	0.34%	100%
Serra de Ilícinia-Piumhi	1.08%	1.00%	11.85%	1.07%	17.85%	37.30%	14.67%	2.42%	12.49%	0.27%	100%
Serra de Poços de Caldas	1.66%	1.52%	13.08%	1.03%	16.98%	33.33%	14.45%	4.09%	13.58%	0.29%	100%
Serra do Caparaó	0.00%	1.32%	12.37%	0.21%	19.34%	36.68%	18.85%	0.15%	10.80%	0.29%	100%
Serra do Espinhaço Meridional	4.03%	0.99%	9.54%	3.34%	15.14%	39.20%	12.69%	4.12%	10.62%	0.33%	100%
Serra do Espinhaço Setentrional	4.22%	0.70%	9.27%	3.73%	15.33%	40.18%	12.28%	3.57%	10.47%	0.25%	100%
Serra Negra	22.03%	0.83%	8.43%	5.81%	10.20%	29.81%	8.93%	3.24%	10.33%	0.40%	100%
Serras de Carrancas e São Tomé	0.25%	1.24%	12.35%	0.41%	17.47%	38.78%	15.17%	1.71%	12.37%	0.26%	100%
Serras do Ibitipoca	0.05%	1.79%	16.16%	0.23%	17.46%	29.53%	15.85%	0.88%	17.42%	0.63%	100%
Total Geral	14.34%	1.04%	10.26%	5.61%	12.44%	28.47%	10.06%	5.58%	11.71%	0.50%	100%

Fonte: O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como Canyon, temos duas subunidades, com a predominância das classes encosta, crista secundária e vales. (Figura 18).

Figura 18- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe Canyon.

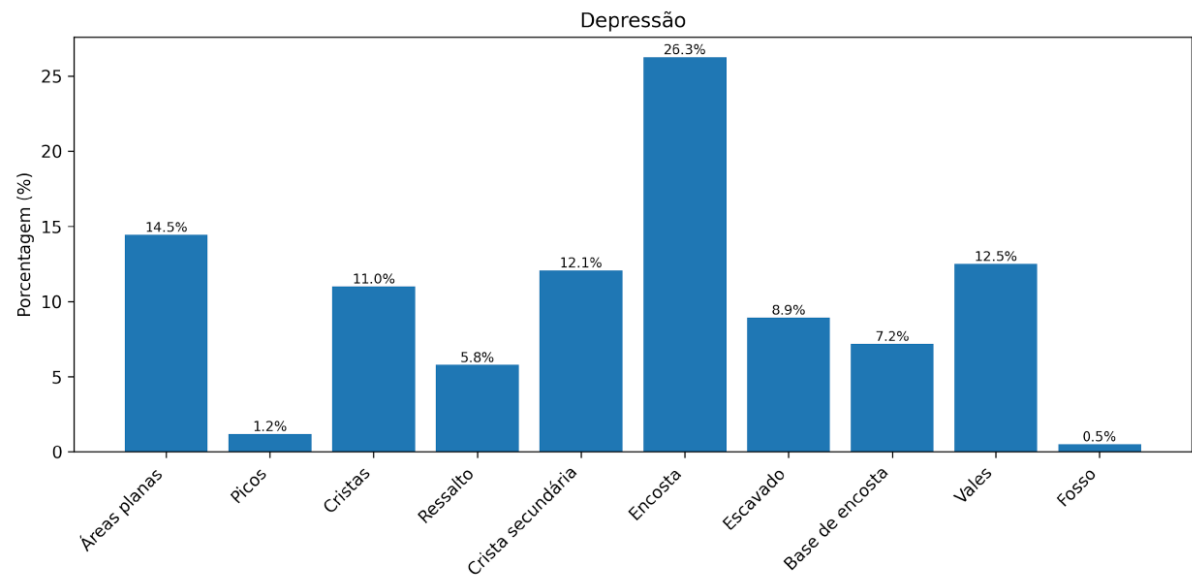


Fonte: O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como como depressão, temos quatorze subunidades conforme tendo a predominância da classe encosta na maior parte das subunidades analisadas. De modo geral, os valores dessa classe variam entre aproximadamente 8,1% e 38,9%. Com destaque para as depressões do Paranaíba (38,9%), Rio Pardo (37,9%) e Rio Grande (36,4%), que apresentam os maiores percentuais de encostas. Em contraste, as depressões do Rio Preto (13,8%) e do Rio São Francisco (8,4%) apresentam os menores valores, evidenciando menor presença de encostas. Nessas duas unidades, observa-se destaque para a classe de áreas planas, com percentuais elevados, principalmente na Depressão do Rio São Francisco, que apresenta 68,3%, e na Depressão do Rio Preto, com 47,5%.

Além disso, algumas unidades apresentam maior representatividade de outras formas de relevo. Nas depressões do Médio e Baixo Jequitinhonha, Rio Mucuri e Sapucaí, os vales e as cristas secundárias apresentam valores expressivos, já a Depressão do Rio Jequitai apresenta predominância de áreas planas (30,8%). (Figura 19).

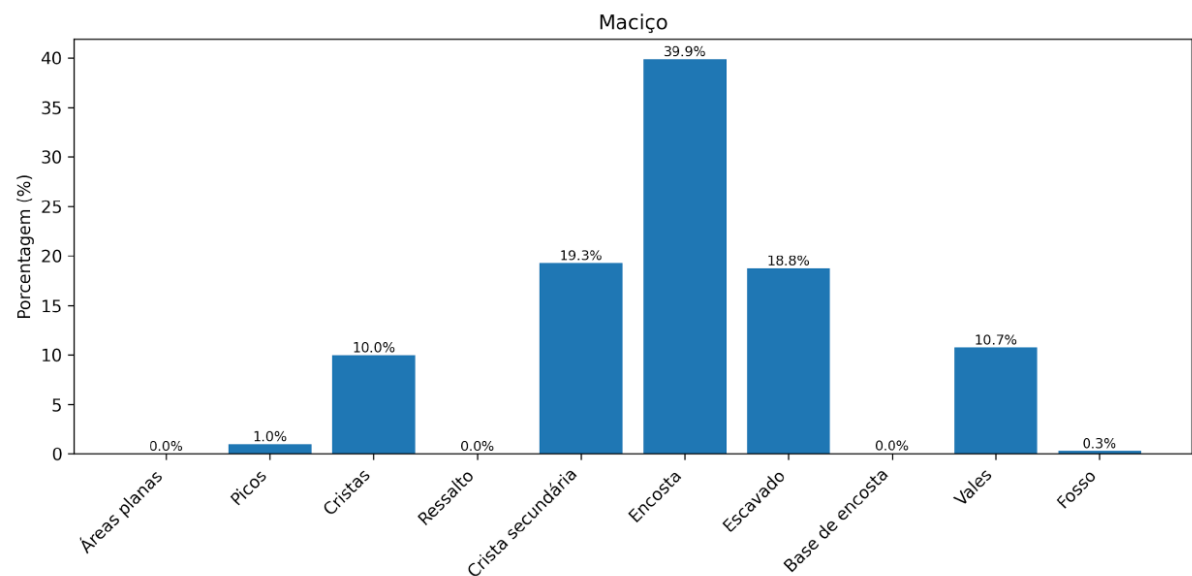
Figura 19- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe Depressão.



Fonte: O Autor (2026).

Temos uma subunidade denominada Maciço, sendo o Maciço Itatiaia/Passa Quatro que apresenta predominância de encosta com 39,9%, seguido por crista secundária com 19,3% e escavado com 18,8%. As demais classes combinadas representam 22,1% do território. (Figura 20).

Figura 20- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe maciço.

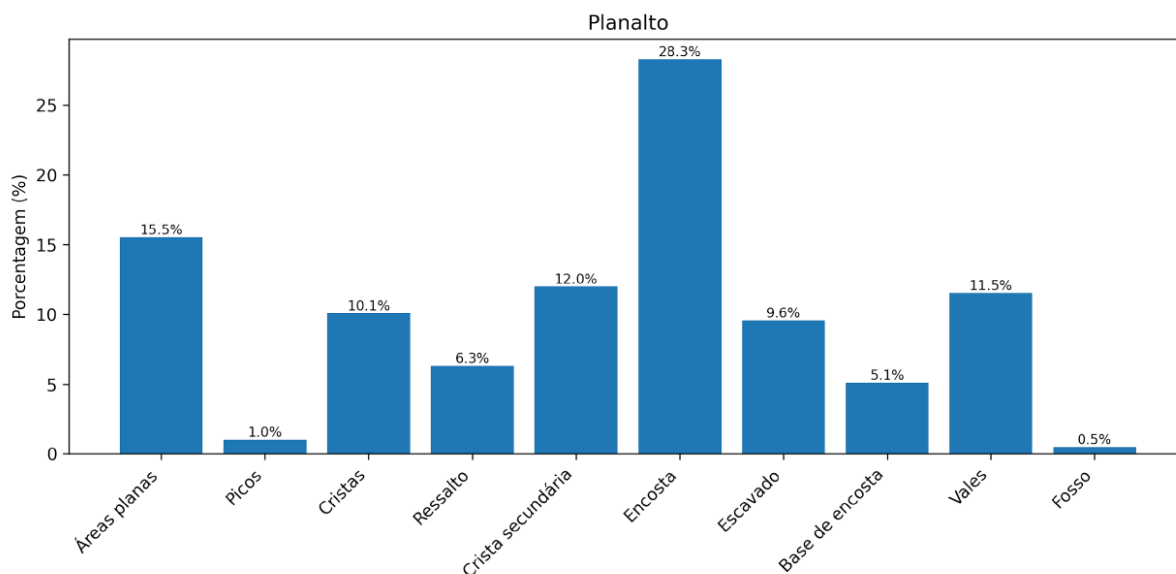


Fonte: O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como Planalto, temos o maior número de subunidades conforme Figura 13, sendo um total de quarenta e quatro, sendo a classe encosta apresenta predominância na maior parte das subunidades Planalto. De modo geral, os valores dessa classe variam entre 3,8% e 47,6%, destacam-se os maiores percentuais de Encostas nos planaltos Residual de Arinos (47,6%), do Rio Sapucaí (42,7%) e de Araxá/Ibiá (38,9%). Destaca-se um conjunto de planaltos com predominância de áreas planas, principalmente nos planaltos Conservado do rio Caninhanha (78,3%) e Conservado do Rio Caninhanha/Peruaçu (81,6%), que apresentam os maiores valores dessa classe, outros exemplos incluem os planaltos Conservado do Urucuia (54,1%), Guarda-Mor/Paracatu (53,9%) e do Triângulo Mineiro (38,4%).

Observa-se também que diversas unidades apresentam valores expressivos de vales e cristas secundárias, como nos planaltos da Zona da Mata Mineira, Pedra Azul, Poços de Caldas, Campo das Vertentes, Leste de Minas e Interior do Quadrilátero Ferrífero. (Figura 21).

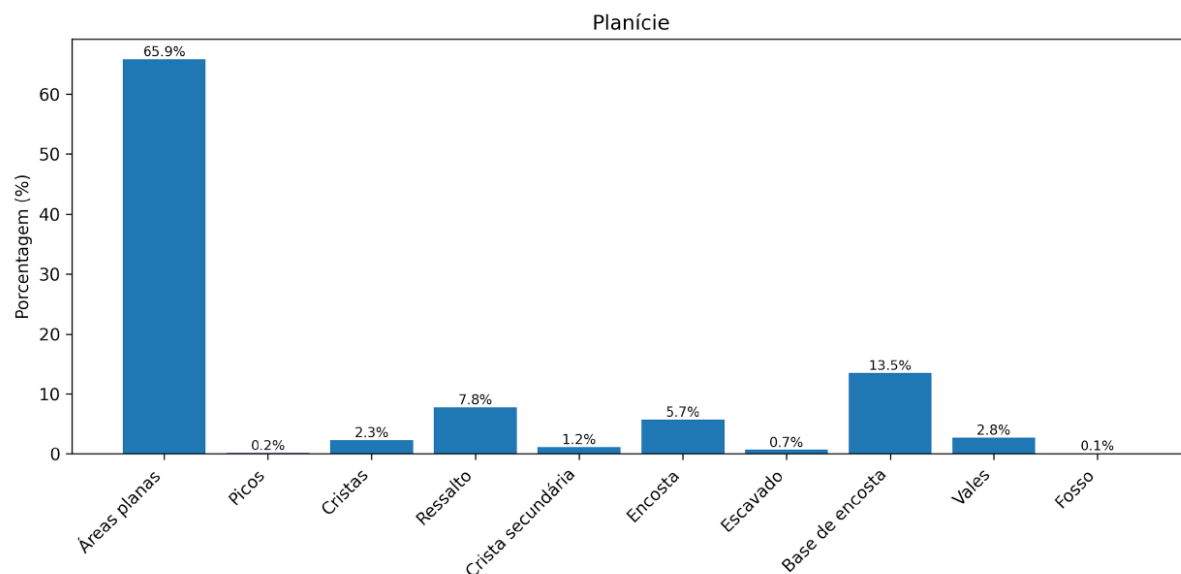
Figura 21- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe planalto.



