

MODELAGEM DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS COM SIG: UMA ANÁLISE DAS FORMAS DE RELEVO DO MUNICÍPIO DE UNISTALDA/RS¹

MODELING OF MORPHOMETRIC PARAMETERS WITH GIS: AN ANALYSIS OF THE FORMS OF RELIEF OF THE MUNICIPALITY OF UNISTALDA/RS

Igor da Silva KNIERIN²

Romario TRENTIN³

Luís Eduardo de Souza ROBAINA⁴

Resumo: As formas do relevo da superfície terrestre representam o resultado da atuação dinâmica e conjunta dos agentes endógenos e exógenos e seu estudo é importante para o planejamento e ordenamento territorial do espaço geográfico e para o uso e ocupação da terra dos diferentes ambientes. Este artigo possui como objetivo o estudo das formas de relevo do município de Unistalda - RS - Brasil a partir da análise integrada de parâmetros morfométricos. Para isso, foi utilizado um Modelo Digital de Elevação oriundo a imagens de RADAR SRTM processadas e modeladas em ambiente de SIG. A partir disso, foi possível identificar áreas com homogeneidade da paisagem, definidas em: áreas planas associadas aos cursos d'água, colinas com cornijas, colinas de altitude, morrotes isolados e associação de morros e morrotes. Os dados obtidos foram satisfatórios e a definição das unidades de relevo apresenta potencial para o diagnóstico preliminar e indicar incompatibilidades em relação ao uso e ocupação da terra para cada unidade e podem contribuir com o conhecimento da área e para ações de planejamento.

Palavras-Chave: Formas de Relevo, Zoneamento, SIG, Morfometria.

Abstract: The land surface relief forms represent the result of the dynamic and of endogenous and exogenous agents and their study is important for geographic space planning and for the use and occupation of land in different environments. This article has as objective the study of landforms of the municipality of Unistalda - RS - Brazil from the integrated analysis of morphometric parameters. For this, an Digital Elevation Model from the RADAR SRTM images processed was used and modeled in a GIS environment. From this, it was possible to identify areas with landscape homogeneity, defined in: areas of fluvial plain, hills with cornices, altitude hills, isolated hills and association hills. The data obtained were satisfactory and the definition of relief units has potential preliminary diagnosis and indicate incompatibilities in relation to the use and occupation of land for each unit and can contribute to the knowledge of the area and for planning actions.

Keywords: Relief Unit, Zoning, GIS, Morphometry.

¹ Agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor e apoio à pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

² Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: igorknierin@gmail.com.

³ Professor Doutor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). E-mail: romario.trentin@gmail.com.

⁴ Professor Doutor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br.

Introdução

As formas e o modelado do relevo representam o resultado da atuação dinâmica e conjunta dos agentes endógenos e exógenos sobre a superfície da crosta terrestre, e assume importante papel no processo de ocupação do espaço e dos diferentes ambientes (CASSETI, 1994; FLORENZANO, 2008).

Nesse sentido, o relevo apresenta-se como um dos componentes do meio natural com uma diversidade de tipos e formas. Não é possível ignorar esses elementos, independentemente do seu tamanho, e por mais modificados e descaracterizados que sejam em seus constituintes naturais e originais, pois é sobre eles que o ser humano se organiza e (re)produz as diferentes funcionalizações do espaço geográfico (SUERTEGARAY, 2000; BERTOLINI e VALADÃO, 2009; ROSS, 2014).

Atualmente a utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) juntamente com novas técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento com a participação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) possibilitam por meio da extração e análise de variáveis topográficas com posterior tratamento e integração desses dados em ambiente computacional (VALERIANO, 2003; 2008), a identificação e estudo das formas do relevo.

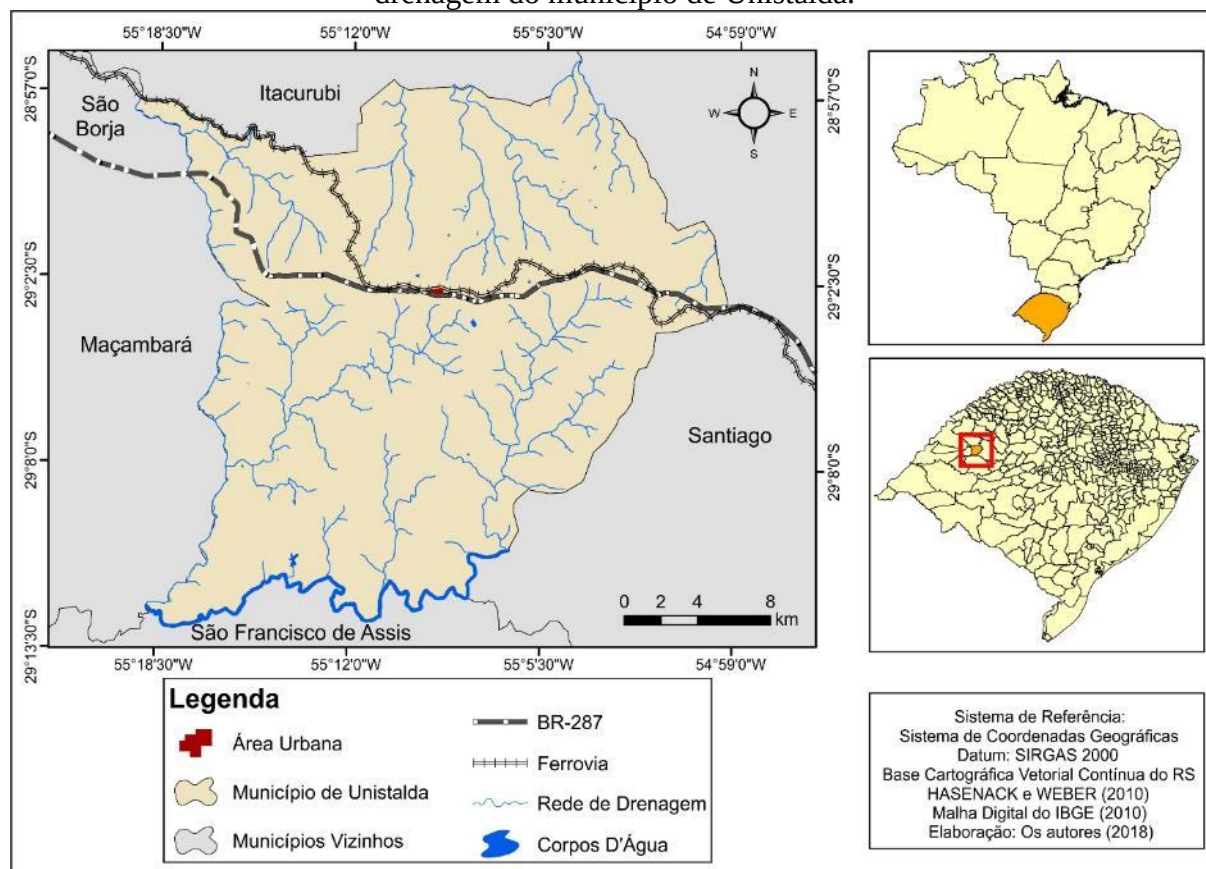
Desse modo, o estudo do relevo passa a apresentar novas dimensões, na medida em que suas análises descritivas se inserem com estudos integrados que consideram a complexidade das superfícies (SILVEIRA e SILVEIRA, 2013). A este respeito, diversos autores (CHRISTOFOLETTI, 1974; MACHADO e TORRES, 2012; CAVALCANTI, 2014; FLORENZANO, 2008; ROSS, 2014) mencionam como atributos importantes a serem analisados, a fase evolutiva, posição, declividade, orientação, amplitude altimétrica, comprimento e curvatura de vertentes, além dos processos superficiais atuais e pretéritos.

