

Geoinformação e Sensoriamento Remoto em Geografia

Análise do relevo a partir de parâmetros geomorfométricos obtidos em análise automatizada no município de Toropi/RS

Relief analysis from geomorfometric parameters obtained in automated analysis in the municipality of Toropi/RS

Análisis de relieve a partir de parámetros geomorfométricos obtenidos en análisis automatizado en el municipio de Toropi/RS

Wilson Oliveira da Silva¹ , Romario Tretin¹ ,
Luis Eduardo de Souza Robaina¹ 

¹Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria , RS, Brasil

RESUMO

A análise do relevo possui grande importância para o uso e ocupação humana devido sua capacidade em identificar os processos superficiais que ocorrem no espaço, associado ao avanço das tecnologias SIG a pesquisa geomorfológica se tornou de grande relevância tornando-se possível determinar cálculos de vários aspectos do relevo através de modelos digitais de elevação. Neste sentido esta pesquisa visa analisar e identificar os elementos do relevo no município de Toropi, RS de forma automatizada a partir de técnicas geomorfométricas. Para a análise do município foi realizado inicialmente os mapas de hipsometria, declividade e forma de relevo no software Arcgis, posteriormente foi gerado através da ferramenta r.geomorphons que classifica uma área em 10 elementos de relevo, posteriormente foi gerado o mapa de formas das vertentes. O município de Toropi tem como principal forma de relevo as Colinas fortemente onduladas característico da região de transição da depressão central para o planalto riograndense. Em relação aos elementos do relevo Toropi apresenta a predominância de 3 elementos sendo eles a encosta, vale e crista compondo 60% da área total. As formas de vertente que se destaca no município são as vertentes côncavas-divergentes. O relevo exerce forte influência no uso e ocupação do solo e por isso estudos de compartimentação do relevo, tem potencial para ser utilizada em trabalhos de levantamento e planejamento visto que a diversidade.

Palavras-chave: Toropi; Geomorfologia; Geomorfometria

ABSTRACT

Relief analysis is of great importance for human use and occupation due to its ability to identify surface processes that occur in space, associated with the advancement of GIS technologies, geomorphological research has become of great relevance, making it possible to determine calculations of various aspects of the relief through digital elevation models. In this sense, this research aims to analyze and identify the relief elements in the municipality of Toropi, RS in an automated way from geomorphometric techniques. For the analysis of the municipality, maps of hypsometry, slope and landforms were initially carried out in the Arcgis software, later generated using the r.geomorphons tool, which classifies an area into 10 relief elements, later a map of the shapes of the slopes was generated. The municipality of Toropi has as its main relief form the Strongly Wavy Hills characteristic of the region of transition from the central depression to the Riograndense plateau. In relation to the relief elements, Toropi presents the predominance of 3 elements, namely the slope, valley and crest, making up 60% of the total area. The slope forms that stand out in the municipality are the concave-divergent slopes. The relief exerts a strong influence on the use and occupation of the soil and, therefore, studies of compartmentalization of the relief, it has the potential to be used in survey and planning work, given the diversity.

Keywords: Toropi; Geomorphology; Geomorphometrics

RESUMEN

El análisis de relieve es de gran importancia para el uso y ocupación humana debido a su capacidad para identificar procesos superficiales que ocurren en el espacio, asociado al avance de las tecnologías SIG, la investigación geomorfológica ha cobrado gran relevancia, posibilitando determinar cálculos de diversos aspectos de el relieve a través de modelos digitales de elevación. En ese sentido, esta investigación tiene como objetivo analizar e identificar los elementos del relieve en el municipio de Toropi, RS de forma automatizada a partir de técnicas geomorfométricas. Para el análisis del municipio se realizaron inicialmente mapas de hipsometría, pendiente y formas del relieve en el software Arcgis, posteriormente generados mediante la herramienta r.geomorphons, que clasifica un área en 10 elementos de relieve, posteriormente un mapa de las formas de las laderas fue generado. El municipio de Toropi tiene como relieve principal los Cerros Fuertemente Ondulados característicos de la región de transición de la depresión central a la meseta Riograndense. En relación a los elementos del relieve, Toropi presenta el predominio de 3 elementos, a saber, ladera, valle y cresta, conformando el 60% del área total. Las formas de pendiente que destacan en el municipio son las pendientes cóncavas-divergentes. El relieve ejerce una fuerte influencia en el uso y ocupación del suelo y, por tanto, en estudios de compartimentación del relieve, tiene potencial para ser utilizado en trabajos de levantamiento y planificación, dada la diversidad.

Palabras-clave: Toropi; Geomorfología; Geomorfometría

1 INTRODUÇÃO

Os estudos do relevo são base para analisar os processos superficiais que condicionam as diferentes formas de uso e ocupação humana. O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitaram representar a superfície

terrestre através de modelos digitais de elevação (MDE) viabilizando análises topográficas de uma determinada área e cálculos de outras variáveis, contribuindo assim em estudos geomorfológicos. Scheren & Robaina (2019) destacam a importância do uso das ferramentas de SIG e Modelo Digital de Elevação (MDE), na investigação do relevo da bacia hidrográfica do rio Potiribú/RS.

O uso de técnicas quantitativas tem comprovado a sua importância na aplicação de forma mais eficaz das informações em análises ambientais. Wood (1996) indica que a parametrização do relevo se refere a representação quantitativa de características da paisagem morfológica e que são continuamente descritos por equações e desta forma geram os modelos de representação numérica da altimetria que derivam em atributos topográficos.

De acordo com Pike (1995; 2000) a geomorfometria se caracteriza como a análise quantitativa da superfície terrestre, tendo como enfoque a extração de medidas descritivas (parâmetros) e feições da superfície. Podendo dessa forma elaborar mapas geomorfométricos a partir de algoritmos, permitindo, através de técnicas computacionais, classificar e mapear elementos das formas de relevo. Conforme Silveira *et al.* (2014) essa quantificação de dados denominada como geomorfometria tem sido impulsionado pelo avanço da informática e das geotecnologias.

Em geomorfometria, as formas de relevo podem ser definidas como “uma unidade de terra criada por processos naturais de tal forma que possa ser reconhecido e descrito em termos de atributos típicos onde quer que ocorra” (Lobeck, 1939; Weaver, 1965; Hammond, 1965; Leighty, 2001). Segundo Dikau *et al.* (1995), os tipos de relevo também podem ser definidos como agrupamentos de associações de formas de relevo e padrões de relevo (Speight, 1974). As formas de relevo incluem planícies, colinas e morros, que podem ser observados em várias escalas.

Os elementos de relevo são conceituados por componentes relativamente homogêneos em relação a curvatura do perfil e plano, inclinação, orientação ou exposição (aspecto ou radiação solar), regime de umidade e posição relativa do relevo (por exemplo, topo, meio ou fundo). Dikau (1989) diferencia entre elementos de forma

com uma curvatura homogênea do plano e perfis e formas da faceta que possuem um aspecto homogêneo gradiente, aspecto e curvatura.

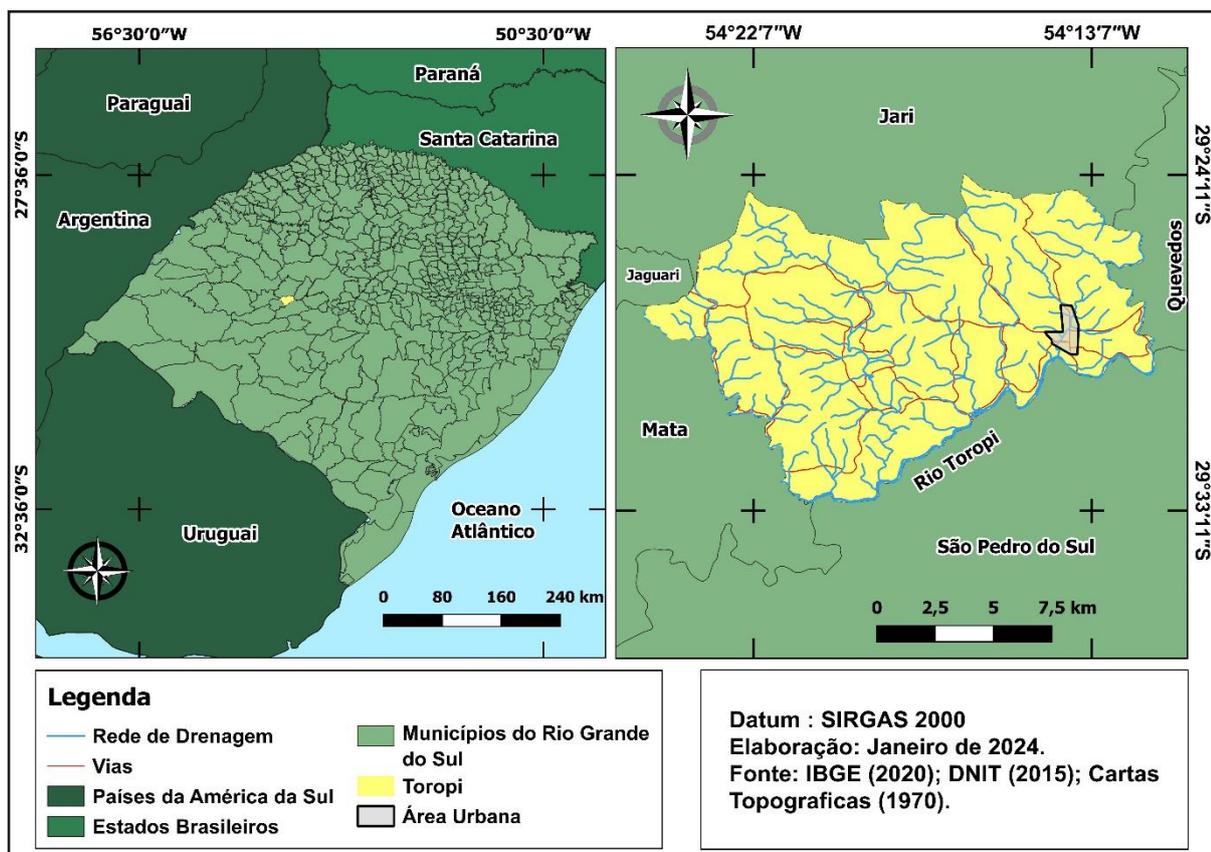
Os autores Jasiewicz e Stepinski (2014) estabeleceram uma classificação de elementos do relevo usando ferramentas de visão computacional ao invés de ferramentas da geometria diferencial. Os autores modificaram ferramentas utilizadas na classificação textural e aplicaram para análise de elementos de relevo, denominados de geomorphons por analogia ao textons. Textons, referem-se a microestruturas fundamentais em uma imagem, constituindo os elementos básicos de percepção visual (Julesz, 1984). Kramm *et al.* (2017) aplicaram essa proposta para o estudo geomorfológico no planalto de Loess no Irã; Chea e Sharma (2019), aplicaram os geomorphons como forma de avaliar o comportamento espacial do relevo nas encostas de Seul, na Coréia do Sul; Atkinson *et al.* (2020) que avaliaram o uso dos geomorphons com diferentes resoluções espaciais em uma bacia hidrográfica na região de KwaZulu-Natal, África do Sul.