Fonte: O Autor (2026).

Temos uma subunidade Planície Aluvial que apresenta predominância de áreas planas com 65,9%, seguido por base de encosta com 13,5% e ressalto com 7,8%. As demais classes combinadas representam 12,9% do território. (Figura 22)

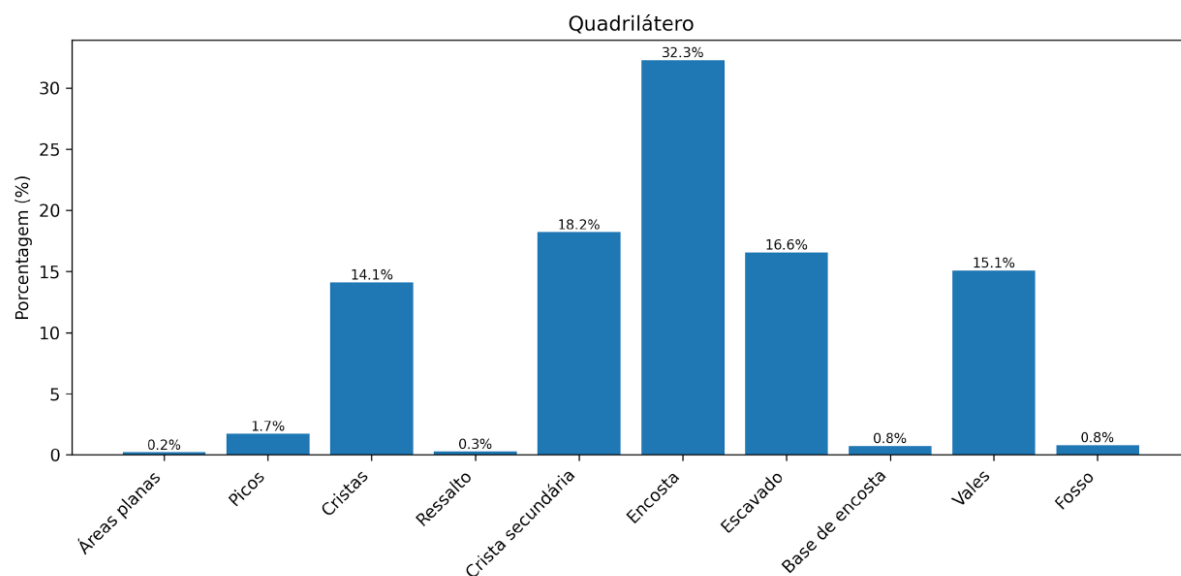
Figura 22- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe planície.



Fonte: O Autor (2026).

Temos também a subunidade Quadrilátero Ferrífero Figura 15 que apresenta predominância de encosta com 32,3%, seguido por crista secundária com 18,2% e escavado com 16,6%. As demais classes combinadas representam 32,9% do território. (Figura 23).

Figura 23- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe quadrilátero.



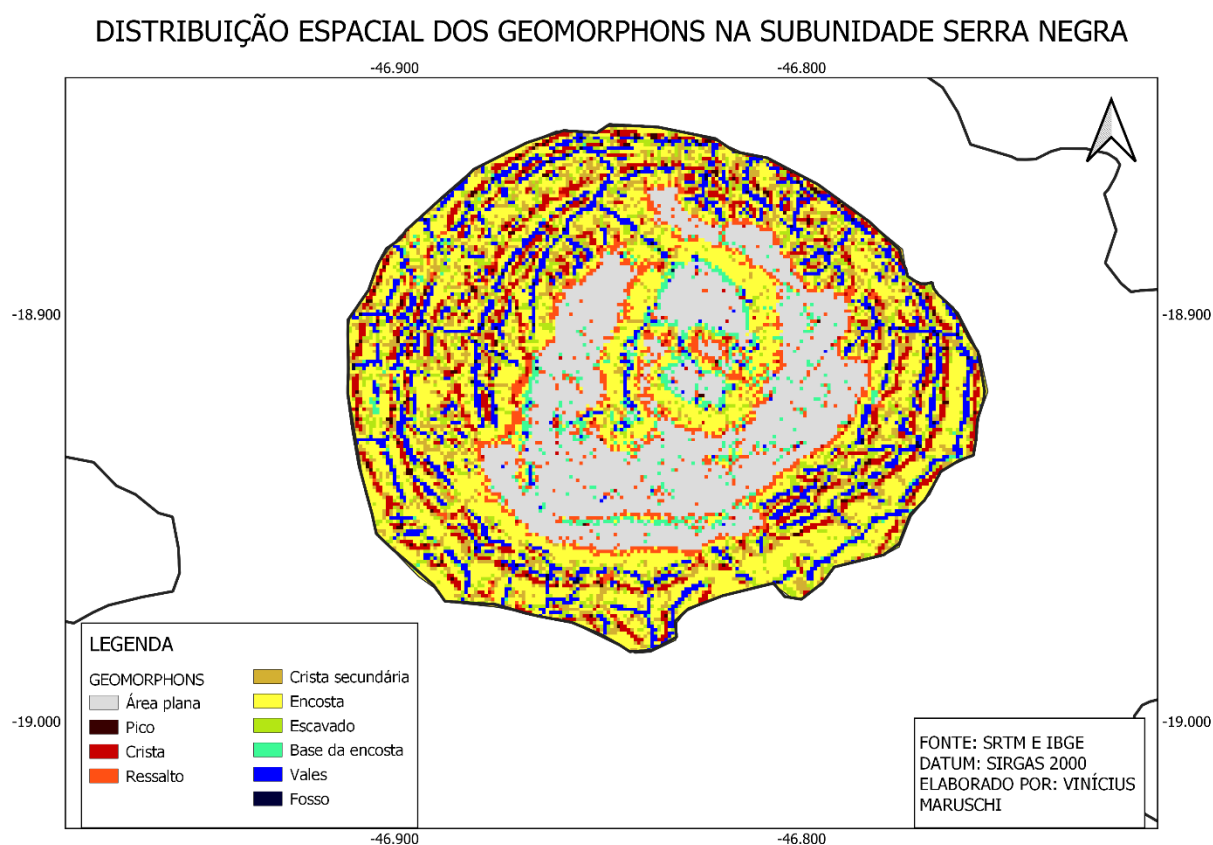
Fonte: O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como Serras Figura 16, temos um total de onze

subunidades sendo nas subunidades classificadas como serras também tem a predominância da classe encosta. Os valores variam entre 29,3% e 40,18%. Destaque para Serra do Espinhaço Setentrional (40,2%), Serra da Canastra (39,9%) e Serra do Espinhaço Meridional (39,2%), além das Serras de Carrancas e São Tomé (38,8%). Já as menores proporções dessa classe são observadas na Serra da Mantiqueira Meridional (29,7%), Serra Negra (29,8%) e Serras do Ibitipoca (29,5%), observa-se significativa participação das classes crista secundária e escavado na maioria das serras. (Figura 25).

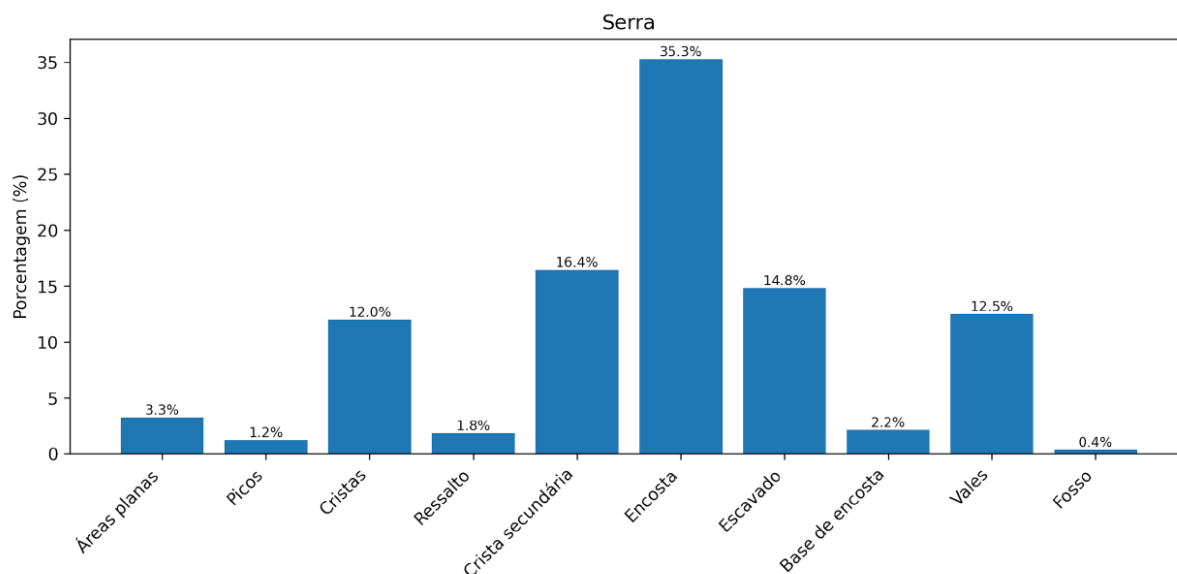
A Serra Negra (figura 24) apresenta um comportamento diferente das outras subunidades de serras, com destaque para áreas planas (22,0%).

Figura 24- Distribuição espacial dos geomorphons na subunidade serra negra.



Fonte: O Autor (2026).

Figura 25- Distribuição das porcentagens de formas de relevo(geomorphons) na classe serra.



Fonte: O Autor (2026).

Comparando os resultados obtidos em Minas Gerais com outros trabalhos como o de Silveira C. T. et al. (2018) no Estado do Paraná/Brasil, Robaina (2016) no Estado do Rio Grande do Sul/Brasil e Robaina L. E. S. et al (2017) no Estado do Tocantins/Brasil, podemos destacar que no estado do Paraná a metodologia dos geomorphons indica predominância das classes encosta, cristas secundárias e vales e fossos. Nos resultados obtidos para Minas Gerais, se verificou a predominância da classe encosta e áreas planas, a predominância da classe encosta em Minas Gerais revela um padrão comum entre os estados, entretanto, observa-se que, em Minas, a proporção de formas associadas à dissecação vales, fossos e cristas secundárias, tende a ser mais expressiva em determinadas subunidades, especialmente nas regiões do Espinhaço e do Quadrilátero Ferrífero.

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta características diferentes das encontradas tanto no Estado de Minas Gerais quanto no Paraná, tendo como predominância as classes de geomorphons áreas planas, posteriormente seguido pelas encostas, a aplicação do método dos geomorphons nesse estado indica forte contraste entre áreas de planalto dissecado e superfícies planas associadas à planície lagunar e aos sistemas costeiros.

Já o Estado do Tocantins apresenta características parecidas com as características encontradas no Estado do Rio Grande do Sul, com predominância das classes de geomorphons áreas planas e encostas, para Robaina L. E. S. et al (2017) os geomorphons possibilitaram o reconhecimento de grandes áreas do estado com características marcantes do relevo, como as

extensas áreas planas e de baixa altitude da Ilha do Bananal, na região oeste do estado, e a predominância de relevos de planalto com topos planos e escarpas no Jalapão, na porção leste.

Apesar da boa correspondência observada entre os geomorphons e as subunidades morfoesculturais, algumas limitações metodológicas devem ser consideradas na interpretação dos resultados. Áreas com baixa rugosidade topográfica tendem a apresentar menor diferenciação geomorfométrica, podendo ocasionar simplificações na classificação automática do relevo. Além disso, a resolução espacial do Modelo Digital de Elevação influencia diretamente a capacidade de representação das feições geomorfológicas em escala regional.

De modo geral, os resultados demonstram forte relação entre os geomorphons identificados e os compartimentos geomorfológicos previamente delimitados para o Estado de Minas Gerais. Áreas associadas a relevos montanhosos e estruturas cristalinas apresentaram maior predominância de encostas, cristas e vales, enquanto superfícies sedimentares e áreas deposicionais mostraram maior ocorrência de áreas planas. Esses resultados reforçam o potencial da metodologia para análises geomorfométricas em escala regional.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial da metodologia dos geomorphons para análises geomorfológicas automatizadas em escala estadual, permitindo representar padrões espaciais do relevo de maneira rápida, objetiva e padronizada. Além disso, a metodologia demonstrou capacidade satisfatória de representação das subunidades morfoesculturais do Estado de Minas Gerais, especialmente em áreas caracterizadas por maior variabilidade topográfica e relevo mais dissecado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar a classificação automatizada das formas de relevo do Estado de Minas Gerais por meio da metodologia dos geomorphons, além de avaliar a representatividade das classes geomorfométricas nas subunidades morfoesculturais delimitadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023). A aplicação da metodologia possibilitou identificar padrões espaciais do relevo em escala estadual, permitindo compreender a distribuição das diferentes formas de geomorphons ao longo do território mineiro e sua relação com os compartimentos geomorfológicos previamente mapeados.