Estudos dessa natureza permitem diferentes aplicações, especialmente direcionados ao planejamento e ordenamento territorial para orientar as formas de uso e ocupação da terra. Assim, contribuem para o planejamento tanto em áreas urbanas quanto rurais conforme é retratado nas pesquisas de Girão e Corrêa (2004), Florenzano (2008), Santos Filho (2011), Guerra e Marçal (2014), Ross (2014), entre outros.

Integrado a essa temática, o presente artigo possui como objetivo estudar as formas de relevo para o município de Unistalda - RS a partir da análise de parâmetros morfométricos em ambiente de SIG que permitiram definir diferentes unidades de relevo. O município de Unistalda se localiza no Brasil Meridional, no centro-oeste do estado do Rio Grande do Sul, situado entre as coordenadas geográficas 54°59'18.05" a 55°19'17.18" de longitude oeste e 28°56'6.99" a 29°12'51.77" de latitude sul, de acordo com a Figura 1.

A área de estudo constitui uma transição entre o Planalto da Serra Geral e a Depressão Periférica do Rio Grande do Sul (ROBAINA et al., 2010) e individualiza-se sobre os compartimentos do Planalto das Missões e da Depressão do Ibicuí. Atribuído aos compartimentos geomorfológicos e processos atuantes, constituem a área uma diversidade em formas de relevo, como áreas de morros, morrotes, colinas e áreas planas, como também em feições representadas por cornijas e processos erosivos lineares.

Figura 1. Mapa de localização com a área urbana, principais vias de acesso e rede de drenagem do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

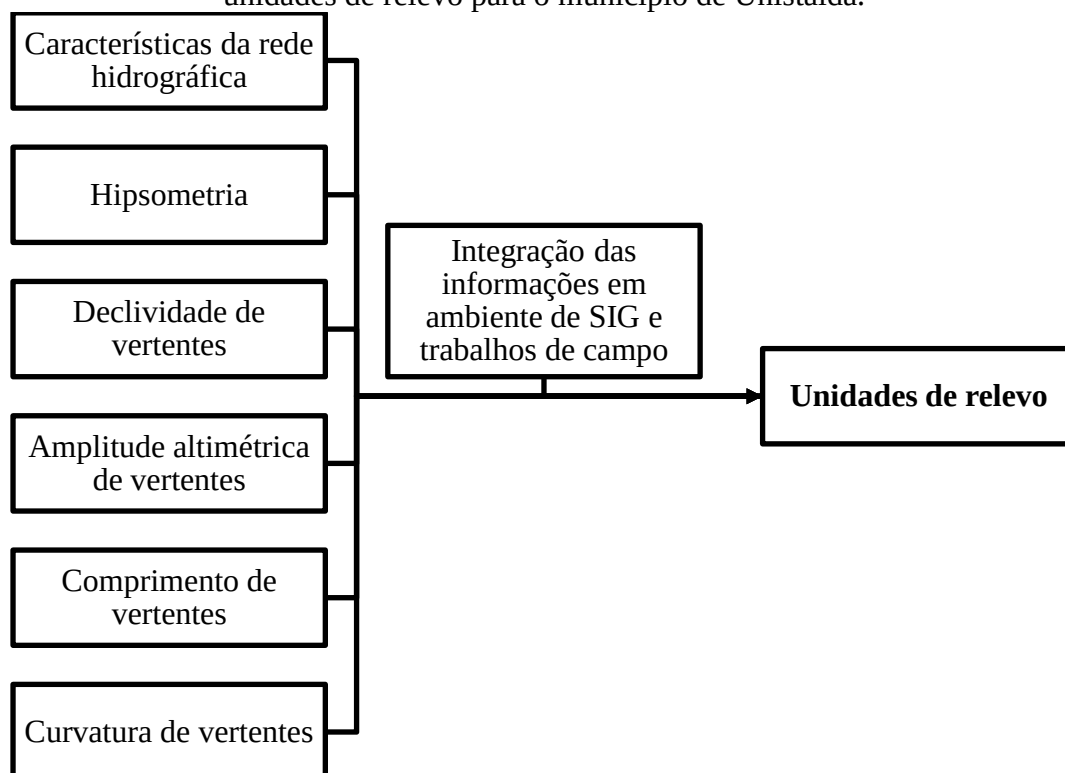
Materiais e Métodos

Esta pesquisa foi realizada a partir da modelagem em ambiente de SIG (ArcGIS® 10.1) de parâmetros morfométricos da rede hidrográfica (área de drenagem, comprimento total de canais fluviais, densidade de drenagem, hierarquia fluvial, padrão de drenagem e setorização de sistemas de drenagem) e do relevo (hipsometria, declividade, amplitude, comprimento e curvatura de vertentes) do município de Unistalda com a finalidade de estabelecer áreas com características homogêneas e dessa forma definir unidades de relevo, de acordo com fluxograma da Figura 2.

Para isso, foi utilizado o ArcGIS® 10.1, desenvolvido pela ESRI, e como dados primários imagens de RADAR, oriundas da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial 3 Arc-Second (90 m), obtidas junto ao USGS (*United States Geological Survey*) que posteriormente foram processadas por meio da ferramenta *Fill* disponível no módulo *Spatial Analyst* do SIG.

A opção por imagens de RADAR, com resolução espacial de 3 Arc-Second (90 m) a outras bases de dados como, por exemplo, imagens de RADAR, com resolução espacial de 1 Arc-Second (30 m) ou por curvas de nível e pontos cotados na escala 1:50.000, se deu em razão das imagens de RADAR, com resolução espacial de 3 Arc-Second (90 m), ou seja, a menor resolução espacial, ser a que apresentou menores falhas e melhor veracidade em relação as formas de relevo regionais na área de estudo, conforme corroborado em trabalhos de campo.