Nos últimos anos vários trabalhos de pesquisadores brasileiros têm utilizado técnicas digitais na classificação morfológica, como Silveira e Silveira (2014), que desenvolveram a classificação morfológica da República do Uruguai; o trabalho de Scoti *et al.* (2015) que utilizou SIG e geoprocessamento para definir as unidades de relevo na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí da Armada/RS; Robaina *et al.* (2016; 2017) na identificação de elementos do relevo com técnicas digitais; Bortolini *et al.* (2017), na compartimentação das formas do relevo da região sudoeste do estado do Paraná. Outros trabalhos que se destacam são de Furlan *et al.* (2018) que realizou a compartimentação dos elementos do relevo na bacia hidrográfica do arroio Pantanoso em Canguçu/RS; Trentin e Robaina (2016, 2018) com análises geomorfométricas da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã/RS e Ibicuí; é Dutra *et al.* (2020) que aplicaram os geomorphons para avaliação do relevo no município de Canguçu/RS.

Nesse contexto, o presente trabalho, tem como objetivo caracterizar as formas e os elementos de relevo do município de Toropi, de modo automatizado e a partir de técnicas geomorfométricas. A área de análise é o município de Toropi/RS, apresentado

na Figura 1, que se localiza na região centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas 29° 24' 8.492" S, 54° 25' 1.452" W. O município se localiza a 60km do município de Santa Maria, e a 296km da capital do estado. Limita-se, ao norte, com Jari; ao sul, com São Pedro do Sul; a leste com Quevedos; e a oeste, com Mata.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Toropi, no estado do RS e uma apresentação mais detalhada do município com a localização da área urbana



Fonte: Os autores (2021)

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi desenvolvido com uso das geotecnologias sendo aplicadas técnicas de geoprocessamento e Modelo Digital de Elevação (MDE) os quais são representações matemáticas da superfície terrestre através das coordenadas X, Y e Z (Rocha, 2000). Foi utilizado para análise hipsométrico, declividade e elementos do relevo, tendo como base um modelo digital de elevação (MDE) retirado do site *Earth Explorer* (USGS,

2000) em formato raster com resolução espacial de 30 metros. Esse modelo foi obtido através da parceria da Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) com a Agência Espacial Alemã (DLR) que mapeou o globo inteiro, foi utilizado o radar de abertura sintética (SAR) para capturar as informações. Esse radar orbitou a terra acoplada a um ônibus espacial que soltou pulsos de micro-ondas para a superfície terrestre com o objetivo de calcular o tempo de retorno ao radar e gerar um MDE da superfície terrestre, com pixels de 30 metros de resolução.

Para gerar o mapa hipsométrico foi classificado o MDE do município de Toropi em em 5 classes com intervalos de 60 metros através do software Arcgis 10.4.1 licenciado para Universidade Federal de Santa Maria. O zoneamento da declividade das encostas foi elaborado através da ferramenta *slope*, a divisão de classe segue método proposto pela Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981), quais sejam elas < 2%, 2 -5%, 5- 15%, > 15%.

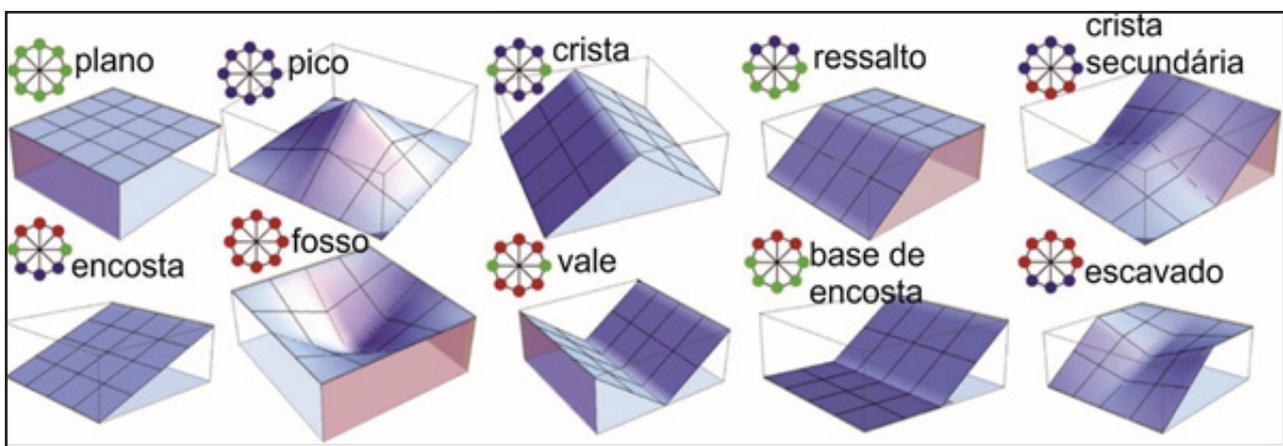
Também foi realizado perfis topográficos utilizando a ferramenta *3D Analyst* do ArcGIS, através do *interpolate line* sendo delimitada as linhas dos perfis, gerando 3 perfis de elevação, em seguida foi utilizado um editor gráfico CorelDRAW X5 para tornar editável e fazer os cálculos de exagero. O cálculo de exagero e feito através da divisão da escala horizontal do perfil sobre a escala vertical do perfil, mas primeiro e encontrado as escalas do perfil, para isso foi utilizado a ferramenta do editor de medir a distância gráfica do perfil e dividir pela distância real do terreno, isso foi feita para escala horizontal e vertical e posteriormente foi verificado o exagero.

O mapa das formas de relevo foi obtido através da associação das informações de hipsometria e declividade junto com curvas de níveis para auxiliar a delimitar os limites das classes com a ferramenta *edit features*, foram determinadas 5 classes diferentes sendo elas a associação de morros e morrotes, morros isolados, colinas fortemente onduladas, colinas suavemente onduladas e áreas planas. A classe de morros e morrotes se caracterizam por conter altitudes superiores a 260 metros em conjunto a declividade superiores a 15%, a classe de colinas fortemente onduladas é determinada por altitudes medias junto a declividade entre 15 a 5%, a classes de colinas suavemente onduladas é classificada com altitudes baixas associada a declives de 5

a 2%, a classes de áreas planas representaram as altitudes mais baixas do município mais próximas cursos hídricos ligadas a declividade menores a 2%.

O estudo dos elementos do relevo (geomorphons) no município de Toropi foi elaborado através da metodologia proposta por Jasiewicz e Stepinski (2013) que classificou as formas de relevo em dez elementos, que são: plano, pico, crista, ressaltos, crista secundária, encosta, escavado (concauidade), base de encosta, vales e fosso, sendo representadas na Figura 2.

Figura 2 – Representação dos elementos de relevo (geomorphons)



Fonte: Adaptado de Jasiewicz e Stepinski (2013)

Os autores Jasiewicz e Stepinski (2013) analisam a similaridade textural do DEM, que apresenta variação mais ou menos dos níveis de cinza entre células vizinhas, considerando um nível específico e transferido para o terreno os valores de elevação se mais "1", se menos "-1" for igual para "0".