Em escala estadual, verificou-se a predominância da classe Encosta (28,5%), seguida por Área plana (14,3%), Vales (11,7%), Cristas (10,3%), Escavado (10,1%), Ressalto (5,6%), Base de encosta (5,6%), Picos (1,0%) e Fosso (0,5%). Esses resultados evidenciam o caráter predominantemente dissecado do relevo mineiro.

A comparação com estudos realizados nos estados do Paraná, Tocantins e Rio Grande do Sul demonstrou que, embora a predominância de Encostas seja um padrão recorrente em Minas Gerais e Paraná, o Tocantins e Rio Grande do Sul apresenta maior predominância de Áreas planas, evidenciando contrastes regionais associados à configuração geomorfológica de cada estado. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam a influência da configuração geomorfológica regional na distribuição espacial das classes identificadas pela metodologia dos geomorphons.

As dificuldades encontradas para a realização do trabalho, vieram muito da capacidade de processamento, tanto do computador quanto da própria ferramenta, o limitador de 1.500.000 pixels por análise dificulta a realização dos estudos para áreas tão grandes como o Estado de Minas Gerais, com 586.521 quilômetros quadrados. Acredito que o limitador que contém a ferramenta, faz com que trabalhos em áreas pequenas sejam facilitados. Após o processamento de cada imagem e posteriormente a união delas, o processo fica simples e rápido.

Como esse limitador restringe o tamanho da imagem a ser usada, por questões de quantidade de pixels e não pela área, ele faz com que trabalhos que tenham uma melhor resolução de pixel sejam dificultados, ou limitados a uma escala mais local, como por exemplo um estudo de bairros ou cidades, exemplos desses estudos são: Amorim e Capoane (2022) ao fazer o mapeamento pela metodologia dos geomorphons do município de Campo Grande/MS, Von Ahn e Figueiró (2021) ao aplicar os geomorphons na construção de um índice de patrimônio Geomorfológico no Município de Bombinhas/SC e Silveira e Silveira (2018) ao realizar a classificação automatizada de elementos de relevo por meio da aplicação da proposta

dos geomorphons na bacia do Rio Jacaré no Estado do Paraná/BR.

Apesar das limitações identificadas, a metodologia dos geomorphons apresentou resultados satisfatórios na representação das subunidades morfoesculturais do Estado de Minas Gerais, demonstrando elevado potencial para análises geomorfológicas automatizadas em escala regional. A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Modelos Digitais de Elevação e ferramentas automatizadas permitiu realizar análises espaciais de maneira rápida, objetiva e padronizada, reduzindo parte da subjetividade presente nos mapeamentos geomorfológicos convencionais.

Acredito que este trabalho contribua para o entendimento do relevo do Estado de Minas Gerais e o relevo de cada uma das 74 subunidades morfoesculturais delimitadas por Rodrigues, Augustin e Nazar (2023) além de ampliar as aplicações da geomorfometria e da metodologia dos geomorphons em escala estadual no Brasil. Os resultados obtidos também fornecem importante base para futuras pesquisas relacionadas à compartimentação geomorfológica, planejamento territorial, análise ambiental e modelagem espacial da paisagem, além de possibilitar comparações com estudos futuros realizados em outros estados brasileiros. Dessa forma, conclui-se que a metodologia dos geomorphons apresentou capacidade satisfatória de representação das subunidades morfoesculturais do Estado de Minas Gerais, demonstrando potencial para aplicações geomorphométricas em escala estadual.

REFERÊNCIAS

- ALKMIM, F. F. **História Geológica de Minas Gerais**. Governo do Estado de Minas Gerais, Recursos Minerais de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2018. 35 p. Disponível em: <<http://recursomineralmg.codemge.com.br/historia-geologica-de-minas-gerais/>> . Acesso em: 08 mar. 2026.
- 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. (eds.). *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.; MARTINS-NETO M.A.. **A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço estrutural e cenários evolutivos**. In: Pinto C.P. & Martins-Neto M.A. (eds.). *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia (SBG) – Núcleo MG, 2001. p. 9-30.
- ALMEIDA F.F.M.. **O Cráton do São Francisco**. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4), 1977. p. 349-364.
- ALMEIDA F.F.M.; HASUI Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. Edgard Blücher, São Paulo, 1984. 378 p.
- CAMPOS-NETO M.C.. **Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: An approach to Brasiliano PanAfrican Cycle and Orogenic Collage in Southeastern Brazil**. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro, 31º International Geological Congress, Rio de Janeiro, 2000. p. 335-365.
- DA SILVA, J. M. F.; OKA-FIORI, C.; DA SILVEIRA, C. T.. **Geomorfometria: uma Análise de Conceitos, Métodos e Aplicações em Geografia Física (Geomorphometry: an analysis of concepts, methods and applications in physical geography)**. *Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.]*, v. 10, n. 2, p. 558–583, 2017. DOI: 10.5935/1984-2295.20170036. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234008>. Acesso em: 8 mar. 2026.
- DORR J.V.N II.. **Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero**, Minas Gerais, Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper 641-A, 1969. 117 p.
- EVANS, I. S. **General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics**. In: CHORLEY, R. J. (org.). *Spatial Analysis in Geomorphology*. London: Methuen, 1972. p. 17–90.
- GUPTA, L. et al. Performance assessment of topographic position index and geomorphon-based landform classification for geomorphic analysis of Indian Western Himalayas. **Discover Applied Science**, [S. l.], v. 8, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s42452-026-08265-1>. Acesso em: 01 maio 2026.

<<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>>.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. **Geomorphons a Pattern Recognition Approach to Classification and Mapping of Landforms**. *Geomorphology*, 182. 2013. p. 147–156

KRAMM, T. et al. **Geomorphometric analysis and landform classification using digital elevation models**. *Earth Surface Processes and Landforms*, Chichester, v. 42, n. 5, p. 756–768, 2017.

LANA C., ALKMIM F.F., ARMSTRONG R., SCHOLZ R., ROMANO R., NALINI H.A.. **The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil**. *Precambrian Research*, 231: 2013. p.157-173. doi: 10.1016/j.precamres.2013.03.008

MILANI E.J., RANGEL H.D., BUENO G.V., STICA J.M., WINTER W.R., CAIXETA J.M., PESSOA-NETO O.C. 2007. **Bacias Sedimentares Brasileiras – Cartas Estratigráficas**. Rio de Janeiro, Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2): 2007. P. 183-205.

PEDROSA, A. S.. **A geomorfologia perante a ciência geográfica: algumas reflexões / Geomorphology in geographical science: some reflections**. *Sociedade & Natureza, [S. l.]*, v. 26, n. 3, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/27749>. Acesso em: 8 mar. 2026.

PIKE, R. J. **The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models**. *Mathematical Geology*, New York, v. 20, n. 5, p. 491–511, 1988.

PIMENTEL M.M., JOST H., FUCK R.A.. **O Embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás**. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.). *Geologia do Continente Sul Americano. Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, 2004. p. 355-368. ISBN: 8587256459.

REIS H.L.S., ALKMIM F.F., FONSECA R.C.S., NASCIMENTO T.C., SUSS J.F., PREVATTI L.D. **The São Francisco Basin** 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. 177-143. ISBN: 9783319017150, doi: 10.1007/978-3-319-01715-7

RENGER F.E., NOVE C.M., ROMANO A.W., MACHADO N. 1994. **Evolução sedimentar do Supergrupo Minas: 500 Ma de registro geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil**. *Geonomos*, 2(1), 1994. P. 1-11. doi: 10.18285/geonomos.v2i1.227

ROBAINA, L.E.S; TRENTIN, R.; LAURENT, F. **Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, São Paulo, v.17, n.2, 2016. p.287-298,. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.857

ROBAINA, L.E.S; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V.; SCCOTI, A. A. V. **Application of the**

geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. Revista RaeGa, v. 41 Temático de Geomorfologia, 2017. p. 37-48,. DOI: 10.5380/raega.v41i0.48724.

RODRIGUES, S. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R. A.; NAZAR, T. I. S. M.. **Mapeamento Geomorfológico do Estado de Minas Gerais: uma proposta com base na morfologia.** Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 24, n. 1, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i1.2233. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2233>. Acesso em: 8 mar. 2026.

SEER H.J.; MORAES L.C.. **Geologia Regional do Triângulo Mineiro.** Projeto Triângulo Mineiro. CODEMIG CPMTG/UFMG, 2017. 123 p.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. **CLASSIFICAÇÃO AUTOMATIZADA DE ELEMENTOS DE RELEVO NO ESTADO DO PARANÁ (BRASIL) POR MEIO DA APLICAÇÃO DA PROPOSTA DOS GEOMORPHONS.** Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 19, n. 1, 2018. DOI: 10.20502/rbg.v19i1.1263. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1263>. Acesso em: 8 mar. 2026.

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

WEN, A. et al. Evaluation of the Geomorphon Approach for Extracting Troughs in Polygonal Patterned Ground Across Different Permafrost Environments. **Remote Sens.**, v. 17, n. 6, p. 1040, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs17061040>. Acesso em: 01 maio 2026.

APÊNDICE

Foi elaborado uma análise entre cada uma das 74 subunidades. Nas subunidades classificadas como Canyon, temos duas subunidades conforme Figura 26 sendo:

- Canyon do Rio Araguari apresenta predominância de encosta com 45,9%, seguido por crista secundária com 14,8% e vales com 11,9%. As demais classes combinadas representam 27,4% do território.
- Canyon do Rio Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 29,2%, seguido por base de encosta com 13,7% e crista secundária com 11,6%. As demais classes combinadas representam 45,5% do território.

Figura 26 - Valores por subunidades Canyon

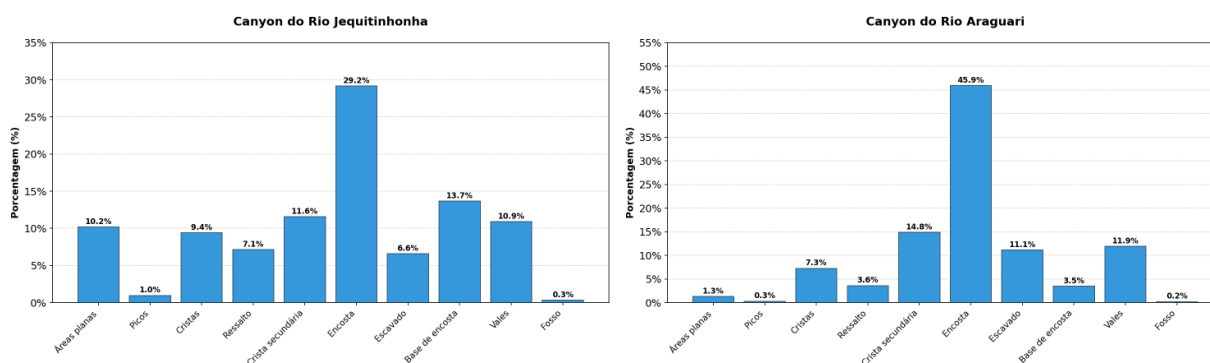


Figura 11 – O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como como depressão, temos quatorze subunidades conforme Figura 27 sendo:

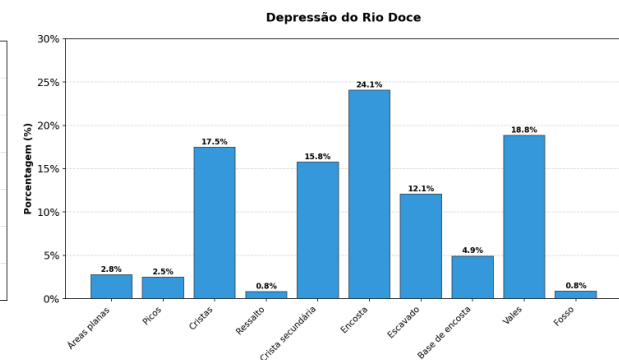
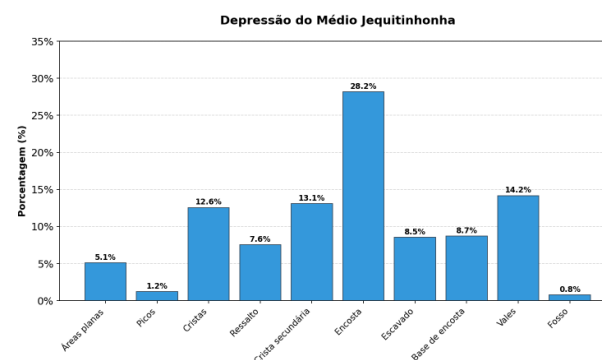
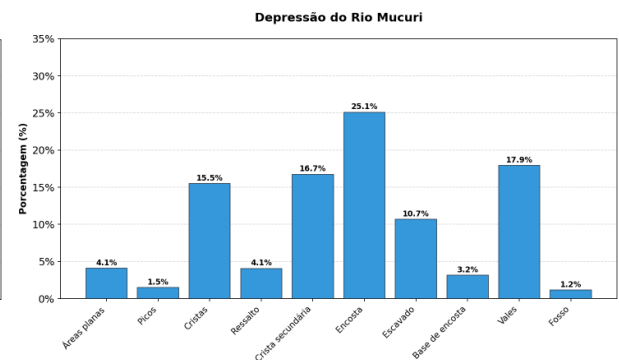
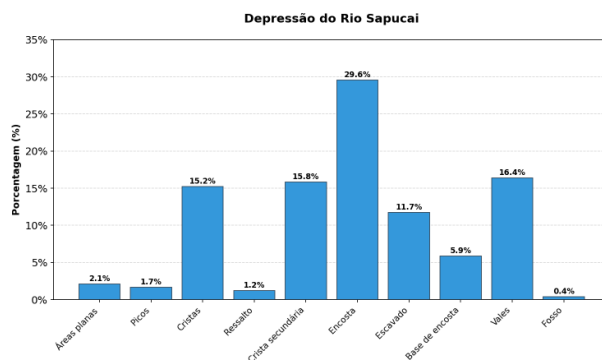
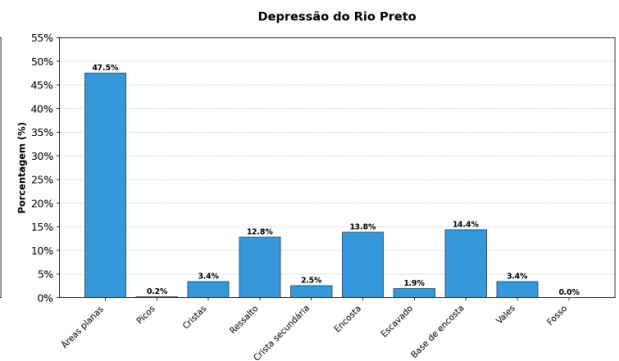
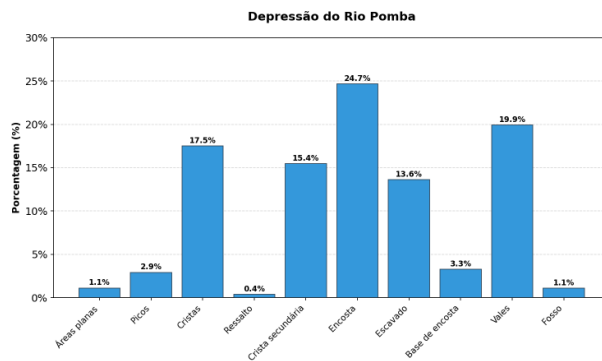
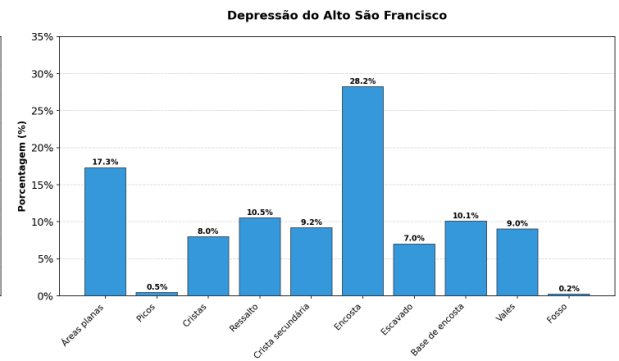
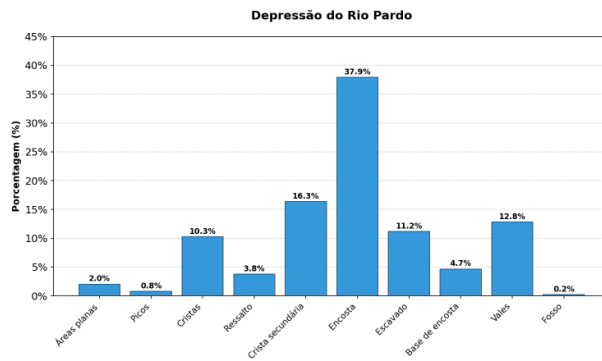
- Depressão do Alto São Francisco apresenta predominância de encosta com 28,2%, seguido por áreas planas com 17,3% e ressalto com 10,5%. As demais classes combinadas representam 44,0% do território.
- Depressão do Baixo Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 26,4%, seguido por vales com 14,1% e crista secundária com 14,0%. As demais classes combinadas representam 45,5% do território.
- Depressão do Médio Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 28,2%, seguido por vales com 14,2% e crista secundária com 13,1%. As demais classes combinadas representam 44,5% do território.
- Depressão do Paraíba do Sul apresenta predominância de encosta com 23,9%, seguido por vales com 20,0% e cristas com 18,0%. As demais classes combinadas representam 38,2% do território.
- Depressão do Paranaíba apresenta predominância de encosta com 38,9%, seguido por crista secundária com 13,3% e escavado com 10,9%. As demais classes combinadas representam 36,8% do território.

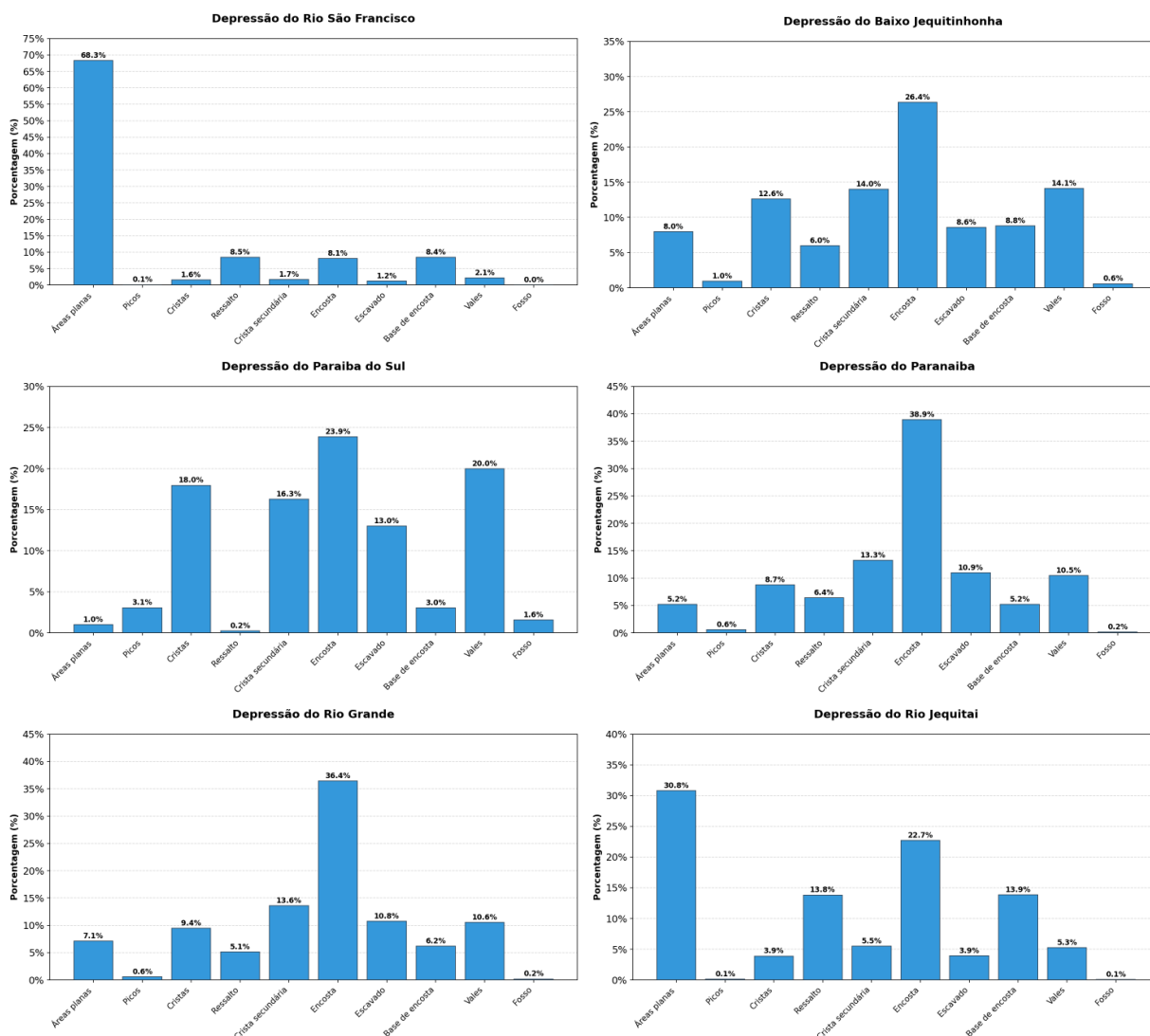
- Depressão do Rio Doce apresenta predominância de encosta com 24,1%, seguido por vales com 18,8% e cristas com 17,5%. As demais classes combinadas representam 39,6% do território.
- Depressão do Rio Grande apresenta predominância de encosta com 36,4%, seguido por crista secundária com 13,6% e escavado com 10,8%. As demais classes combinadas representam 39,2% do território.
- Depressão do Rio Jequitai apresenta predominância de áreas planas com 30,8%, seguido por encosta com 22,7% e base de encosta com 13,9%. As demais classes combinadas representam 32,6% do território.
- Depressão do Rio Mucuri apresenta predominância de encosta com 25,1%, seguido por vales com 17,9% e crista secundária com 16,7%. As demais classes combinadas representam 40,2% do território.
- Depressão do Rio Pardo apresenta predominância de encosta com 37,9%, seguido por crista secundária com 16,3% e vales com 12,8%. As demais classes combinadas representam 32,9% do território.
- Depressão do Rio Pomba apresenta predominância de encosta com 24,7%, seguido por vales com 19,9% e cristas com 17,5%. As demais classes combinadas representam 37,9% do território.
- Depressão do Rio Preto apresenta predominância de áreas planas com 47,5%, seguido por base de encosta com 14,4% e encosta com 13,8%. As demais classes combinadas representam 24,3% do território.
- Depressão do Rio São Francisco apresenta predominância de áreas planas com 68,3%, seguido por ressalto com 8,5% e base de encosta com 8,4%. As demais classes combinadas representam 14,8% do território.
- Depressão do Rio Sapucaí apresenta predominância de encosta com 29,6%, seguido por vales com 16,4% e crista secundária com 15,8%. As demais classes combinadas representam 38,2% do território.

A predominância da classe encosta na maior parte das subunidades analisadas. De modo geral, os valores dessa classe variam entre aproximadamente 8,1% e 38,9%. Com destaque para as depressões do Paranaíba (38,9%), Rio Pardo (37,9%) e Rio Grande (36,4%), que apresentam os maiores percentuais de encostas. Em contraste, as depressões do Rio Preto (13,8%) e do Rio São Francisco (8,4%) apresentam os menores valores, evidenciando menor presença de encostas. Nessas duas unidades, observa-se destaque para a classe de áreas planas, com percentuais elevados, principalmente na Depressão do Rio São Francisco, que apresenta 68,3%, e na Depressão do Rio Preto, com 47,5%.

Além disso, algumas unidades apresentam maior representatividade de outras formas de relevo. Nas depressões do Médio e Baixo Jequitinhonha, Rio Mucuri e Sapucaí, os vales e as cristas secundárias apresentam valores expressivos, já a Depressão do Rio Jequitai apresenta predominância de áreas planas (30,8%).

Figura 27- Valores por subunidades Depressão





Fonte: O Autor (2026).

Nas subunidades classificadas como, como Planalto, temos o maior número de subunidades conforme Figura 28, sendo um total de quarenta e quatro, sendo:

- Planalto Borda do Espinhaço apresenta predominância de encosta com 28,8%, seguido por áreas planas com 13,5% e crista secundária com 10,3%. As demais classes combinadas representam 47,4% do território.
- Planalto Conservado do Alto Paranaíba apresenta predominância de encosta com 33,4%, seguido por áreas planas com 22,5% e ressalto com 13,5%. As demais classes combinadas representam 30,7% do território.
- Planalto Conservado do Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 35,7%, seguido por áreas planas com 23,0% e ressalto com 12,2%. As demais classes combinadas representam 29,1% do território.
- Planalto Conservado do Médio São Francisco apresenta predominância de áreas planas com 37,8%, seguido por encosta com 24,9% e ressalto com 11,0%. As demais classes combinadas representam 26,3% do território.