Figura 2. Fluxograma indicando as etapas metodológicas de elaboração da definição de unidades de relevo para o município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Para análise da rede hidrográfica foram utilizados os parâmetros morfométricos área de drenagem (A), comprimento total de canais (Lt), densidade de drenagem (Dd), hierarquia fluvial (H) e padrão de drenagem, de acordo como é apresentado no Quadro 1, com o respectivo parâmetro, sua descrição e autor.

Quadro 1. Parâmetros morfométricos utilizados para análise da rede hidrográfica da área de estudo.

Parâmetro morfométrico	Descrição	Autor/Ano
Área de drenagem (A)	Corresponde à área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, em projeção horizontal, inclusa entre os pontos divisores d'água.	Machado e Torres (2012)
Comprimento total de canais (Lt)	Variável dimensional expressa em quilômetros (km), a qual permite uma avaliação primária das alterações em termos de perda ou ganho na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas nas bacias hidrográficas.	Trentin (2011)
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = Lt/A$ Dd: densidade de drenagem Lt: comprimento total dos canais A: área total da BH	Christofolletti (1974)

Parâmetro morfométrico	Descrição	Autor/Ano
Hierarquia Fluvial (H)	O ordenamento dos canais fluviais se estabelece a partir de segmentos de canais sem tributários, que representam canais de primeira ordem. A confluência de dois canais de primeira ordem resulta em um canal de segunda ordem, assim como a confluência de dois canais de segunda ordem resulta em um canal de terceira ordem e assim de forma sucessiva.	Strahler (1952)
Padrão de drenagem	São representados o arranjo espacial dos cursos fluviais mediante a influência de fatores como atividade morfogenética, disposição das camadas rochosas, resistência das litologias, diferenças de declividades do terreno e evolução geomorfológica da região.	Christofolletti (1974)

Fonte: Adaptado de Strahler (1952), Christofolletti (1974) Trentin (2011) e Machado e Torres (2012).

O mapa hipsométrico foi elaborado no ArcGIS® 10.1, e para o mesmo foram adotadas seis classes hipsométricas, de acordo com as variações da morfologia e amplitude altimétrica na área de estudo, conforme apresenta Ferreira (2014): altitudes inferiores 150 m, altitudes entre 150 e 200 m, altitudes entre 200 e 250 m, altitudes entre 250 e 300 m, altitudes entre 300 e 350 m e altitudes superiores a 350 m.

O mapa de declividade foi elaborado com a ferramenta *Slope*, disponível no módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS® 10.1. Foram utilizados três limites de declividades (2%, 5% e 15%) que estão associados ao desenvolvimento de processos de dinâmica superficiais conforme adaptado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981) e de Trentin (2011). Desse modo, se obteve as classes de declividade: inferior a 2%, entre 2 e 5%, entre 5 e 15% e superior a 15%.

A análise das amplitudes altimétricas e dos comprimentos das vertentes foram realizadas a partir da elaboração e análise de perfis topográficos representativos as diferentes unidades de relevo. Os perfis topográficos foram elaborados com as ferramentas *Interpolate Line* e *Profile Graph*, no módulo *3D Analyst* do ArcGIS® 10.1. O *layout* final de quatro perfis topográficos foi organizado no *software* CorelDRAW® X5, desenvolvido pela Corel Corporation.

O mapa de curvaturas das vertentes foi elaborado com a ferramenta *Curvature*, disponível no módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS® 10.1. Os arquivos resultantes deste procedimento foram cruzados com a ferramenta *Combine* do referido SIG, no módulo *Spatial Analyst*. A partir disso, se obteve quatro classes para as curvaturas das vertentes da área de estudo: convexo-divergente, convexo-convergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente.

Por fim, para a definição das unidades de relevo foram adaptadas as propostas de classificação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981) e de estudos realizados na região oeste do Rio Grande do Sul, como de Scoti et al. (2015), Scoti et al. (2016) e Santos et al. (2017), obtendo-se com isso Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros utilizados para a classificação das formas de relevo no município de Unistalda.

Formas de relevo	Declividades	Amplitude altimétrica	Altitude
Áreas planas associadas aos cursos d'água	< 5%	< 100 m	Grande variabilidade
Colinas com cornijas	5 - 15%	< 100 m	< 250 m
Colinas de altitude	5 - 15%	< 100 m	> 250 m
Morrotes isolados	> 15%	< 100 m	Grande variabilidade
Associação de morros e morrotes	> 15%	> 100 m	Grande variabilidade

Fonte: Adaptado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981), Scoti et al. (2015), Scoti et al. (2016) e Santos et al. (2017).

Na definição das unidades de relevo se considerou as variações da declividade, amplitude altimétrica e de altitude das formas do relevo no município. Além disso, considerou-se outros parâmetros morfométricos como da rede hidrográfica, os comprimentos das vertentes e as curvaturas das vertentes para descrição das unidades, assim como, características morfológicas que discriminam cada unidade como, por exemplo, a presença de cornijas.

O zoneamento e mapa de unidades de relevo foi elaborado a partir do processo de vetorização de polígonos das unidades, além da interpretação visual das imagens de satélite ópticas disponibilizadas pelo serviço *Basemap - World Imagery* do ArcGIS® 10.1. Para validação do estudo e análise *in loco* da morfologia e feições superficiais foram realizados trabalhos de campo, em que foram percorridos caminhos e estradas do município e registrados pontos de controle, através do uso do GPS *Garmin Etrex*, com a respectiva descrição e registro fotográfico.