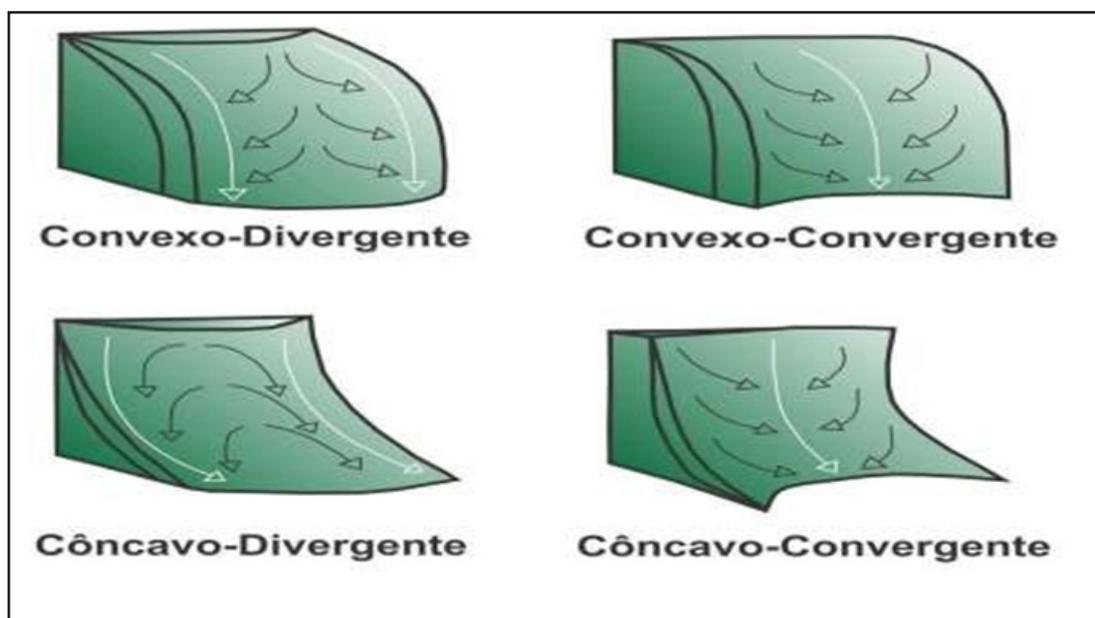
O software utilizado para gerar os elementos do relevo (*geomorphons*) foi o Qgis 3.16.6 onde foi aplicada a ferramenta *r.geomorphon*, que utiliza um conjunto de dados raster e dois valores escalares e livres, como parâmetros. O arquivo base de entrada para a análise é uma MDE do território originado de SRTM e dois valores escalares e livres que são *lookup "L"* (distância em metros ou célula unidades) e *thresholdt* (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, aplicou-se valor de "L" igual a 60 pixels (1.800 metros) e graus "t" igual a 2°, que se justifica devido as avaliações de perfis topográficos das encostas de forma a definir os comprimentos médios das mesmas,

após o processamento dos MDE's foi definido as 10 classes de *geomorphons*.

Para a definição dos parâmetros livres, "L", utilizou-se a análise de perfis topográficos do município, onde foi possível a definição do comprimento médio das vertentes e assim a aplicação do raio de análise de 60 pixels. O grau de suavização "t", define-se através das aplicações de diferentes ângulos, de forma a identificar a melhor representação espacial dos elementos proposto, em relação as diferentes características geomorfológicas da área de estudo.

Para uma melhor compreensão dos elementos do relevo foi realizado recortes em 3D, sendo feito no software ArcGIS Pro que contém uma ferramenta chamada *Scene* que possibilita visualizar dados em formato tridimensional. Foi adicionado o geomorphons nesta ferramenta e selecionado um exagero de 3 vezes para uma melhor representação do relevo, como é um modelo em 3D foi selecionado os melhores ângulos e alturas para os recortes fazendo com que o norte dos recortes tenha orientações diferentes do que geralmente ocorre em mapas tradicionais em 2D. Além dos elementos do relevo foi adicionado imagens do Google Earth de alta resolução para que ocorra uma comparação entre modelo gerado e o espaço natural.

Figura 3 – Representação das formas de vertente

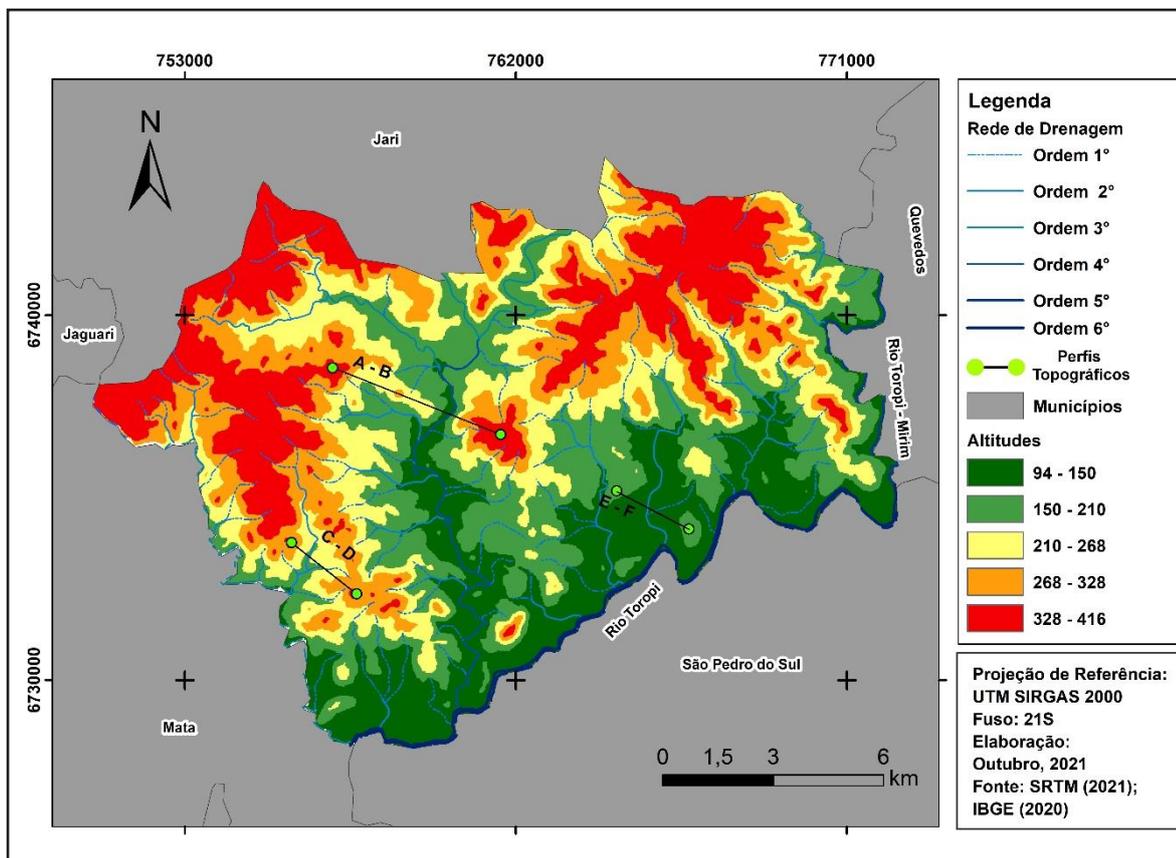


Fonte: Knierin (2015)

Para a geração do mapa de formas de encostas foi utilizado o modelo digital de elevação e a ferramenta do Software Arcgis 10.4.1 chamada *curvature* que gera o perfil de curvatura e o plano de curvatura da vertente. Logo após e feito a combinação desses dois aspectos e classificação das formas das vertentes tendo como categoriza Huggett (1975) sendo as classes de convexo- convergente, convexo-divergente, côncavo-convergente e côncavo-divergente como e ilustrada na Figura 3.

3 RESULTADOS

Figura 4 – Mapa hipsométrico do município de Toropi, RS



Fonte: Os autores (2021)

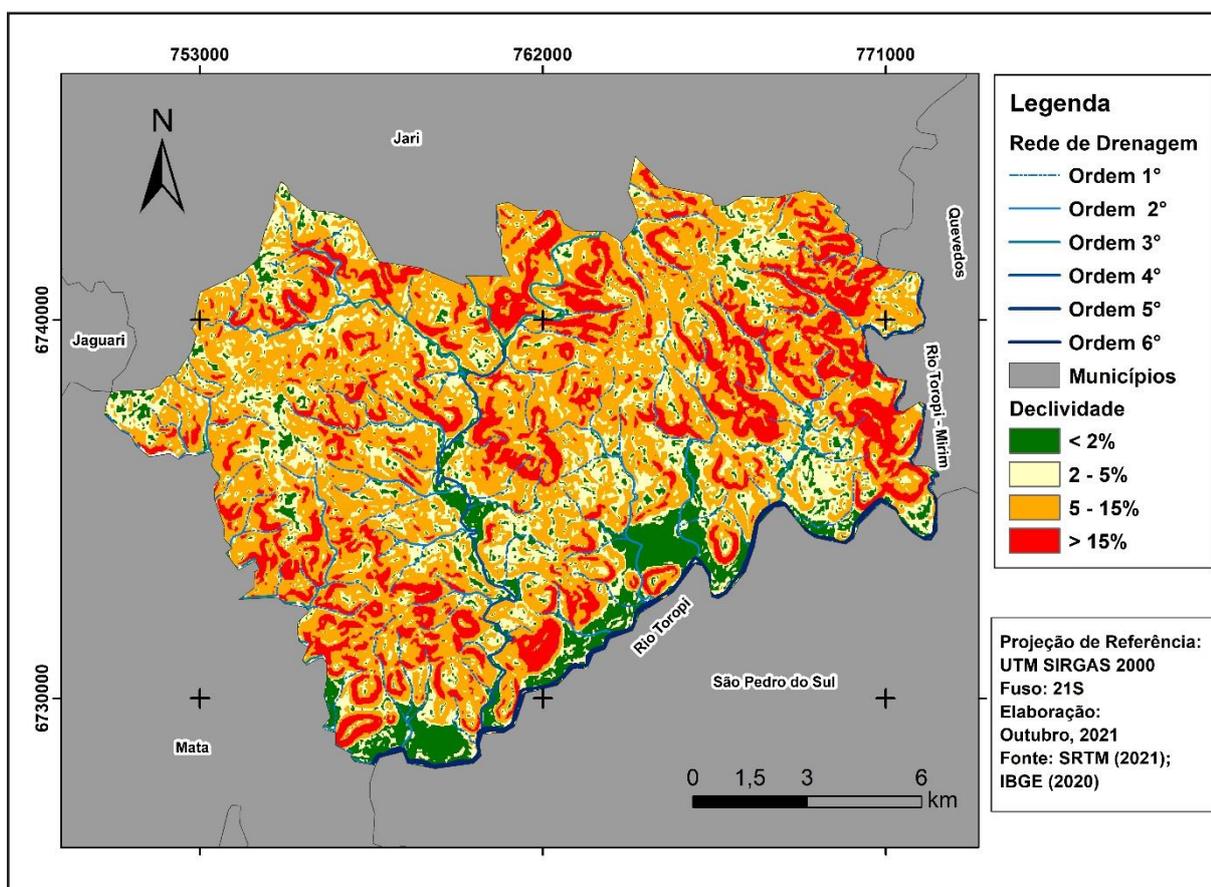
O município de Toropi está localizado, predominantemente, no Modelado do Rebordo do Planalto, segundo a classificação de Robaina *et.al* (2010). A unidade representa a zona de transição entre do Planalto das Missões para a Depressão do

Ibicuí marcando o processo do recuo do Planalto da Serra Geral, formando morros e morrotes com escarpas inclinadas.