- Planalto Conservado do rio Caninhanha apresenta predominância de áreas planas com 78,3%, seguido por resalto com 7,2% e base de encosta com 5,3%. As demais classes combinadas representam 9,3% do território.
- Planalto Conservado do Rio Caninhanha/Peruaçu apresenta predominância de áreas planas com 81,6%, seguido por resalto com 6,6% e base de encosta com 4,6%. As demais classes combinadas representam 7,1% do território.
- Planalto Conservado do Triângulo Mineiro apresenta predominância de áreas planas com 38,6%, seguido por encosta com 26,5% e resalto com 12,6%. As demais classes combinadas representam 22,3% do território.
- Planalto Conservado do Urucuia apresenta predominância de áreas planas com 54,1%, seguido por encosta com 16,4% e resalto com 12,4%. As demais classes combinadas representam 17,0% do território.
- Planalto Conservado Guarda-Mor/Paracatu apresenta predominância de áreas planas com 53,9%, seguido por encosta com 16,7% e resalto com 10,9%. As demais classes combinadas representam 18,6% do território.
- Planalto da Zona da Mata Mineira apresenta predominância de encosta com 27,5%, seguido por vales com 17,8% e crista secundária com 17,3%. As demais classes combinadas representam 37,4% do território.
- Planalto de Araxá/Ibiá apresenta predominância de encosta com 38,9%, seguido por crista secundária com 13,7% e vales com 11,9%. As demais classes combinadas representam 35,5% do território.
- Planalto de Juiz de Fora apresenta predominância de encosta com 22,4%, seguido por vales com 21,9% e cristas com 18,9%. As demais classes combinadas representam 36,8% do território.
- Planalto de Pedra Azul apresenta predominância de encosta com 33,0%, seguido por crista secundária com 19,5% e vales com 15,1%. As demais classes combinadas representam 32,4% do território.
- Planalto de Poços de Caldas apresenta predominância de encosta com 30,3%, seguido por crista secundária com 17,4% e vales com 16,8%. As demais classes combinadas representam 35,5% do território.
- Planalto de São Lourenço apresenta predominância de encosta com 26,8%, seguido por vales com 18,8% e cristas com 17,1%. As demais classes combinadas representam 37,4% do território.
- Planalto de Tapira apresenta predominância de encosta com 32,9%, seguido por crista secundária com 17,8% e vales com 16,3%. As demais classes combinadas representam 33,0% do território.
- Planalto Dissecado de Paracatu apresenta predominância de encosta com 29,8%, seguido por áreas planas com 12,8% e crista secundária com 10,8%. As demais classes combinadas representam 46,6% do território.
- Planalto Dissecado de Unaí apresenta predominância de encosta com 31,7%, seguido por cristas com 10,9% e vales com 10,7%. As demais classes combinadas representam 46,7% do território.

- Planalto Dissecado do Alto Rio Paranaíba apresenta predominância de encosta com 33,3%, seguido por crista secundária com 12,9% e vales com 12,6%. As demais classes combinadas representam 41,2% do território.
- Planalto Dissecado do Espinhaço apresenta predominância de encosta com 34,3%, seguido por crista secundária com 13,0% e áreas planas com 10,8%. As demais classes combinadas representam 41,9% do território.
- Planalto Dissecado do Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 33,4%, seguido por crista secundária com 18,0% e vales com 16,3%. As demais classes combinadas representam 32,4% do território.
- Planalto Dissecado do Triângulo Mineiro apresenta predominância de encosta com 29,0%, seguido por áreas planas com 25,8% e resalto com 15,0%. As demais classes combinadas representam 30,1% do território.
- Planalto Dissecado Peruaçu/Pandeiros apresenta predominância de áreas planas com 38,4%, seguido por encosta com 17,7% e resalto com 13,3%. As demais classes combinadas representam 30,5% do território.
- Planalto do Alto Rio Doce apresenta predominância de encosta com 23,4%, seguido por vales com 21,5% e cristas com 18,7%. As demais classes combinadas representam 36,4% do território.
- Planalto do Alto Rio Grande apresenta predominância de encosta com 33,1%, seguido por crista secundária com 16,2% e vales com 15,4%. As demais classes combinadas representam 35,3% do território.
- Planalto do Alto Rio Mucuri apresenta predominância de encosta com 25,6%, seguido por vales com 19,0% e crista secundária com 18,0%. As demais classes combinadas representam 37,4% do território.
- Planalto do Alto Rio Paranaíba apresenta predominância de encosta com 31,3%, seguido por áreas planas com 16,8% e resalto com 11,9%. As demais classes combinadas representam 40,0% do território.
- Planalto do Alto São Francisco apresenta predominância de encosta com 31,7%, seguido por crista secundária com 16,8% e vales com 15,8%. As demais classes combinadas representam 35,7% do território.
- Planalto do Baixo Jequitinhonha apresenta predominância de encosta com 29,8%, seguido por crista secundária com 19,2% e vales com 16,9%. As demais classes combinadas representam 34,2% do território.
- Planalto do Campo das Vertentes apresenta predominância de encosta com 26,3%, seguido por vales com 19,9% e cristas com 17,3%. As demais classes combinadas representam 36,6% do território.
- Planalto do Geraizinhos apresenta predominância de encosta com 34,7%, seguido por áreas planas com 19,1% e crista secundária com 10,5%. As demais classes combinadas representam 35,8% do território.
- Planalto do Leste de Minas apresenta predominância de encosta com 26,0%, seguido por vales com 19,1% e cristas com 17,3%. As demais classes combinadas representam 37,6% do território.

- Planalto do Médio São Francisco apresenta predominância de encosta com 29,2%, seguido por vales com 12,6% e crista secundária com 11,8%. As demais classes combinadas representam 46,3% do território.
- Planalto do Rio Jaguari apresenta predominância de encosta com 29,4%, seguido por crista secundária com 17,4% e vales com 17,2%. As demais classes combinadas representam 36,0% do território.
- Planalto do Rio Preto apresenta predominância de encosta com 26,2%, seguido por vales com 18,9% e cristas com 16,9%. As demais classes combinadas representam 38,0% do território.
- Planalto do Rio São Marcos apresenta predominância de áreas planas com 28,5%, seguido por encosta com 27,5% e ressalto com 11,2%. As demais classes combinadas representam 32,9% do território.
- Planalto do Rio São Marcos/Preto apresenta predominância de áreas planas com 40,7%, seguido por encosta com 20,1% e ressalto com 16,3%. As demais classes combinadas representam 23,0% do território.
- Planalto do Rio São Mateus apresenta predominância de encosta com 27,6%, seguido por crista secundária com 18,3% e vales com 17,6%. As demais classes combinadas representam 36,4% do território.
- Planalto do Rio Sapucaí apresenta predominância de encosta com 42,7%, seguido por crista secundária com 14,7% e escavado com 10,6%. As demais classes combinadas representam 32,0% do território.
- Planalto do Urucuia apresenta predominância de encosta com 31,5%, seguido por áreas planas com 15,3% e ressalto com 11,0%. As demais classes combinadas representam 42,3% do território.
- Planalto Interior do Quadrilátero Ferrífero apresenta predominância de encosta com 27,6%, seguido por crista secundária com 18,2% e vales com 18,1%. As demais classes combinadas representam 36,0% do território.
- Planalto Jequitai/Verde apresenta predominância de encosta com 27,3%, seguido por áreas planas com 15,4% e ressalto com 11,1%. As demais classes combinadas representam 46,2% do território.
- Planalto Residual de Arinos apresenta predominância de encosta com 47,6%, seguido por crista secundária com 13,4% e escavado com 11,1%. As demais classes combinadas representam 27,8% do território.
- Planalto Residual do Triângulo Mineiro apresenta predominância de encosta com 34,6%, seguido por ressalto com 14,3% e crista secundária com 10,8%. As demais classes combinadas representam 40,3% do território.

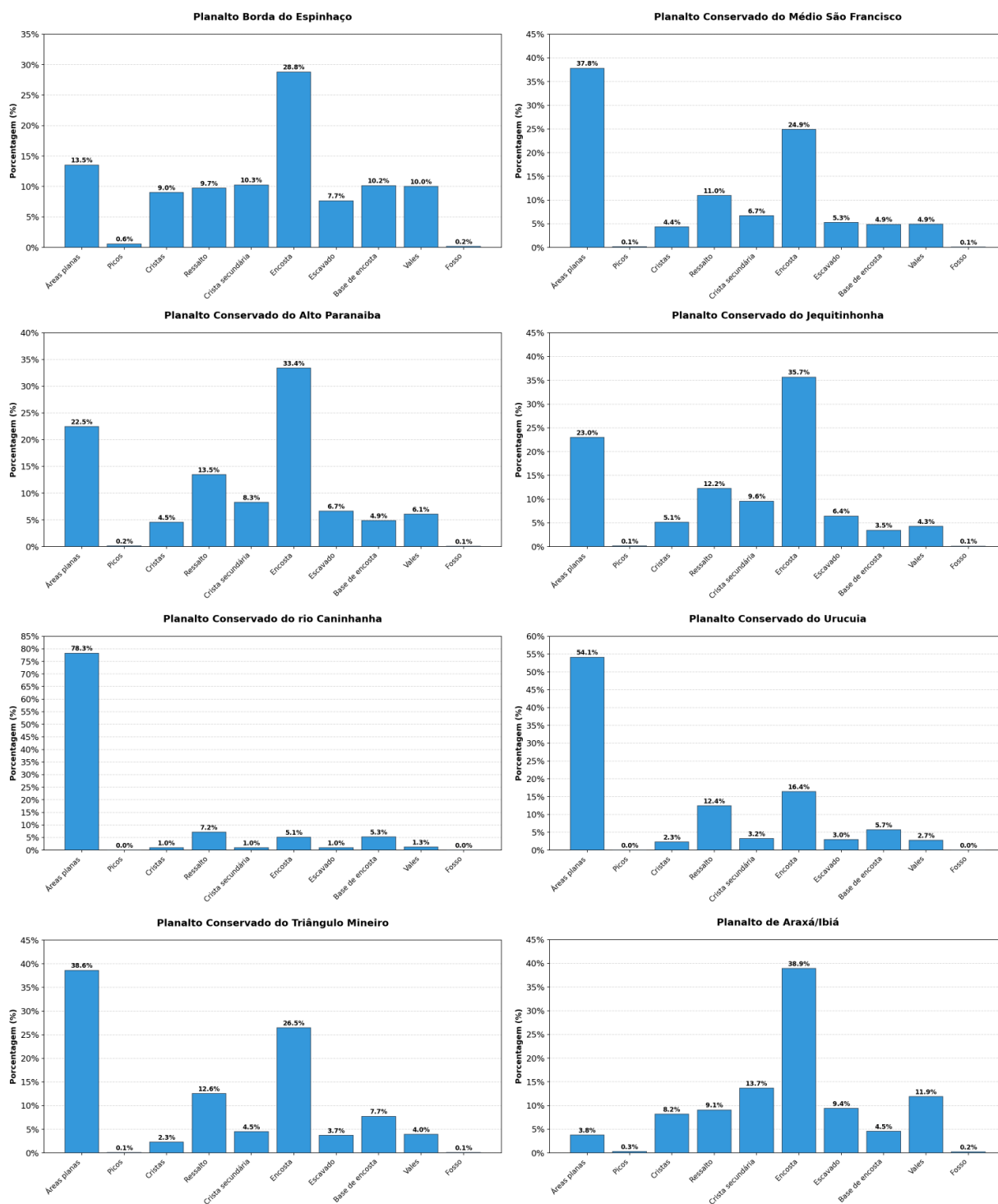
A classe encosta apresenta predominância na maior parte das subunidades Planalto. De modo geral, os valores dessa classe variam entre 3,8% e 47,6%, destacam-se os maiores percentuais de Encostas nos planaltos Residual de Arinos (47,6%), do Rio Sapucaí (42,7%) e de Araxá/Ibiá (38,9%).