Resultados e Discussão

Análise da Morfometria da Rede Hidrográfica e do Relevo

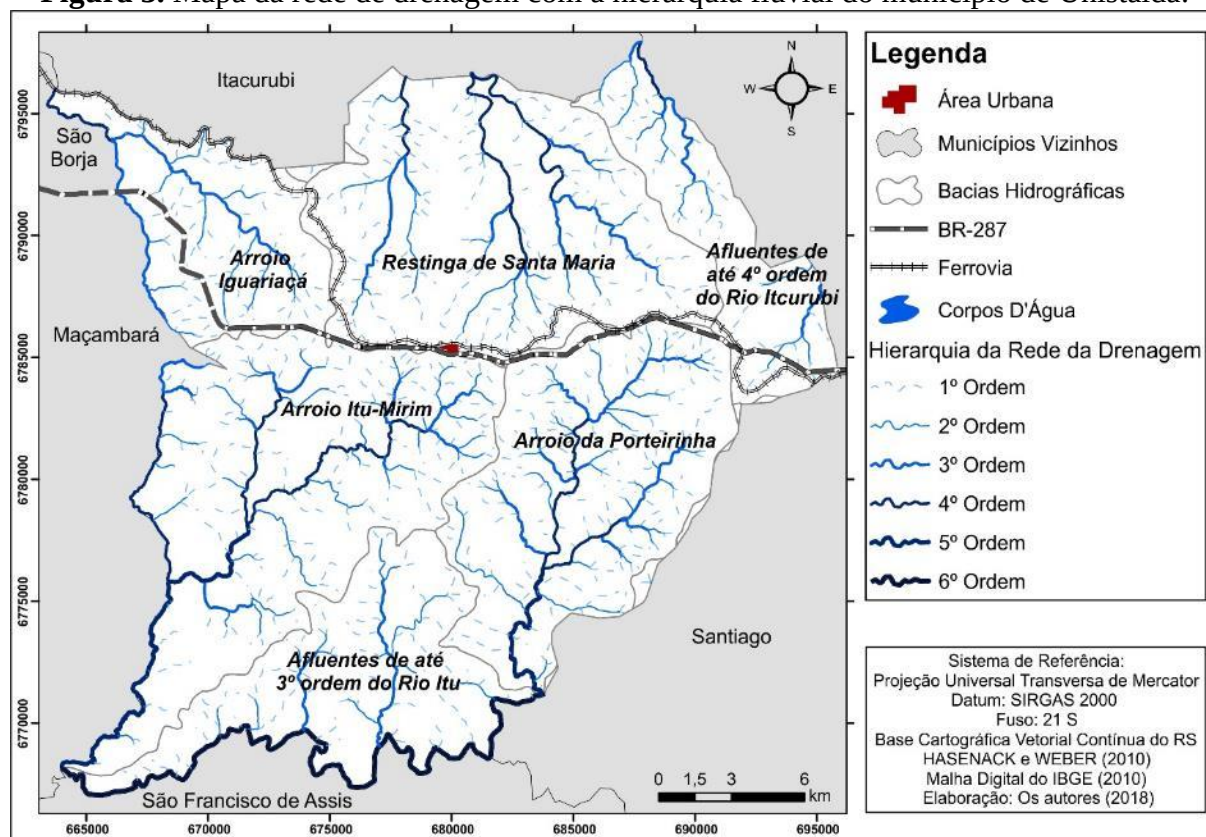
Rede Hidrográfica

O município de Unistalda está situado na Região Hidrográfica do Rio Uruguai, e é drenado por duas grandes bacias de escala regional. Compreende na sua porção norte a Bacia Hidrográfica do Rio Icamauã e a Bacia Hidrográfica do Rio Itu ao sul. A área total de contribuição do município a estes dois sistemas é de 602,38 km², apresenta de maneira geral um padrão de drenagem retangular-dendrítico, nos quais se distribuem 728 segmentos de canais fluviais, que juntos somam o comprimento de 842,67 km e uma densidade de drenagem de 1,40 km/km².

Na área do município foram individualizadas seis áreas de drenagem, representadas a partir do arroio Itu-Mirim, arroio da Porteirainha, afluentes de até 3º ordem do rio Itu, arroio Iguariaçá, restinga de Santa Maria e afluentes de até 4º ordem do rio Itacurubi, conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 3. Na Tabela 1 é apresentado uma síntese dos parâmetros morfométricos para a rede hidrográfica para o município e aos sistemas hidrográficos, como área em porcentagem no município (AM), área de drenagem (A), número total de segmentos

de canais (L), comprimento total de canais (Lt), densidade de drenagem (Dd) e hierarquia fluvial (H).

Figura 3. Mapa da rede de drenagem com a hierarquia fluvial do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Tabela 1. Parâmetros morfométricos dos sistemas de drenagem do município de Unistalda.

Área de análise	AM	A	L	Lt	Dd	H
Arroio Itu-mirim	24,82%	149,50 km ²	196	213,02 km	1,42 km/km ²	5º
Restinga de Santa Maria	23,87%	143,80 km ²	135	174,66 km	1,21 km/km ²	5º
Arroio da Porteirainha	19,24%	115,92 km ²	196	185,82 km	1,60 km/km ²	5º
Afluentes de até 3º ordem do rio Itu	13,75%	82,82 km ²	79	84,56 km	1,02 km/km ²	3º
Arroio Iguariaçá	9,88%	59,50 km ²	62	88,82 km	1,49 km/km ²	4º
Afluentes de até 4º ordem do rio Itacurubi	8,44%	50,84 km ²	59	60,67 km	1,19 km/km ²	4º
Totais para área do município	100%	602,38 km ²	728	842,67 km	1,40 km/km ²	6º

Legenda: Área em porcentagem no município (AM), Área de drenagem (A), Número total de segmentos de canais (L), Comprimento total de canais (Lt), Densidade de drenagem (Dd), Hierarquia Fluvial (H).

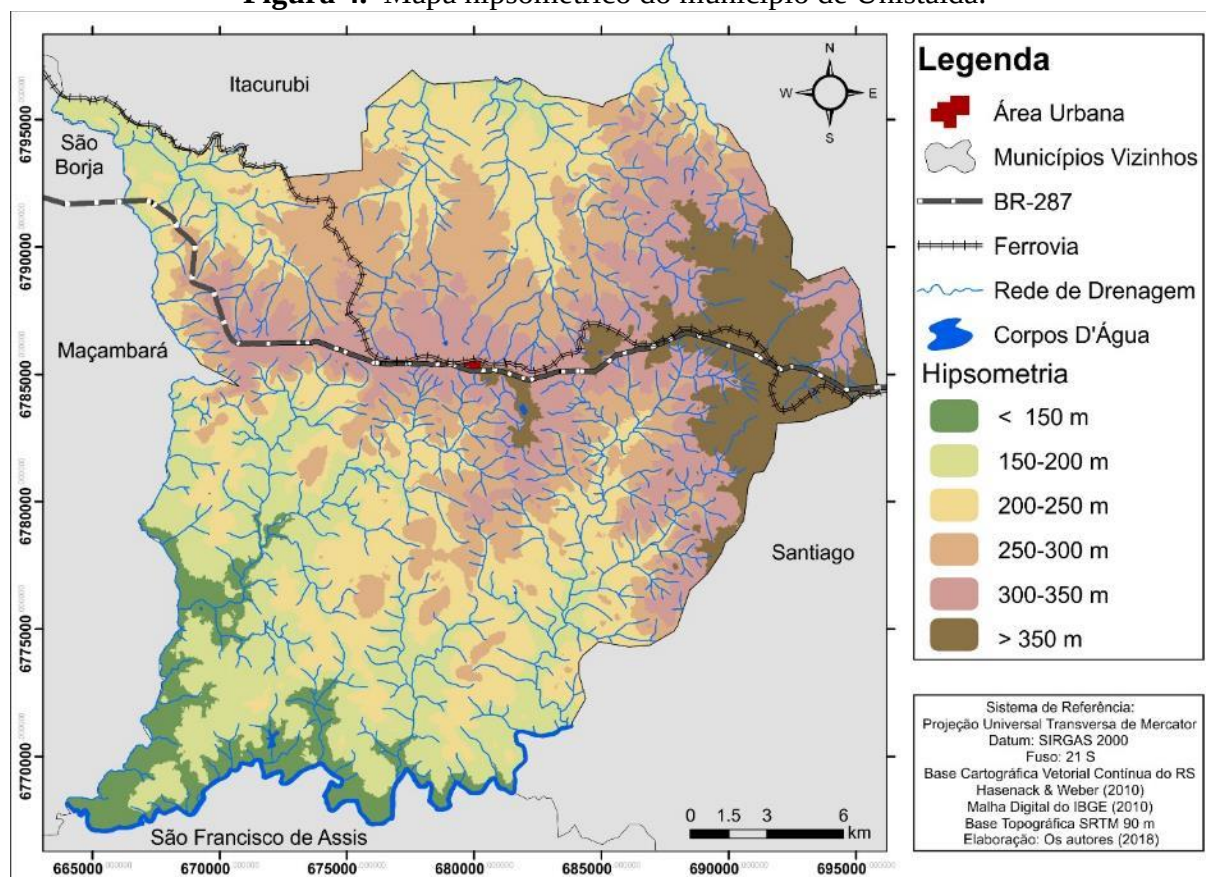
Fonte: Os autores (2018).