As áreas de maior altitude encontradas no município estão localizadas na região norte com cotas de 328 a 416 metros que marcam a área de transição. As altitudes inferiores a 150 metros marcam os vales associados ao rio Toropi, de 6ª ordem, que se estende em toda a região sul do município (Figura 4).

As áreas associadas ao rio Toropi estão as áreas de menor altitude e com declividade menor que 2%. A partir do mapa de declividade (Figura 5 e Tabela 1), podemos observar a predominância da classe de 5 - 15%, identificando um relevo ondulado como característico do município.

Figura 5 – Mapa de declividade do município de Toropi, RS

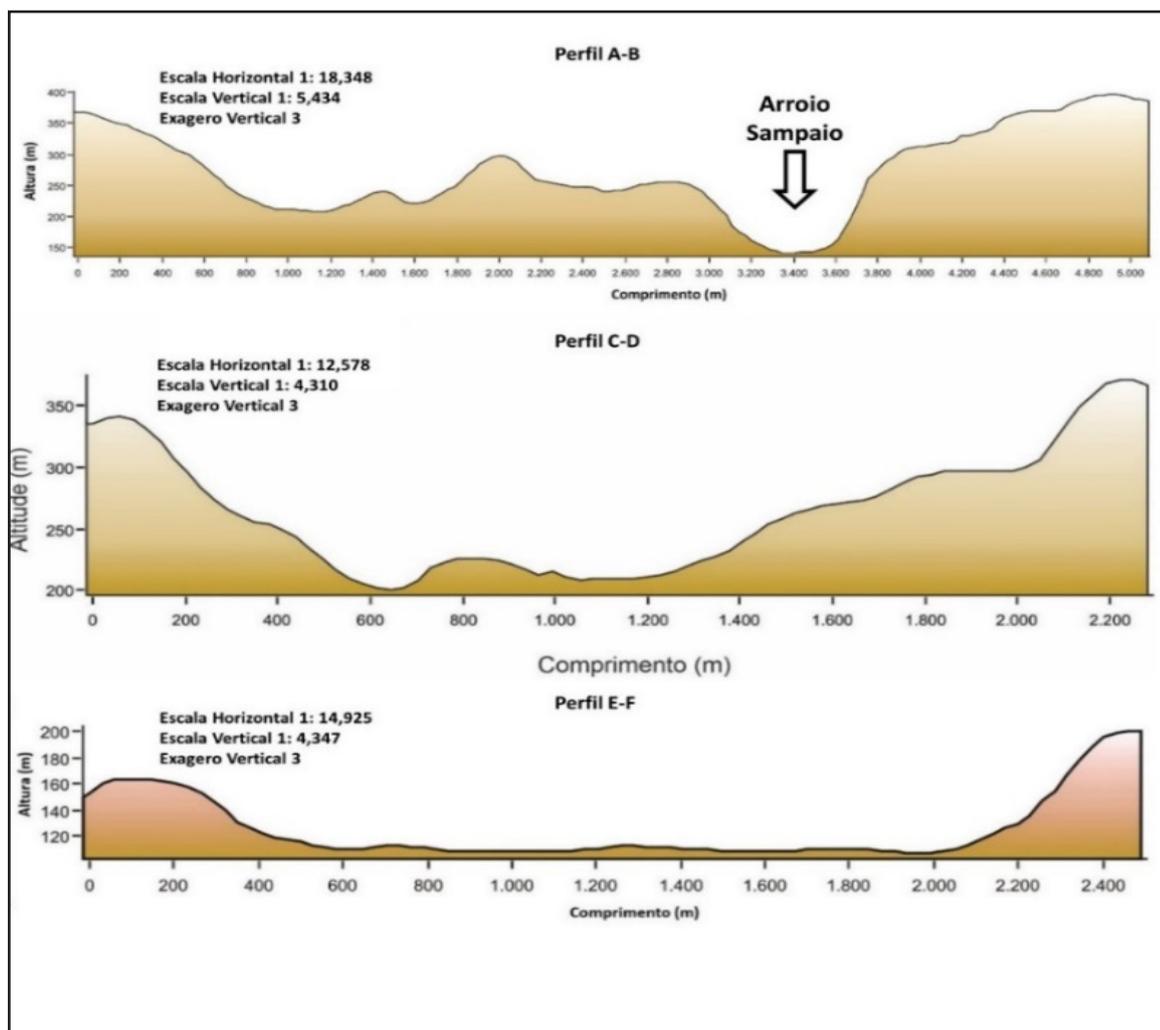


Fonte: Os autores (2021)

Tabela 1 – Classes de hipsometria e de declividade no município de Toropi, RS

Hipsometria	Área (km ²)	Porcentagem (%)	Declividade	Área (km ²)	Porcentagem (%)
90 - 150 m	43,02	20,38	0 - 2%	23,41	10,64
150 - 210 m	48,82	23,12	2 - 5%	47,87	21,74
210 - 268 m	41,42	19,62	5 - 15%	109,07	49,52
268 - 328 m	37,84	17,92	> 15%	39,86	18,10
328 - 416 m	40,05	18,96			

Fonte: Os Autores (2021)

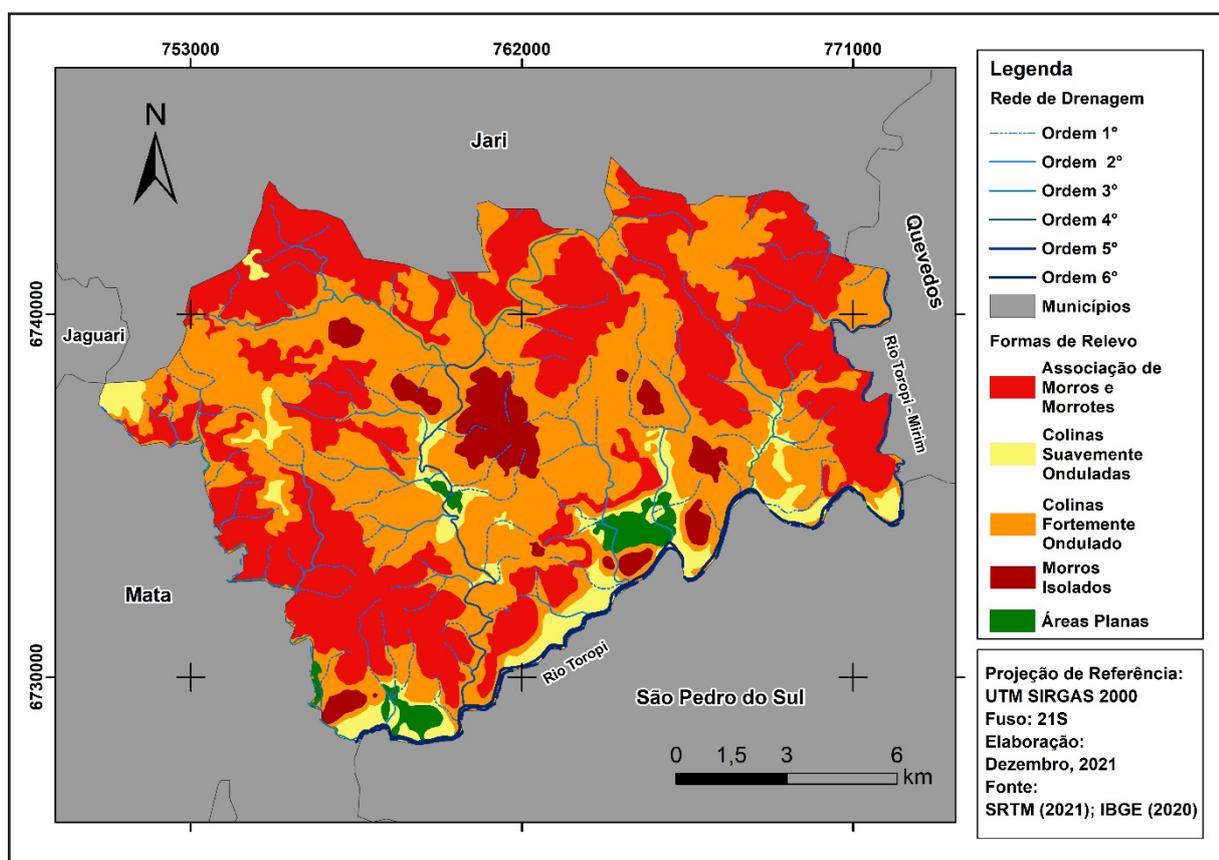
Figura 6 – Perfis Topográficos, representando as amplitudes do relevo

Fonte: Os autores (2021)

As amplitudes das encostas na região leste e sul do município, como está ilustrado na Figura 4, mapa hipsométrico os perfis topográficos, são predominantemente entre 60m e 160m (perfil A-B, perfil C-D). Na região leste do município o perfil topográfico E-F (Figura 6) apresenta um relevo com pouca variação altimétrica caracterizando as áreas planas próximas ao rio Toropi.

3.1 Formas de relevo

Figura 7 – Mapa das formas de relevo do município de Toropi, RS



Fonte: Os autores (2021)

As formas do relevo foram caracterizadas pela análise dos atributos topográficos de altitude, declividade e amplitude. As Colinas fortemente onduladas, com declividades próximas de 15% e amplitudes entre 60m a 80m, são as predominantes que correspondendo cerca de 46,96% da área total do município. Segue, em importância, a classe definida como Associação de morros com 39,75 % da área total.