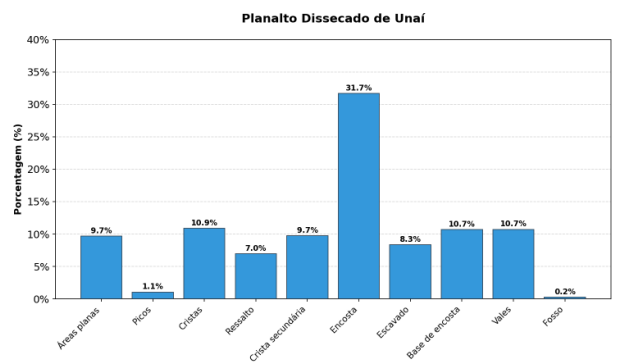
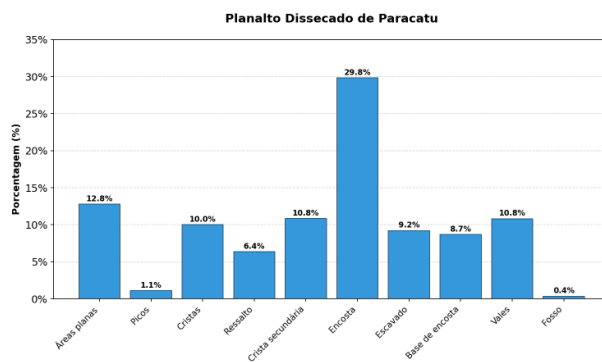
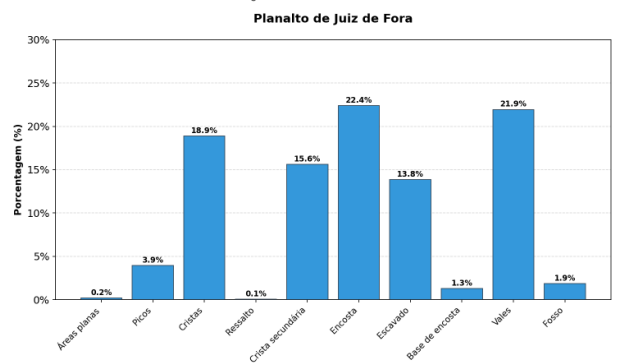
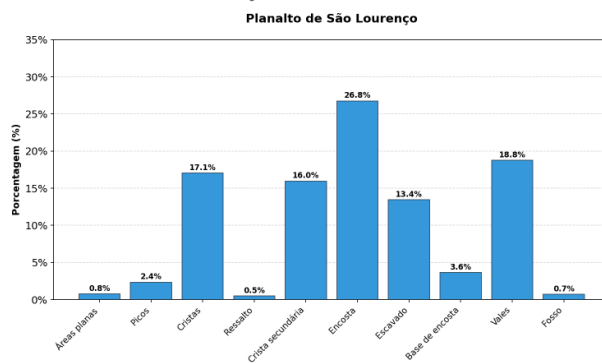
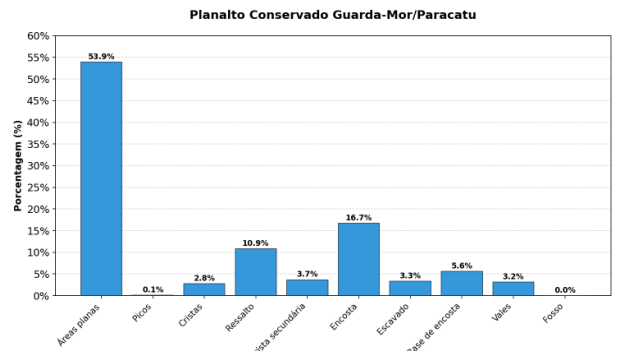
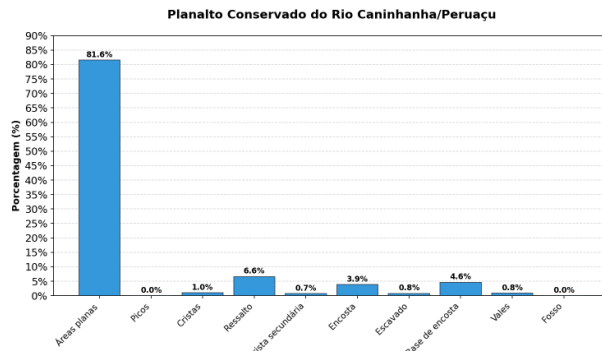
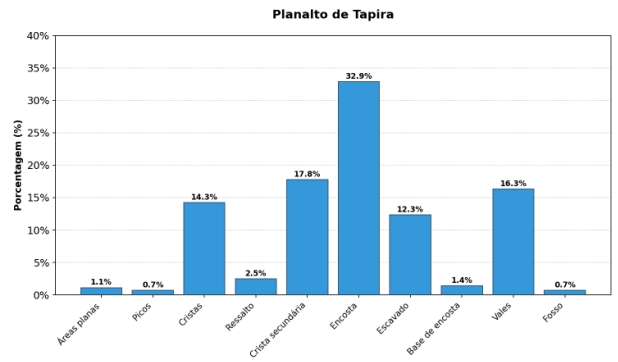
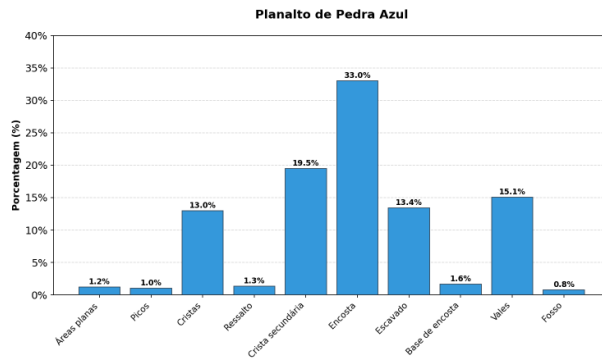
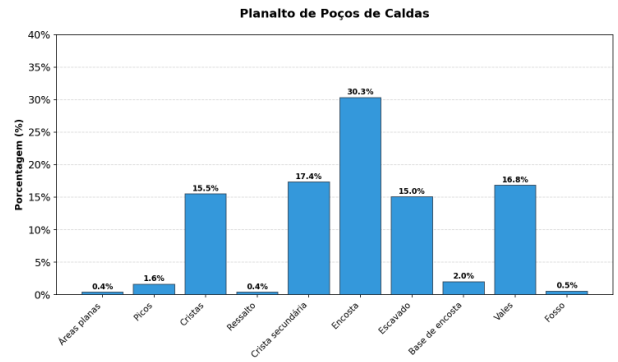
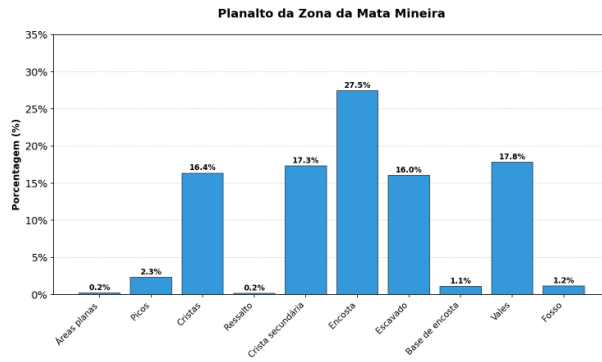
Destaca-se um conjunto de planaltos com predominância de áreas planas, principalmente nos planaltos Conservado do rio Caninhanha (78,3%) e Conservado do Rio Caninhanha/Peruaçu (81,6%), que apresentam os maiores valores dessa classe, outros exemplos

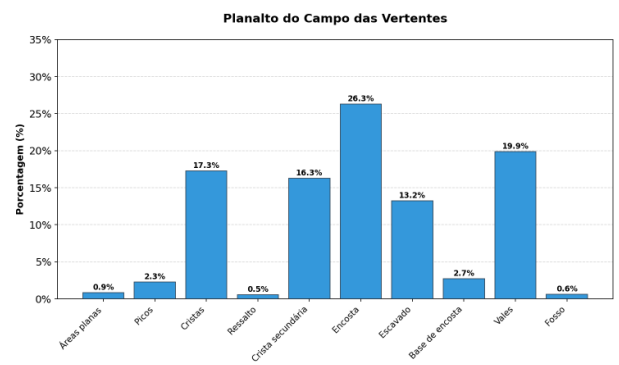
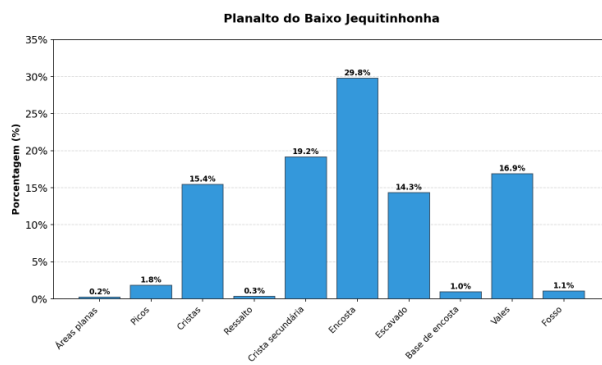
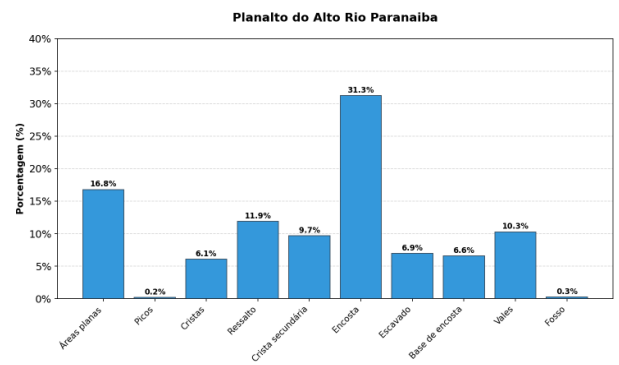
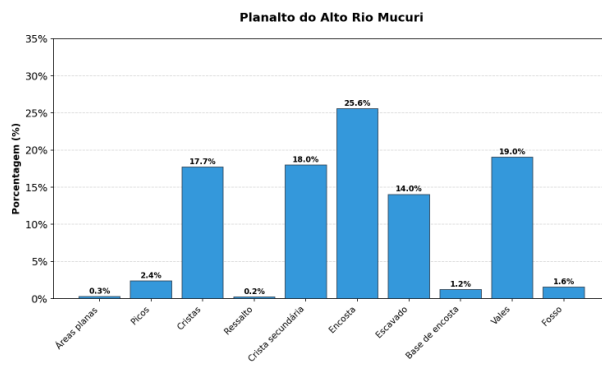
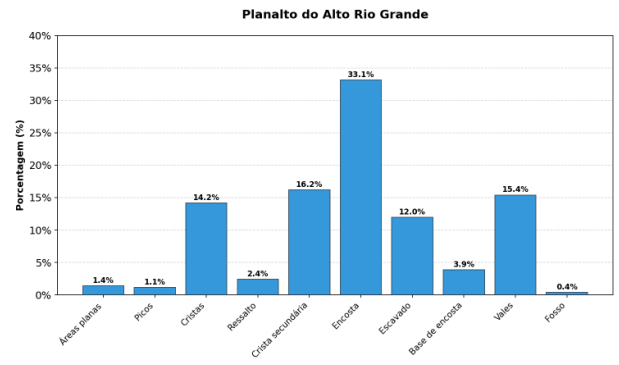
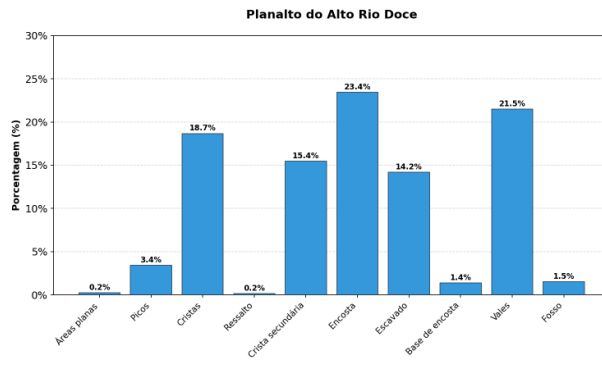
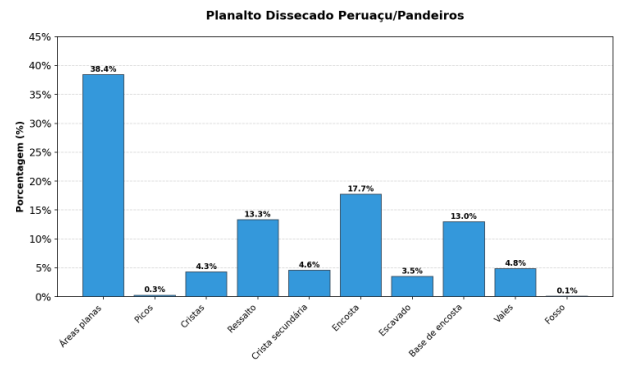
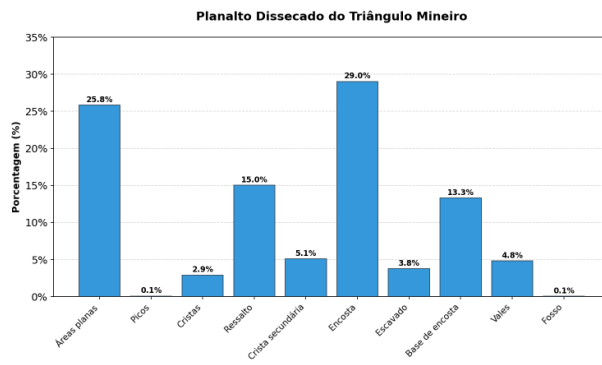
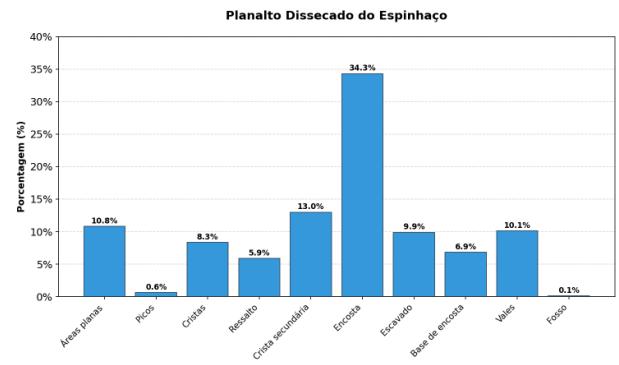
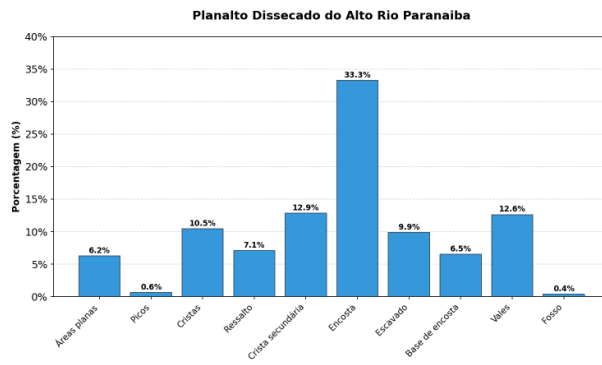
incluem os planaltos Conservado do Urucuia(54,1%), Guarda-Mor/Paracatu(53,9%) e do Triângulo Mineiro(38,4%).