Hipsometria do Relevo

Com relação a altimetria o município de Unistalda apresenta como menor altitude 120 m localizado a sudoeste, junto ao rio Itu e altitude máxima de 426 m localizada em porção leste do município junto ao seu limite com Santiago, e dessa forma, confere amplitude altimétrica de 306 m.

A partir da Figura 4 e da Tabela 2 pode ser visualizado a distribuição espacial e a quantificação das classes hipsométricas na área do município.

Figura 4. Mapa hipsométrico do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Tabela 2. Quantificação das classes hipsométricas do município de Unistalda.

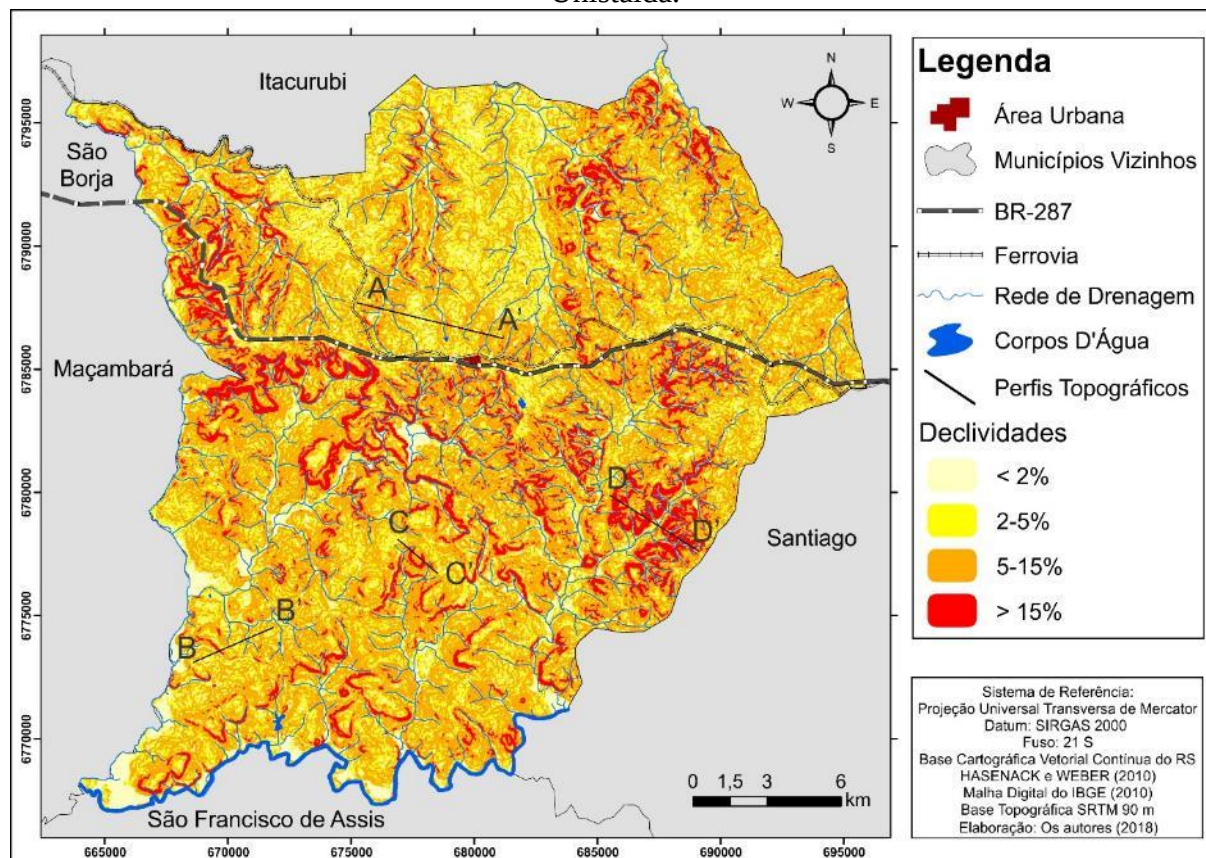
Classes hipsométricas	Área em km ²	Área em %
< 150 m	37,43	6,21
150 - 200 m	120,99	20,09
200 - 250 m	153,50	25,48
250 - 300 m	134,90	22,40
300 - 350 m	101,16	16,79
> 350 m	54,41	9,03

Fonte: Os autores (2018).

Declividade das Vertentes

As declividades das vertentes podem ser visualizadas a partir da Figura 5 e na Tabela 3 com a respectiva espacialização e quantificação das mesmas, como também a distribuição dos perfis topográficos A-A', B-B', C-C' e D-D'.

Figura 51. Mapa de declividade e de localização dos perfis topográficos do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Tabela 3. Quantificação das classes de declividade do município de Unistalda.

Classes de declividade	Área em km ²	Área em %
< 2%	70,32	11,67
2-5%	151,24	25,11
5-15%	316,72	52,58
> 15%	64,10	10,64

Fonte: Os autores (2018).

As declividades inferiores a 2% correspondem a 11,67% da área do município e se associam aos canais principais da rede hidrográfica em áreas de planícies. A classe de declividades entre 2 e 5%, cobre 25,11% da área total e se localizam na faixa centro-norte do município, nas terras drenadas principalmente pelo arroio Iguariaçá e restinga de Santa Maria e marcam vertentes levemente onduladas.

A classe de declividades entre 5 e 15%, corresponde a 52,58% do total da área de estudo. Em relação aos processos superficiais, observa-se na faixa oeste, sudoeste e sul do município em locais drenados pelo arroio Itu-Mirim e afluentes de até 3º ordem do rio Itu, integrado as declividades superiores a 5%, a espacialização de processos erosivos lineares como sulcos, ravinas e voçorocas e, em sua maioria, se apresentam conectados à rede hidrográfica, junto aos canais fluviais de primeira ordem.