Essas duas classes juntas representam mais de 85% do município de Toropi, como mostra a Figura 7 e a Tabela 2. A classe de Colinas suavemente onduladas representa regiões de transições de áreas planas para áreas mais inclinadas de colinas, morros e morrotes, compondo 6,90 % do município. Também é encontrado na região central e próximas ao rio Toropi a classe definida como Morros isolados, que representam 4,54% e marcam o processo do recuo do rebordo do planalto. A classe Área planas estão relacionadas aos cursos hídricos próximos ao rio Toropi e o Arroio Sampaio com 1,85% da área total do município.

Tabela 2 – Classes das formas de relevo no município de Toropi, RS

Formas	Área (km²)	Porcentagem (%)
Associação de Morros e Morretes	81,87	39,75
Morros Isolados	9,34	4,54
Colinas Fortemente Onduladas	96,73	46,96
Colinas Suavemente Onduladas	14,23	6,90
Colinas Suavemente Onduladas	14,23	6,90
Áreas Planas	3,81	1,85
Área Total	220,21	100,00

Fonte: Os Autores (2021)

Figura 8 – Fotografias apresentando as formas de relevo mais comuns no município de Toropi



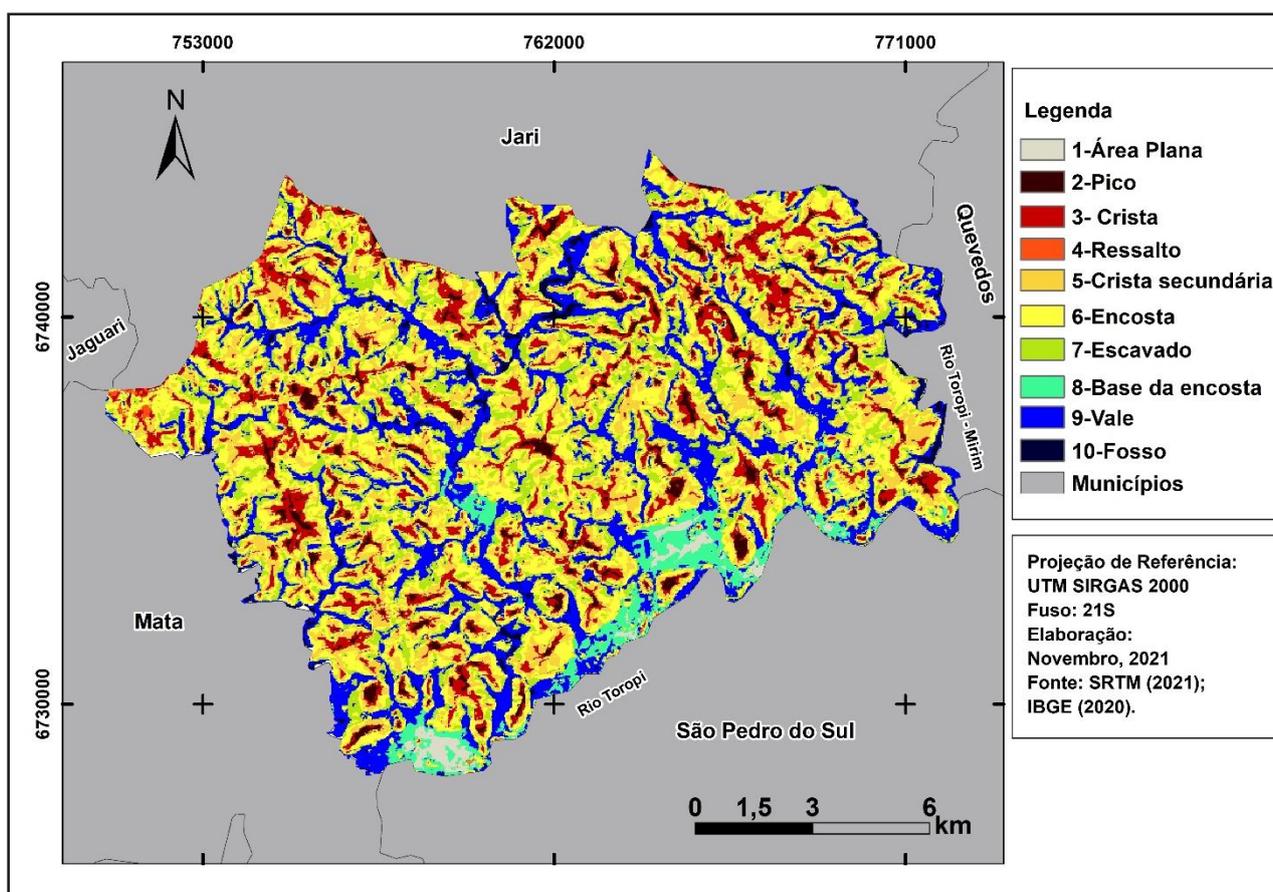
Fonte: Os Autores (2022)

Através da Figura 8 é possível identificar as diferentes formas encontradas no município de Toropi, tendo a primeira fotografia que apresenta as áreas de colinas fortemente inclinadas em primeiro plano fazendo uma transição para os morros. Enquanto a segunda fotografia mostra a associação de morro e morrotes com vales encaixados na divisa entre o município de Toropi e Quevedos.

3.2 Elementos do Relevo

A análise dos elementos que compõem o relevo, no município, são definidas em um conjunto de 10 feições: pico, crista, ressaltos, crista secundária, encosta, escavado, base de encosta, vale, fosso e plano. Os elementos estão apresentados espacialmente na Figura 9 e na Tabela 3 o percentual, em área, que ocupam no município de Toropi.

Figura 9 – Mapa de Elementos do relevo (Geomorphons) do município de Toropi, RS



Fonte: Os Autores (2021)

O município de Toropi é caracterizado pelo relevo fortemente ondulado sendo representado pela relação percentual próxima entre os elementos de encostas (26,71%), vales (18,16%) e cristas (11,60%) da área total do município. As encostas são curtas e os vales encaixados que se caracterizam por inclinações acentuadas que marcam o recuo do Planalto vulcânico. As cristas secundárias são importantes e representam elevações que ocorrem a partir do eixo de uma porção de topo. O elemento escavado ocorre em 16,42% do município e representam concavidade na meia encosta. O elemento do relevo classificado como plano ocorre na planície de inundação do rio Toropi, associado a elemento do tipo fosso que predominam no médio curso do arroio Sampaio e no rio Toropi-mirim.

Tabela 3 – Quantificação dos geomorphons no município de Toropi, RS

Nº	Elementos	Área (km ²)	Porcentagem %
1	Plano	1,82	0,90%
2	Pico	6,30	3,10%
3	Crista	23,56	11,60%
4	Ressalto	0,46	0,23%
5	Crista secundária	36,38	17,91%
6	Encosta	54,26	26,71%
7	Escavado	33,36	16,42%
8	Base de encosta	6,66	3,28%
9	Vale	36,90	18,16%
10	Fosso	3,47	1,71%
	Total	203,17	100%

Fonte: Os Autores (2021)

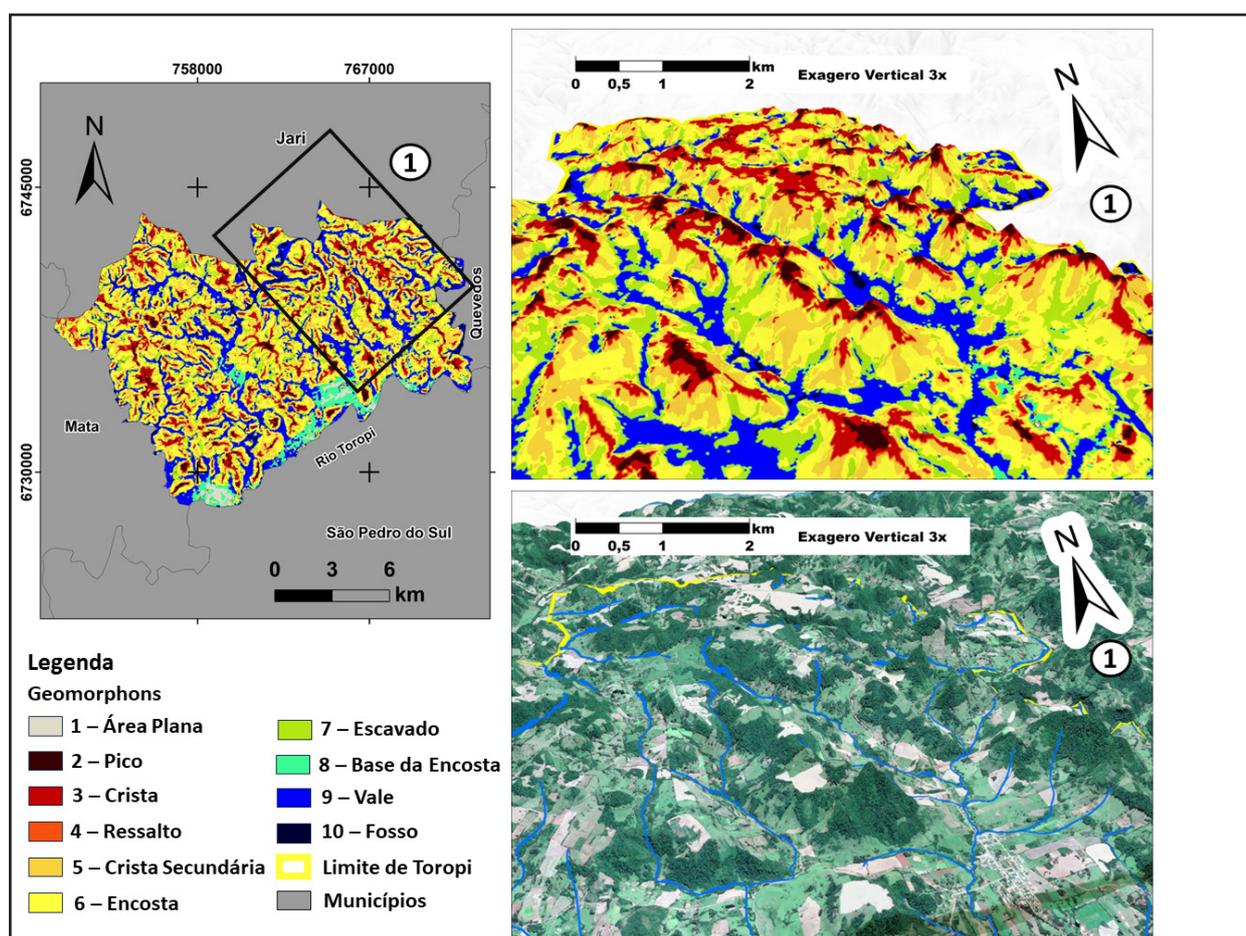
Figura 10 – Fotografias apresentando os principais elementos de relevo observados