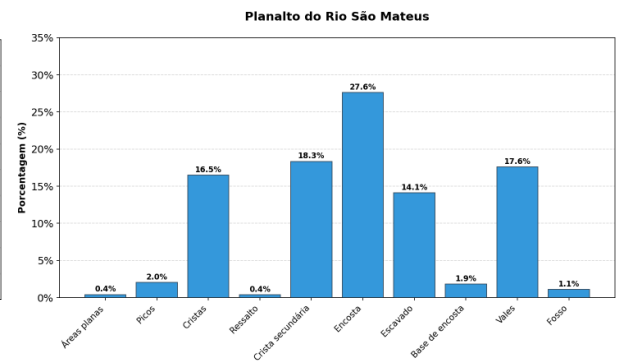
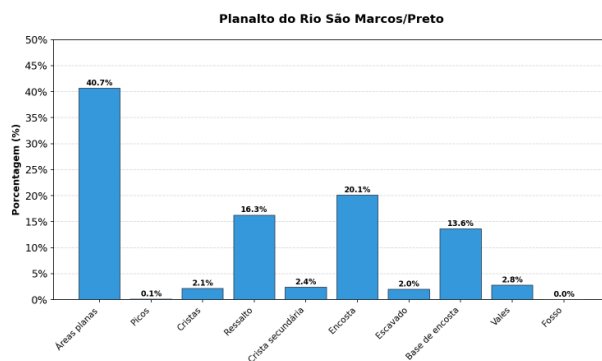
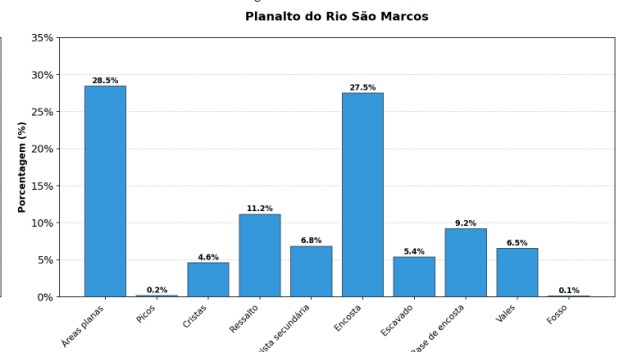
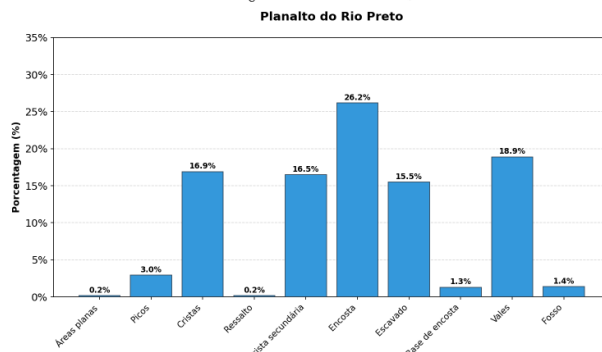
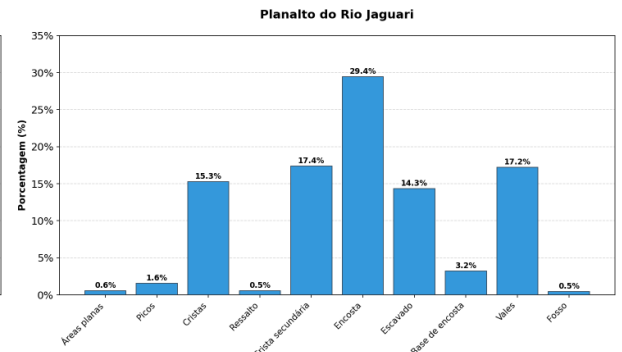
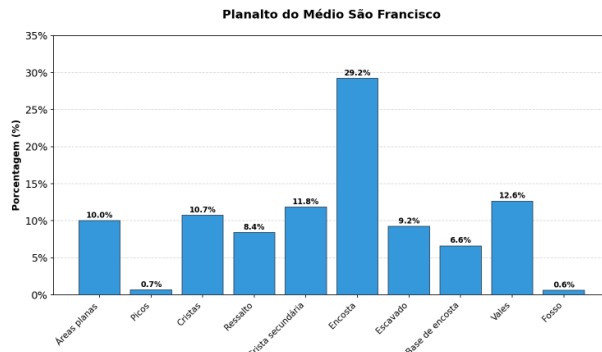
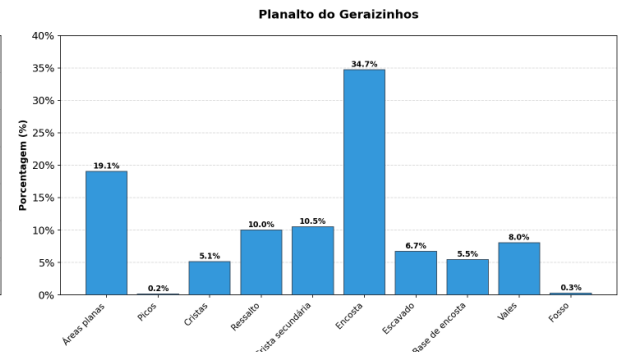
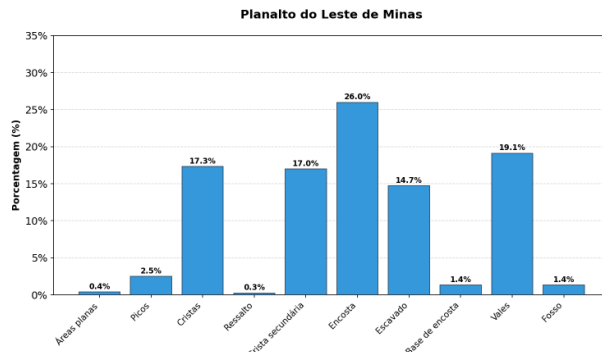
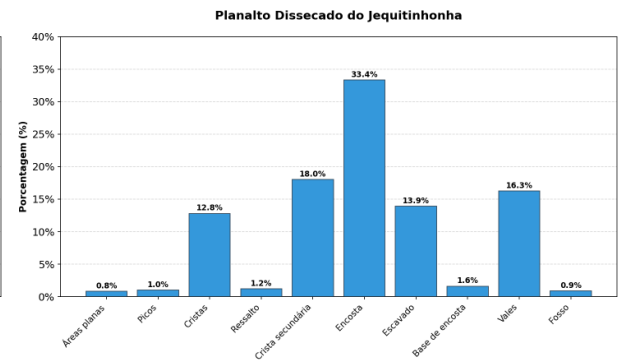
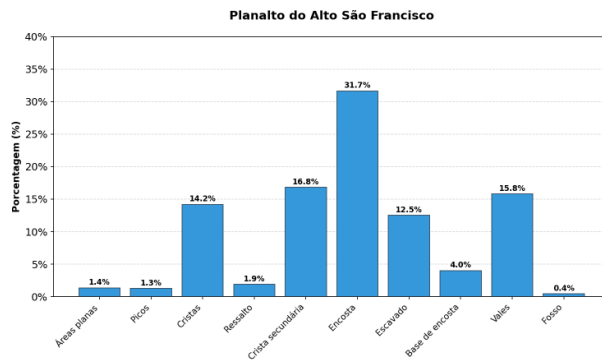
Observa-se também que diversas unidades apresentam valores expressivos de vales e cristas secundárias, como nos planaltos da Zona da Mata Mineira, Pedra Azul, Poços de Caldas, Campo das Vertentes, Leste de Minas e Interior do Quadrilátero Ferrífero.

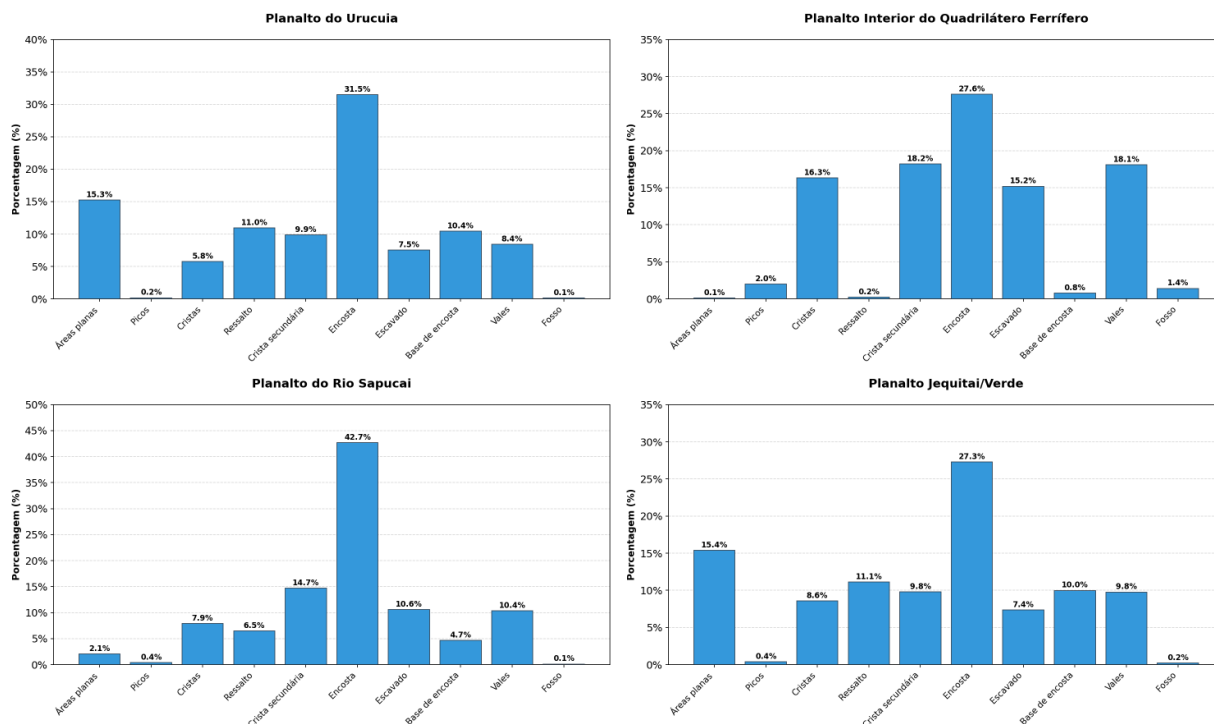
Figura 28- Valores por subunidades Planalto







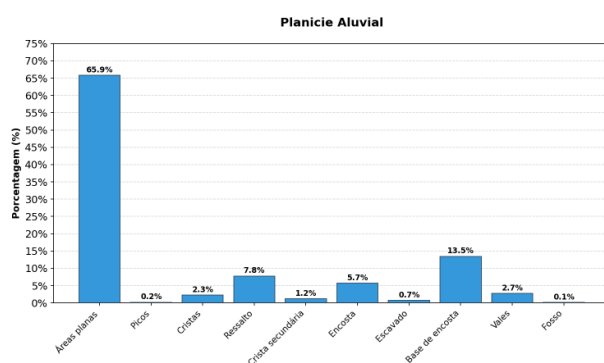




Fonte: O Autor (2026).