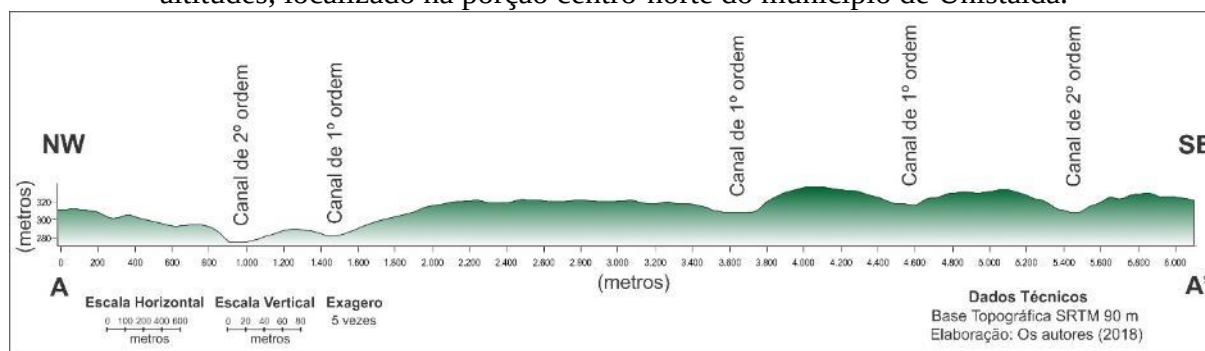
Por fim, a classe de declividades superiores a 15% representa 10,64% da área total do município. Essa classe localiza-se em faixa que se estende de noroeste a sudeste, assim como em porções a nordeste, com formas de relevo escarpado ou em formas como morrotes e feições superficiais do tipo cornijas ao sul do município.

Perfis Topográficos: Amplitude e Comprimento das Vertentes

Os comprimentos e as amplitudes altimétricas das vertentes de setores representativos as formas de relevo na área de estudo, podem ser observados a partir de uma série de quatro perfis topográficos (A-A', B-B', C-C' e D-D') localizados na Figura 5.

Na área situada na porção centro-norte do município, é representado o perfil topográfico A-A' (Figura 6), com orientação no sentido noroeste-sudeste e altitudes que ultrapassam os 320 m. Nessa área se observa a associação de relevo levemente ondulado a ondulado, em vertentes com amplitudes altimétricas que variam de 20 a 40 m e comprimentos em vertentes mais curtas com 200 m em uma faixa próxima de confluência de segmentos de canais fluviais, como também em comprimentos de até 1000 m em vertentes mais longas.

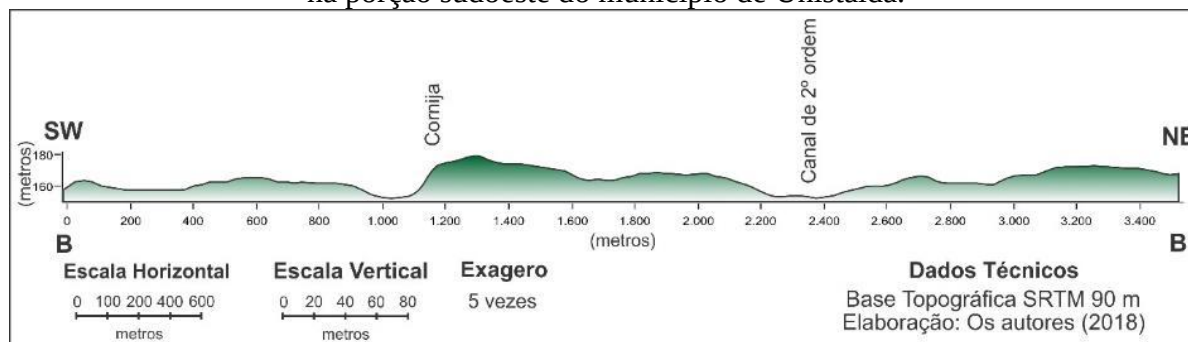
Figura 62. Perfil topográfico A-A', caracterizando um relevo de colinas em elevadas altitudes, localizado na porção centro-norte do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Situado na porção sudoeste do município de Unistalda, observa-se o perfil topográfico B-B' (Figura 7), com orientação no sentido sudoeste-nordeste, e altitudes inferiores aos 180 m. As vertentes apresentam amplitudes altimétricas entre 15 a 20 m e comprimentos de até 600 m. Neste perfil pode ser observado um relevo ondulado com a presença de uma feição superficial do tipo cornija.

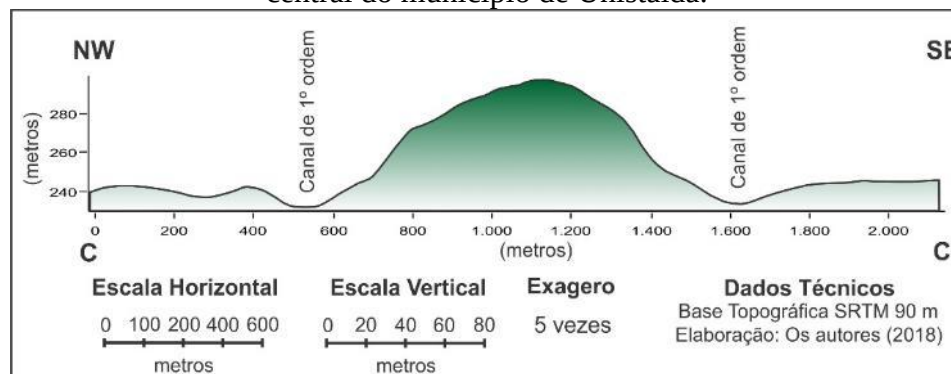
Figura 7. Perfil topográfico B-B', caracterizando um relevo de colina com cornija, localizado na porção sudoeste do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Na porção central do município localiza-se o perfil C-C' (Figura 8), com orientação no sentido noroeste-sudeste e que representa o recorte transversal de uma elevação isolada, com altitudes do topo da vertente superiores aos 280 m, amplitude altimétrica de 50 m, declividade superior a 15% e comprimento de 400 m aproximadamente.