Fonte: Os Autores (2022)

A Figura 11 apresenta um recorte no Nordeste do município com observação em 3D. Destaca os elementos Crista (vermelho) e Pico (vermelho escuro) que representam as áreas de topo de morros. Nas áreas mais rebaixadas do relevo são encontrados os elementos de vale (azul) e fosso (azul escuro). O elemento de Encosta (amarelo) são as mais representativas, porém são divididos em pequenas porções e ocorrem em associação com o elemento Base de encosta (verde) que podem representar rampas de colúvio.

Figura 11 – Recortes no Nordeste do município com os elementos de relevo numa representação 3D na área norte do município

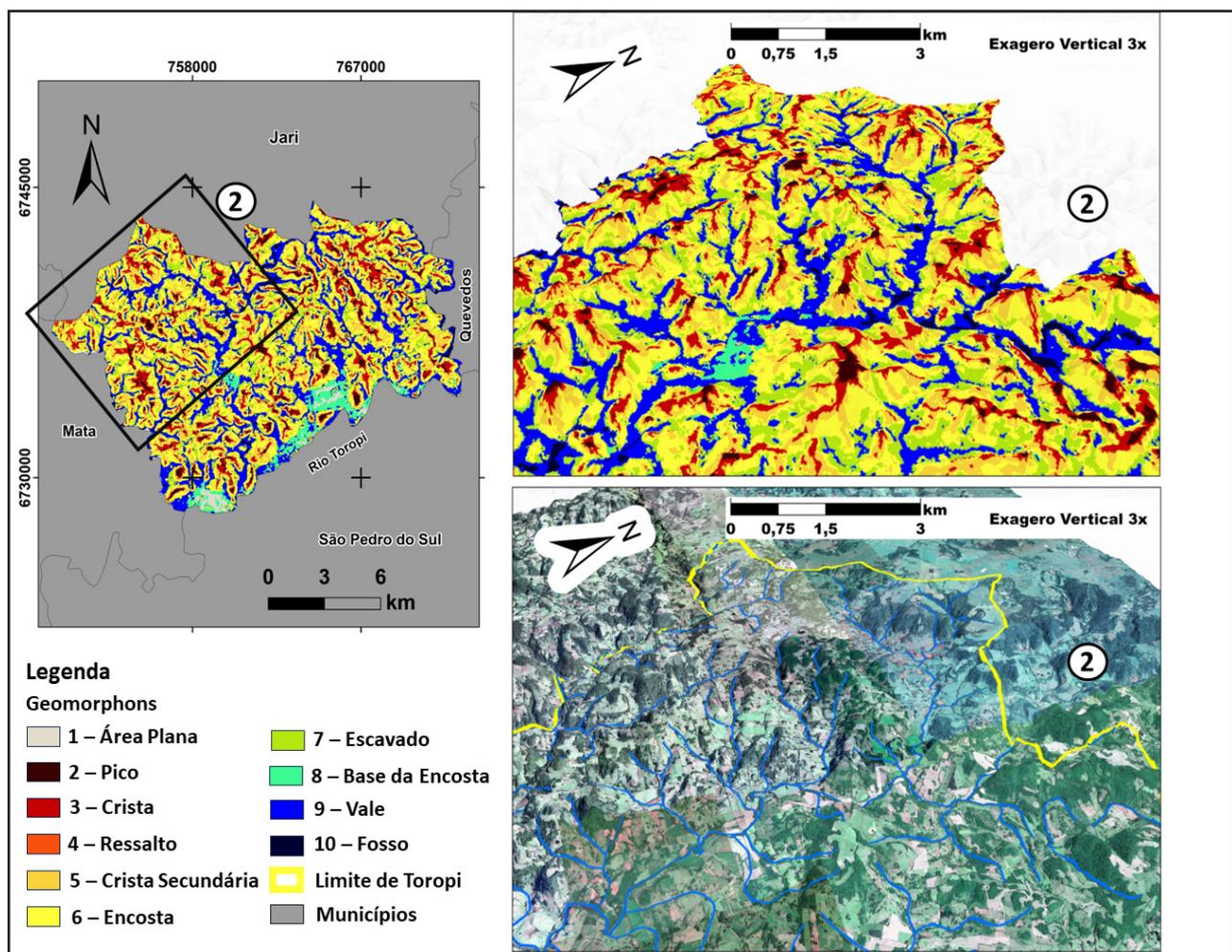


Fonte: Os Autores (2022)

Na porção Noroeste, através da Figura 12, é possível identificar, associado a rede de drenagem, ao elemento vale e, nas partes mais sinuosas do curso hídrico, o elemento fosso. A base de encosta representa porções de depósitos colúvio-aluvial. Na

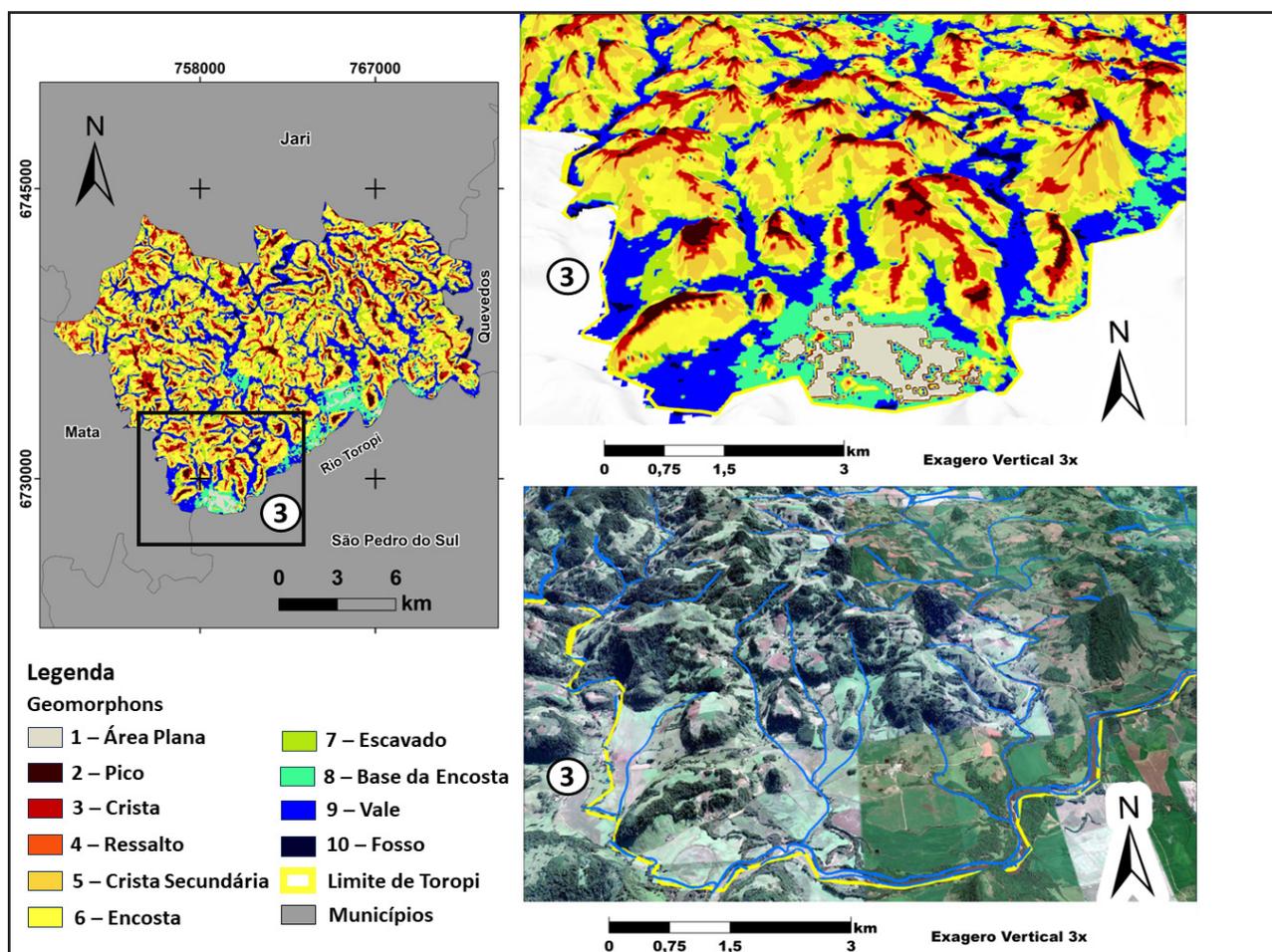
porção Sudeste do município, junto ao canal fluvial do rio Toropi, o relevo aplainado está representado por elementos de base de encosta, elemento plano e os vales amplos. Esses elementos, também, ocorrem com significância, no arroio Sampaio, principal curso d'água que drena a área do município em uma altitude inferiores que 150 metros. A Figura 13 caracteriza estes elementos tendo o elemento Plano utilizado para agricultura pela baixa declividade e a proximidade a água.