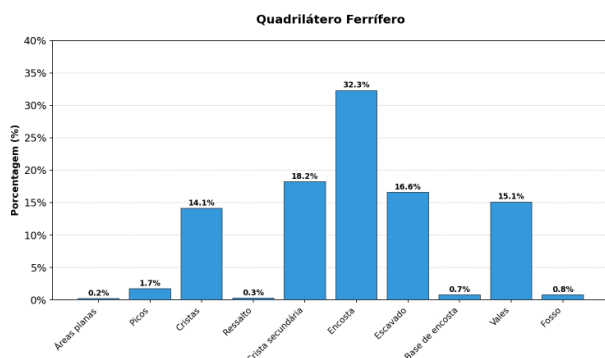
Temos uma subunidade de Planície Figura 29 sendo a: Planície Aluvial que apresenta predominância de áreas planas com 65,9%, seguido por base de encosta com 13,5% e ressalto com 7,8%. As demais classes combinadas representam 12,9% do território. Temos também a subunidade Quadrilátero Ferrífero Figura 30 que apresenta predominância de encosta com 32,3%, seguido por crista secundária com 18,2% e escavado com 16,6%. As demais classes combinadas representam 32,9% do território.

Figura 29 - Valores por subunidade Planície



Fonte: O Autor (2026).

Figura 30 - Valores por subunidade Quadrilátero Ferrífero



Fonte: O Autor (2026).

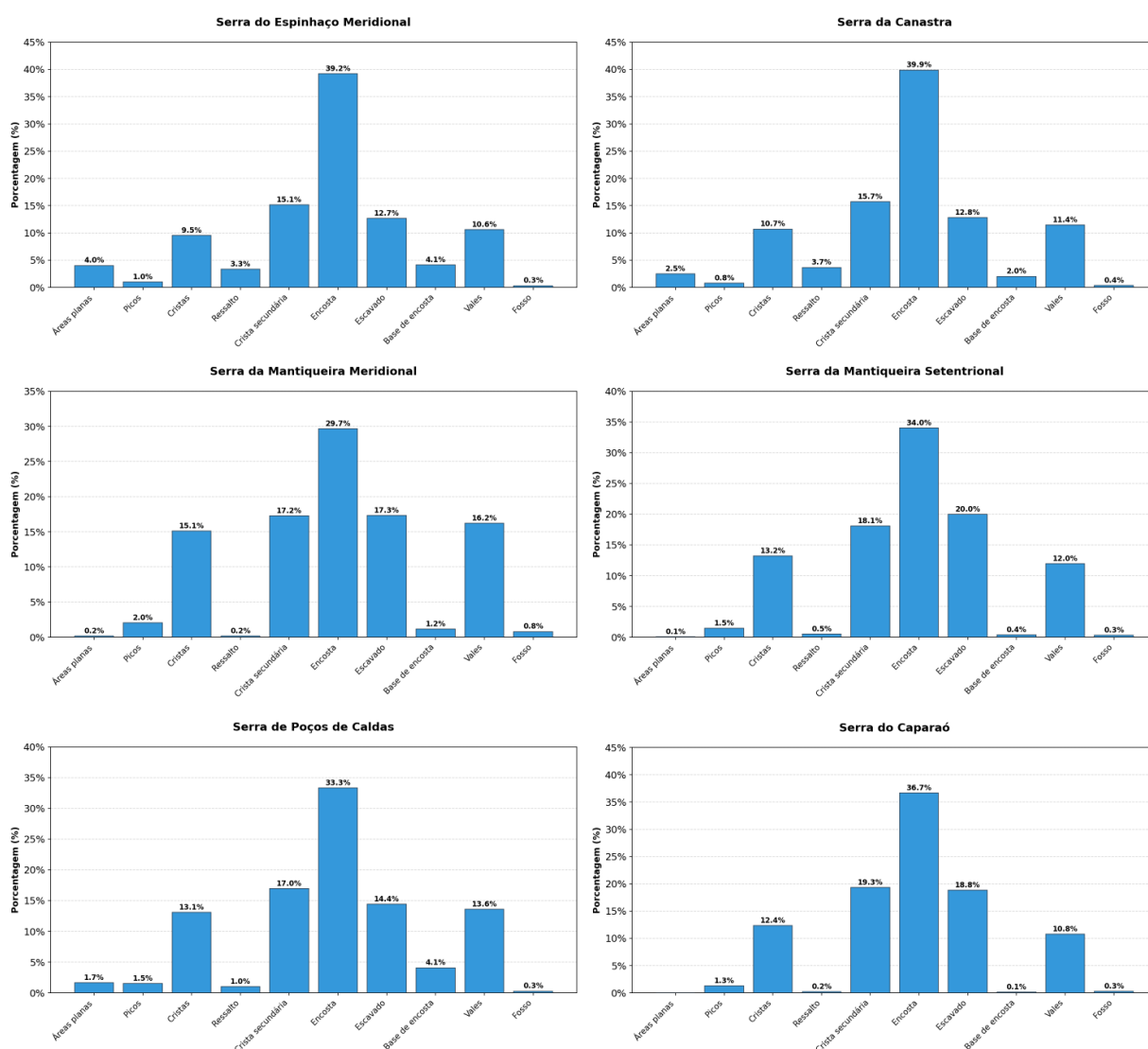
Nas subunidades classificadas como Serras Figura 31, temos um total de onze subunidades sendo:

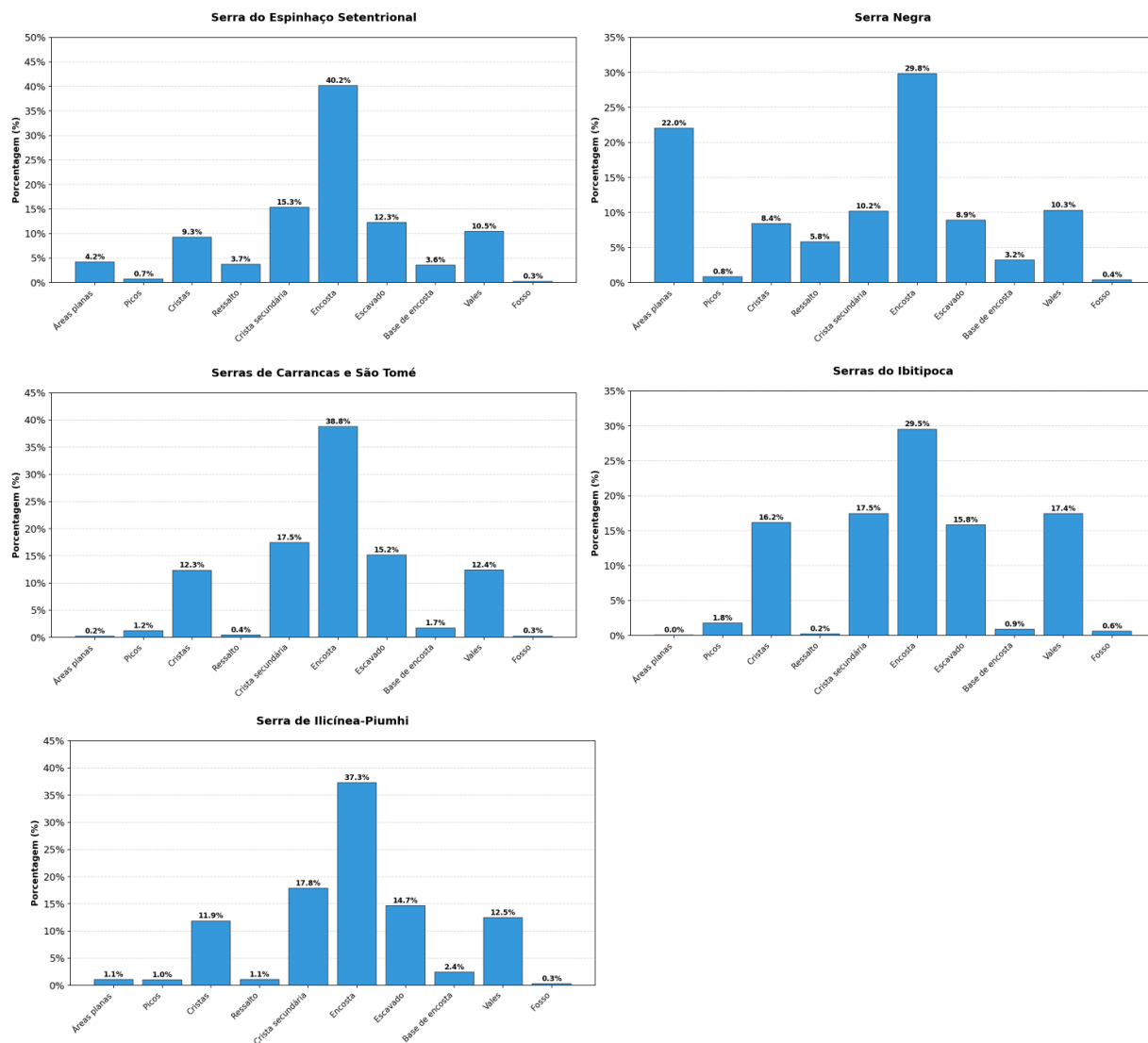
- Serra da Canastra apresenta predominância de encosta com 39,9%, seguido por crista secundária com 15,7% e escavado com 12,8%. As demais classes combinadas representam 31,5% do território.
- Serra da Mantiqueira Meridional apresenta predominância de encosta com 29,7%, seguido por escavado com 17,3% e crista secundária com 17,2%. As demais classes combinadas representam 35,7% do território.
- Serra da Mantiqueira Setentrional apresenta predominância de encosta com 34,0%, seguido por escavado com 20,0% e crista secundária com 18,1%. As demais classes combinadas representam 27,9% do território.
- Serra de Ilícinia-Piumhi apresenta predominância de encosta com 37,3%, seguido por crista secundária com 17,8% e escavado com 14,7%. As demais classes combinadas representam 30,2% do território.
- Serra de Poços de Caldas apresenta predominância de encosta com 33,3%, seguido por crista secundária com 17,0% e escavado com 14,4%. As demais classes combinadas representam 35,2% do território.
- Serra do Caparaó apresenta predominância de encosta com 36,7%, seguido por crista secundária com 19,3% e escavado com 18,8%. As demais classes combinadas representam 25,1% do território.
- Serra do Espinhaço Meridional apresenta predominância de encosta com 39,2%, seguido por crista secundária com 15,1% e escavado com 12,7%. As demais classes combinadas representam 33,0% do território.
- Serra do Espinhaço Setentrional apresenta predominância de encosta com 40,2%, seguido por crista secundária com 15,3% e escavado com 12,3%. As demais classes combinadas representam 32,2% do território.
- Serra Negra apresenta predominância de encosta com 29,8%, seguido por áreas planas com 22,0% e vales com 10,3%. As demais classes combinadas representam 37,8% do território.
- Serras de Carrancas e São Tomé apresenta predominância de encosta com 38,8%, seguido por crista secundária com 17,5% e escavado com 15,2%. As demais classes combinadas representam 28,6% do território.

- Serras do Ibitipoca apresenta predominância de encosta com 29,5%, seguido por crista secundária com 17,5% e vales com 17,4%. As demais classes combinadas representam 35,6% do território.

Nas subunidades classificadas como serras também tem a predominância da classe encosta. Os valores variam entre 29,3% e 40,18%. Destaque para Serra do Espinhaço Setentrional (40,2%), Serra da Canastra (39,9%) e Serra do Espinhaço Meridional (39,2%), além das Serras de Carrancas e São Tomé (38,8%). Já as menores proporções dessa classe são observadas na Serra da Mantiqueira Meridional (29,7%), Serra Negra (29,8%) e Serras do Ibitipoca (29,5%), observa-se significativa participação das classes crista secundária e escavado na maioria das serras. A Serra Negra apresenta um comportamento diferente das outras subunidades de serras, com destaque para áreas planas (22,0%), além de vales (10,3%).

Figura 31 - Valores por subunidades Serras

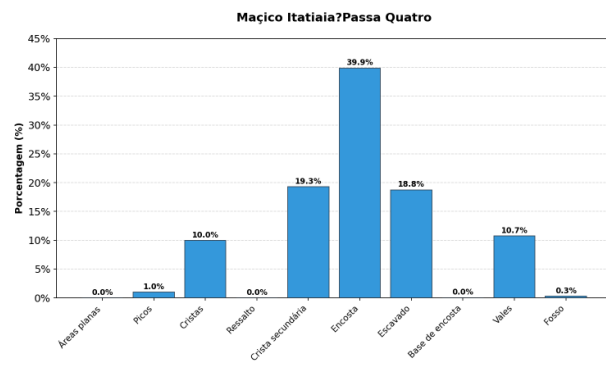




Fonte: O Autor (2026).

Temos uma subunidade denominada Maciço, sendo o Maciço Itatiaia/Passa Quatro que apresenta predominância de encosta com 39,9%, seguido por crista secundária com 19,3% e escavado com 18,8%. As demais classes combinadas representam 22,1% do território. (Figura 32).

Figura 32- Valores por subunidade Maciço



Fonte: O Autor (2026).