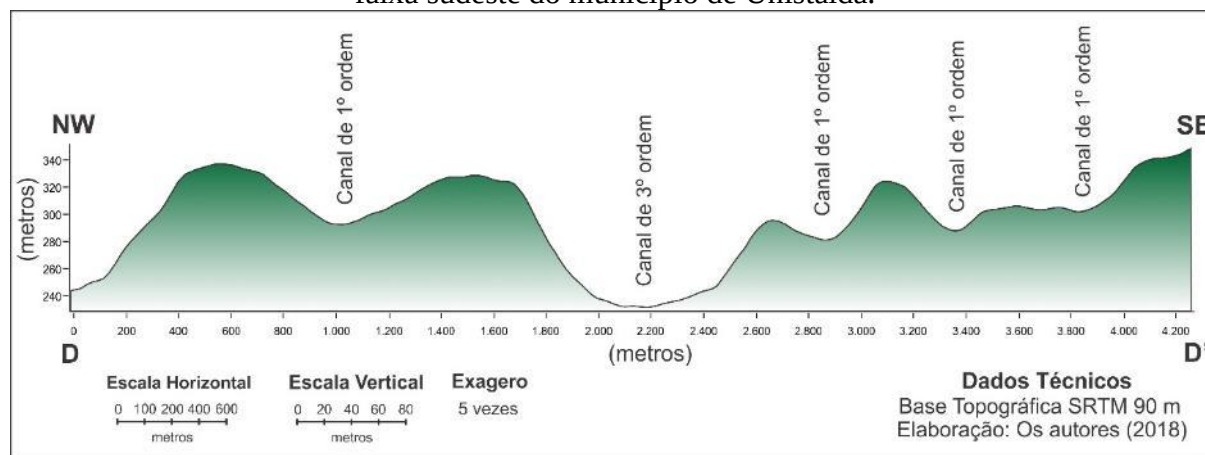
Figura 8. Perfil topográfico C-C' caracterizando uma área com morrote isolado em faixa central do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

O Perfil D-D' (Figura 9), localizado na porção sudeste do município, apresenta o recorte transversal do terreno com orientação no sentido noroeste-sudeste, com altitudes que ultrapassam os 320 m. Neste perfil se apresenta um relevo fortemente ondulado, marcado por vertentes íngremes e escarpadas, com declividades superiores a 15%, vales encaixados, amplitudes altimétricas variadas, que em alguns locais ultrapassam os 100 m e os comprimentos de até 600 m.

Figura 9. Perfil topográfico D-D' caracterizando área de associação de morros e morrotes em faixa sudeste do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Curvatura das Vertentes

As curvaturas das vertentes do município de Unistalda podem ser visualizadas por meio do mapa da Figura 10 e na Tabela 4 com a quantificação e a distribuição espacial das classes na área de estudo.

A classe representada por formas convexo-divergente cobre 31,59% da área do município. Corresponde, predominantemente, a porção de topo até o segmento médio das

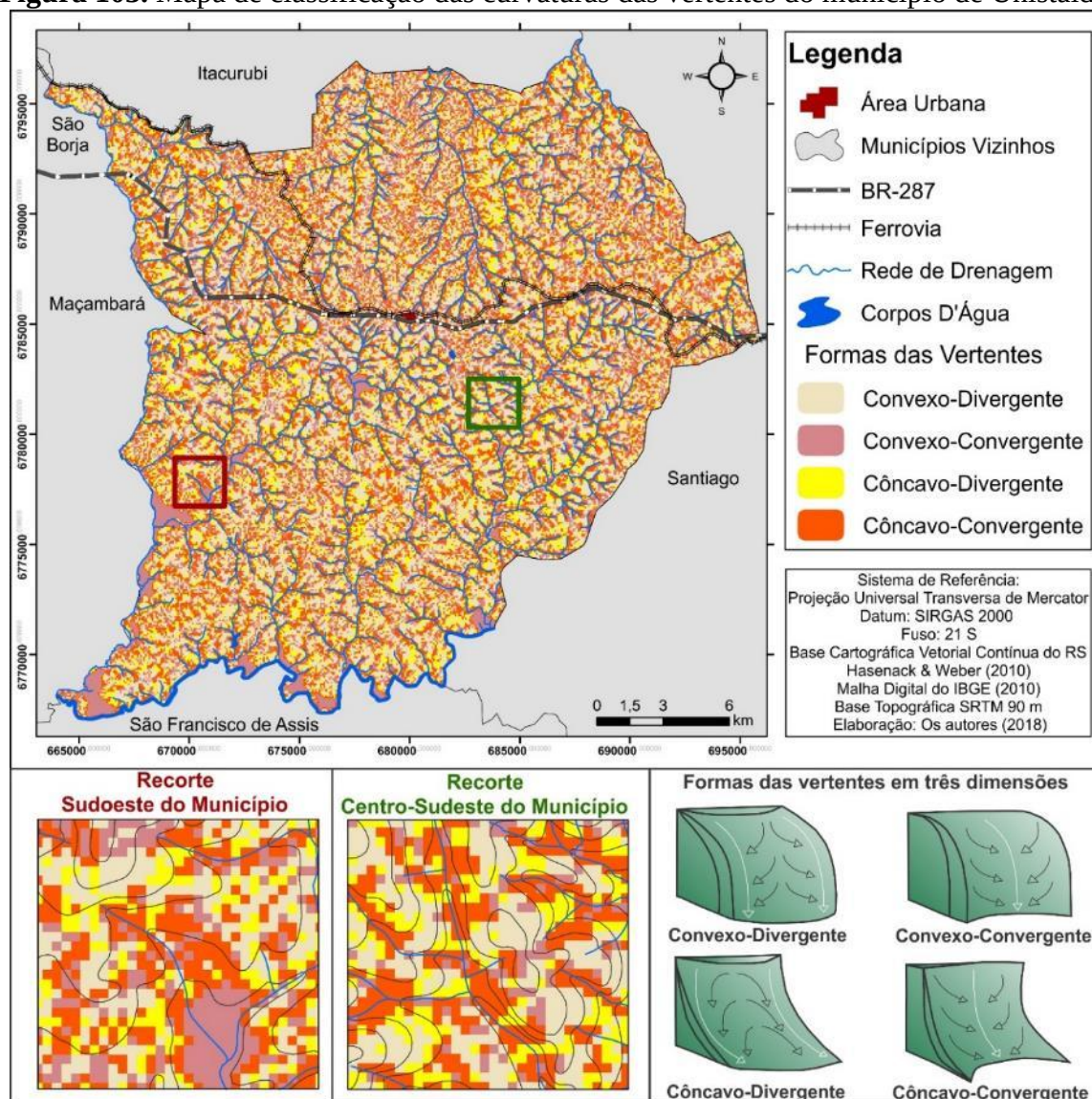
vertentes, e caracterizam-se pelo aumento da energia de fluxo, em direção a base associado a máxima dispersão.

Por sua vez, a classe convexo-convergente cobre 18,43% da área de estudo, e corresponde, principalmente, as porções mais encaixadas dos canais fluviais.

Já a classe côncavo-divergente distribui-se em 16,91% da área do município, são recorrentes a partir do segmento médio até a base das vertentes, relacionando-se as áreas de planície com processos predominantes de dispersão dos fluxos.