Figura 12 – Recorte 2 com apresentação dos elementos do relevo (geomorphons) numa representação 3D



Fonte: Os Autores (2022)

Figura 13 – Recorte 3 com apresentação dos elementos do relevo (geomorphons) numa representação 3D



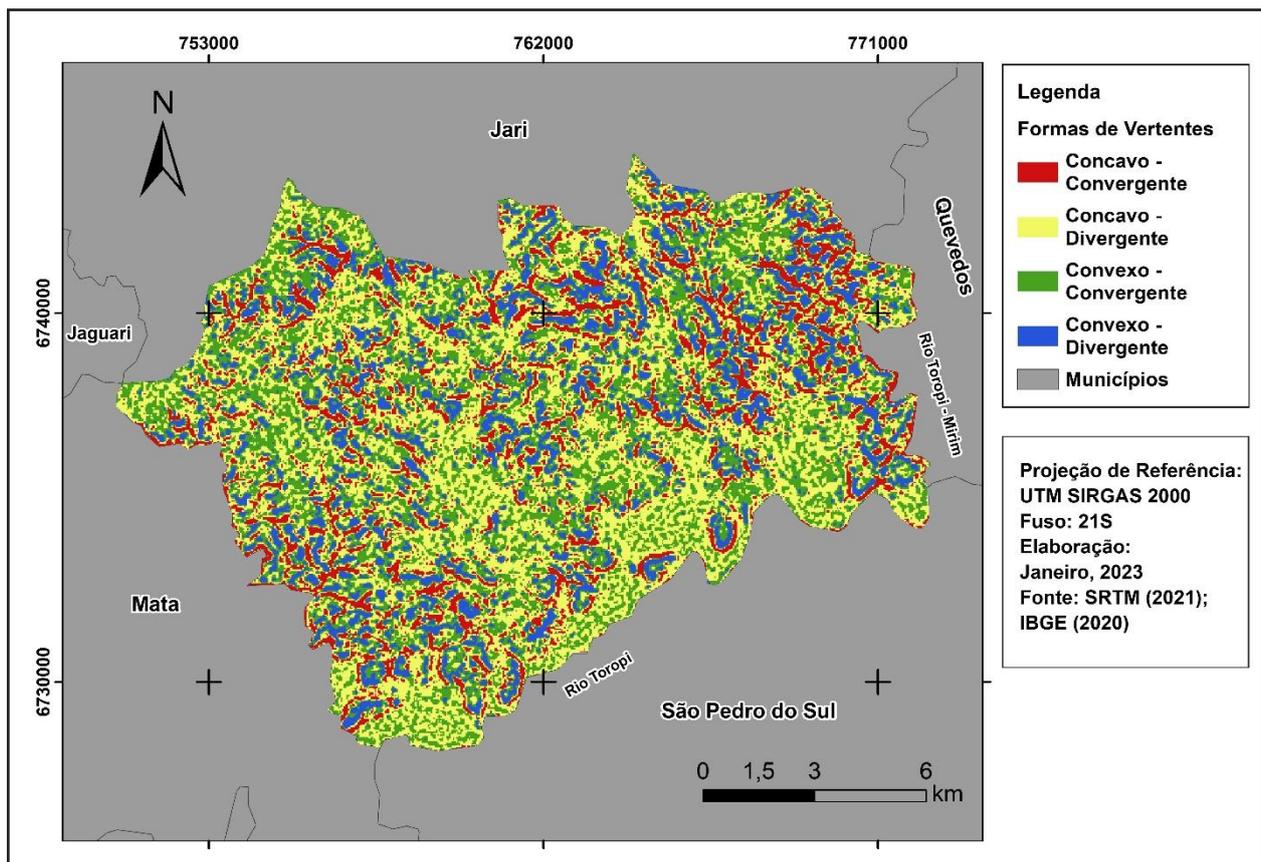
Fonte: Os Autores (2022)

3.3 Elementos de encosta

As encostas são classificadas em 4 classes com base nas observações em plano e em perfil: convexo-convergente, convexo-divergente, côncavo-convergente e côncavo-divergente (Figura 14). A forma que apresenta a maior predominância é a classe côncavo-divergente que representa 39,40% da área total do município (Tabela 4), onde as vertentes concavas caracterizam uma superfície que se curva para dentro, estão associadas as formas de relevo Fortemente Ondulada e Ondulada. A classe de encosta convexo-convergente representa cerca de 31,35% da área total sendo associada as áreas com inclinações que representam as formas de Morros e Morrotes e Fortemente Ondulado distribuídas por todo o município.

As áreas que apresentam a forma convexo-divergente estão localizadas nas áreas de topo caracterizando as regiões com a forma de relevo de Morros e morrotes e Morros Isolados, associados aos elementos de crista e pico, com 14,32% da área do município. A forma de vertente côncavo-convergente representa cerca de 14,93% da área estando associados aos canais dos cursos d'água localizados do alta à médio curso.

Figura 14 – Mapa das formas de encostas no município de Toropi, RS



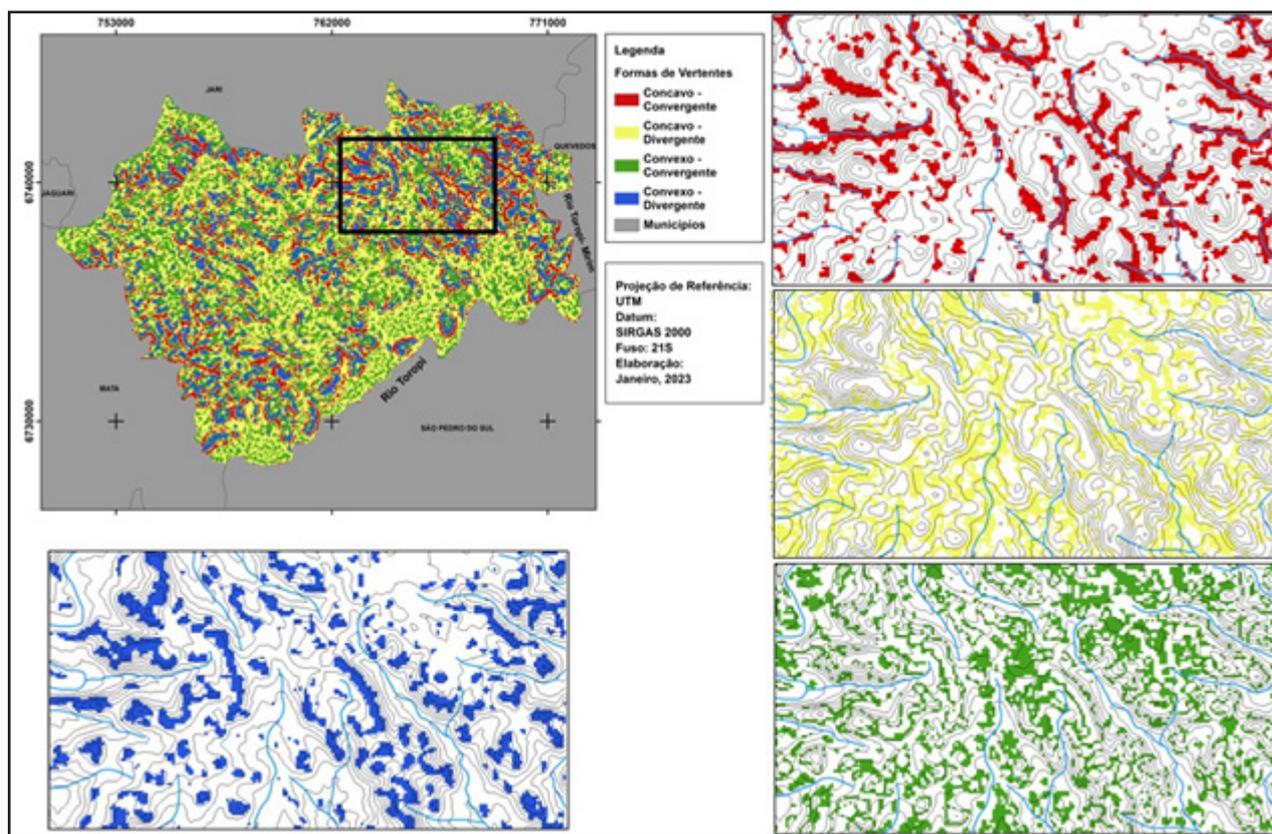
Fonte: Os Autores (2023)

Tabela 4 – Classes das formas de vertente no município de Toropi, RS

Formas	Área (km ²)	Porecentagem (%)
Concavo - Convergente	30,33	14,93
Concavo - Divergente	80,03	39,40
Convexo - Convergente	63,68	31,35
Convexo - Divergente	29,10	14,32
Total	203,14	100,00

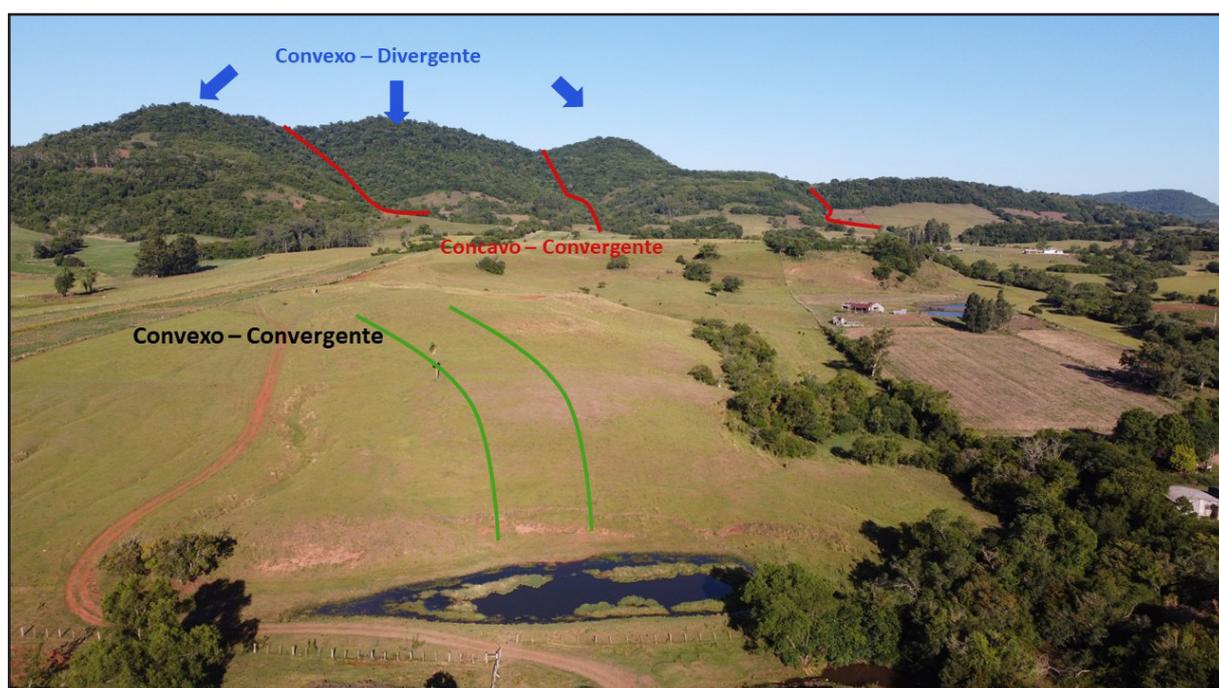
Fonte: Os Autores (2023)

Figura 15 – Recorte das formas das vertentes



Fonte: Os Autores (2023)

Figura 16 – Fotografias apresentando os principais elementos de relevo observado



Fonte: Os Autores (2023)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos parâmetros geomorfométricas como altimetria, declividade, amplitude e análise de perfil e plano permite identificar formas de relevo, elementos do relevo (geomorphons) e as formas de encostas que definem a compartimentação do relevo no município de Toropi. O município de Toropi tem como principal forma de relevo as Colinas fortemente onduladas que se caracterizam pela presença em proporção semelhante dos elementos de encosta, vale e crista. Em relação as formas de vertente apresentam a maior predominância das vertentes côncavas-divergentes que apresentam curvas para dentro e que localizadas nas áreas de encosta, seguida pela forma de vertente convexa-convergente que se associa a áreas de pico e crista.

O relevo e os materiais que compõem as encostas exercem forte influência no uso e ocupação do solo e por isso estudos de compartimentação do relevo, tem potencial para ser utilizada em trabalhos de levantamento e planejamento visto que a diversidade. O desenvolvimento cada vez maior de geotecnologias associadas a incorporação de procedimentos e técnicas que auxiliem na análise do relevo permite produzir associações de diferentes parâmetros físicos auxiliando na identificação dos processos superficiais e análises ambientais, através da interpretação de modelos digitais de elevação que auxiliam na compreensão da compartimentação do relevo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da FAPERGS e CNPq.

REFERÊNCIAS

ATKINSON, J.; DE CLERCQ, W.; ROZANOV, A. Multi-resolution soil-landscape characterization in KwaZulu Natal: Using geomorphons to classify local soils for improved digital geomorphological modelling. **Geoderma Regional**, v. 22, p. e00291, 1 set. 2020.

BORTOLINI, W.; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. EMPREGO DE TÉCNICAS GEOMORFOMÉTRICAS NA IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE RELEVO. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, n. 0, p. 131-150, 28 ago. 2017.

CHEA, H.; SHARMA, M. Residential segregation in hillside areas of Seoul, South Korea: A novel approach of geomorphons classification. **Applied geography**, 2019.

DIKAU, R. The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Ed.). **Three-dimensional applications in geographic information systems**. New York: Taylor and Francis, p.51-77, 1989.

DIKAU, R.; BRABB, E. E.; MARK, R. K.; PIKE, R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico. **Zeitschrift fur Geomorphologie Supplementband**. p.109-126, 1995.

DUTRA, D. DA S.; FURLAN, A. R.; ROBAINA, L. E. DE S. Compartimentação dos elementos do relevo da bacia hidrográfica do arroio Pantanoso – Canguçu/RS, através da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 713–726, 17 abr. 2020.

FURLAN, A. R.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. DE S. CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS DO RELEVO A PARTIR DA METODOLOGIA DOS GEOMORPHONS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APUAË-MIRIM, RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 32, p. 27–45, 28 dez. 2018.

HAMMOND, E. H. WHAT IS A LANDFORM? SOME FURTHER COMMENTS. **The Professional Geographer**, v. 17, n. 3, p. 12–14, 1 maio 1965.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: A model of soil Genesis. **Geoderma**, v. 13, n. 1, p. 1–22, 1 fev. 1975.

JASIEWICZ, J.; NETZEL, P.; STEPINSKI, T. F. Landscape similarity, retrieval, and machine mapping of physiographic units. **Geomorphology**, v. 221, p. 104–112, 15 set. 2014.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Geomorphons — a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147–156, 15 jan. 2013.

JULESZ, B. A brief outline of the texton theory of human vision. **Trends in Neurosciences**, v. 7, n. 2, p. 41–45, 1 fev. 1984.

KRAMM, T.; HOFFMEISTER, D.; CURDT, C.; MALEKI, S.; KHORMALI, F.; KEHL, M. Accuracy Assessment of Landform Classification Approaches on Different Spatial Scales for the Iranian Loess Plateau. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 11, p. 366, nov. 2017.

LOBECK, A. K. **Geomorphology: An Introduction to the Study of Landscapes**. n. 4. London: McGraw-Hill Publishing Co. Ltd, 1940.

PIKE, R. J. Geomorphometry -diversity in quantitative surface analysis. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 24, n. 1, p. 1–20, 1 mar. 2000.

PIKE, R. J. Geomorphometry: progress, practice and prospect. **Zeitschrift fur Geomorphologie NF SupplementBand**, v. 101, p. 221–238, 1995.

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S; SCCOTI, A. APPLICATION OF THE CONCEPT OF GEOMORPHONS TO THE LANDFORM CLASSIFICATION IN TOCANTINS STATE, BRAZIL. **RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, n. 0, p. 37–48, 28 ago. 2017.

ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R.; BAZZAN, T.; RECKZIEGEL, E. W.; VERDUM, R.; DE NARDIN, D. COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IBICUÍ, RIO GRANDE DO SUL, BRASIL: PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, 24 set. 2010.

ROBAINA, L. E. de 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**, [S. l.], v. 17, n. 2, 2016. DOI: 10.20502/rbg.v17i2.857. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/857>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento – Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000.

SCCOTI, A. A. V.; ROBAINA, L. E. de S.; TRENTIN, R. DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE RELEVO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÃ DA ARMADA-SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 16, n. 54, p. 35–48, 2015. DOI: 10.14393/RCG165428268. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/28268>. Acesso em: 9 dez. 2022.

SCHEREN, R. S.; ROBAINA, L. E. de S. Classificação geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Ijuí, RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, [S. l.], v. 23, p. e1, 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/30262>. Acesso em: 19 set. 2022.

SILVEIRA, C. T. da; SILVEIRA, R. M. P.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de 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. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1263>. Acesso em: 11 jul. 2022.

SILVEIRA, R.P.M., SILVEIRA, C. T, C.; OKA-FIORI, C. EMPREGO DE TÉCNICAS DE INFERÊNCIA ESPACIAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE UNIDADES DE RELEVO APOIADO EM ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS E ÁRVORE DE DECISÃO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 15, n. 1, 2014. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/433>. Acesso em: 9 fev. 2022.

SILVEIRA, R.P.M., SILVEIRA, C. T. Clasificación morfológica del relieve uruguayo basada en modelos digitales de elevación y técnicas morfométricas. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*. **GESIG-UNLU**, Luján: n. 6, Sección I: p.19-36, 2014.

SPEIGHT, J. G. A parametric approach to landform regions. In: **Progress in Geomorphology, Special Publication**, Institute of British Geographers, Oxford: Alden & Mowbray Ltd at the Alden Press, . 1974. p. 213–. 1974.

USGS. United States Geological Survey. **SRTM 1 Arc-Second Global**. 2000. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acesso em: 25 jul. 2021.

Contribuições de autoria

1 – Wílson Oliveira da Silva

Universidade Federal de Santa Maria, Mestrando em Geografia

<https://orcid.org/0000-0003-3018-0156> • wilson.silva98@hotmail.com

Contribuição: Análise dos dados - Metodologia – Redação – Rascunho Original – Revisão e edição- Validação

2 – Romario Trentin

Universidade Federal do Paraná, Doutor em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-0615-2801> • romario.trentin@gmail.com

Contribuição: Análise dos dados - Metodologia – Redação – Revisão e edição- Validação

3 – Luis Eduardo de Souza Robaina

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Doutor em Geociências

<https://orcid.org/0000-0002-2390-6417> • lesrobaina@yahoo.com.br

Contribuição: Análise dos dados - Metodologia – Redação – Revisão e edição- Validação

Como citar este artigo

SILVA, W. O.; TRETIN, R.; ROBAINA, L. E. S.;. Análise do relevo a partir de parâmetros geomorfométricos obtidos em análise automatizada no município de Toropi/ RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 27, e74261, p. 1-24, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/223649947426>, doi: 10.5902/2236499474261. Acesso em: dia mês abreviado. ano.