Por fim, a classe de curvatura côncavo-convergente cobre 33,07% da área de estudo, corresponde do segmento médio até a base das vertentes, caracterizando-se pelo acúmulo e concentração máxima dos fluxos de escoamento. Nos sistemas de drenagem correspondem ao leito dos segmentos de canais fluviais, sendo bem marcada essa característica principalmente aos de menor hierarquia, como de primeira e segunda ordem.

Figura 103. Mapa de classificação das curvaturas das vertentes do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Tabela 4. Quantificação das curvaturas das vertentes do município de Unistalda.

Classes de vertentes	Área em km ²	Área em %
Convexo-divergente	190,30	31,59

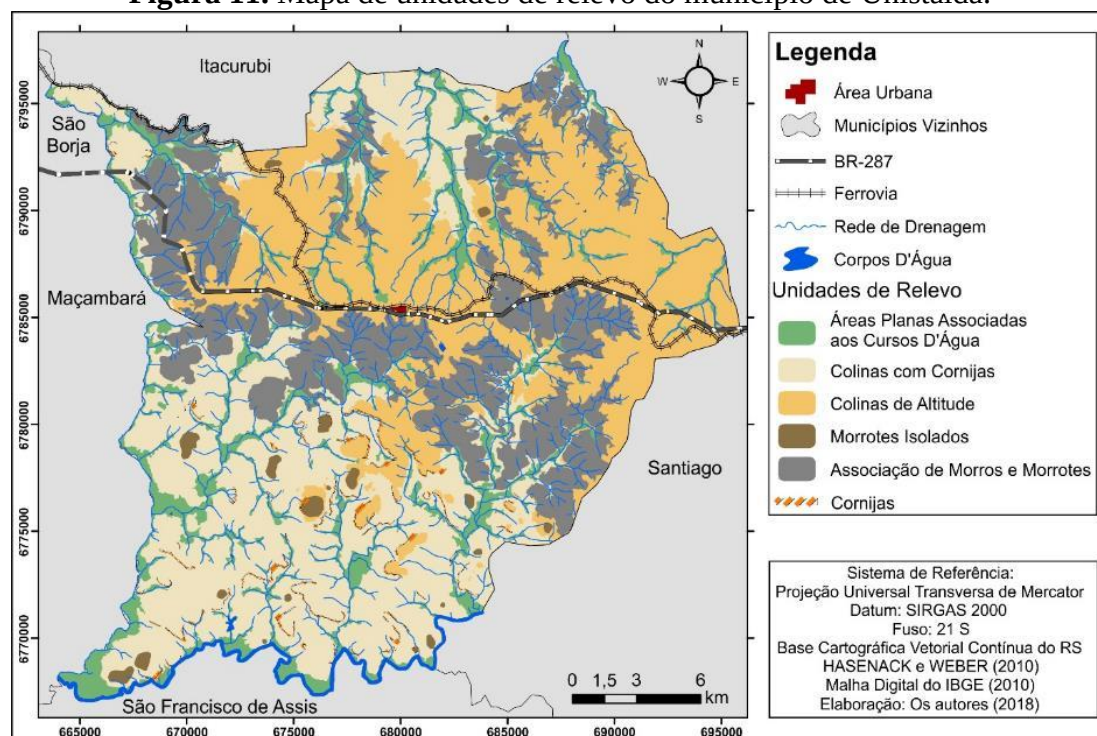
Classes de vertentes	Área em km ²	Área em %
Convexo-convergente	111,01	18,43
Côncavo-divergente	101,85	16,91
Côncavo-convergente	199,22	33,07

Fonte: Os autores (2018).

Unidades de Relevo

O estudo do relevo para o município de Unistalda foi realizado com base na análise integrada de diferentes variáveis morfométricas do relevo, as quais possibilitaram a definição de cinco áreas com padrões de formas e processos semelhantes. A partir do mapa da Figura 11 e do Quadro 3 pode ser visualizado, respectivamente, a distribuição espacial das unidades de relevo para a área de estudo, assim como as variáveis morfométricas e vulnerabilidades ambientais associadas ao uso e ocupação da terra.

Figura 11. Mapa de unidades de relevo do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2018).

Quadro 3. Distribuição das variáveis morfométricas e vulnerabilidades ambientais associadas ao uso e ocupação da terra nas unidades de relevo do município de Unistalda.

Unidades de relevo Variáveis	Áreas planas associadas aos cursos d'água	Colinas com cornijas	Colinas de altitude	Morrotes isolados	Associação de morros e morrotes
Altitude	Grande variabilidade	< 250 m	> 250 m	Grande variabilidade	Grande variabilidade
Declividade	< 5%	7%	6%	> 15%	> 15%
Amplitudes altimétricas	< 20 m	20-60 m	20-60 m	30-50 m	> 100 m para morros e 30-50 m para

Unidades de relevo Variáveis	Áreas planas associadas aos cursos d'água	Colinas com cornijas	Colinas de altitude	Morrotes isolados	Associação de morros e morrotes
					morrotes
Comprimento de vertentes		700-2500 m	600-2800 m	Até 500 m	400-1500 m para morros e até 500 m para morrotes
Curvaturas de vertentes	Côncavo-convergente e convexo-convergente	Convexo-divergente, convexo-convergente, côncavo-divergente	Convexo-divergente e côncavo-convergente	Convexo-divergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente	Convexo-divergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente
Área em km ²	75,89	209,30	183,66	5,87	127,66
Área em %	12,60	34,75	30,49	0,97	21,19
Vulnerabilidades ambientais associadas ao uso e ocupação da terra	Processos de assoreamento dos cursos d'água e a formação de bancos de areia	As cabeceiras de drenagem comumente apresentam ocorrência de processos erosivos lineares associados	Compactação do solo associado ao pisoteio do gado	Processos erosivos lineares, com a formação de sulcos, ravinas e voçorocas associados a base das encostas	A declividade das encostas é um limitante ao uso e ocupação, em grande parte encontram-se vegetadas e constituem-se áreas de APP

Fonte: Os autores (2018).

Áreas Planas Associadas aos Cursos D'Água

A unidade áreas planas associadas aos cursos d'água cobre 12,60% do total do município de Unistalda e corresponde as porções de terreno predominantemente associadas aos principais cursos d'água, em maior hierarquia fluvial da área de estudo.

As vertentes possuem declividades inferiores a 5%, com amplitudes altimétricas que não ultrapassam os 20 m. As curvaturas das vertentes, quando associadas aos leitos fluviais, são côncavo-convergentes, integradas a concentração máxima dos fluxos, junto à base das vertentes formando canais fluviais condicionados a contribuição das formas do terreno. Vertentes convexo-convergente integram as margens dos cursos d'água e são associados aos processos de inundação (Tabela 5).

Tabela 5. Características morfométricas predominantes na unidade de relevo áreas planas associadas aos cursos d'água no município de Unistalda.

Parâmetros morfométricos	Valores que prevalecem
Altitude	Grande variabilidade
Declividade	< 5%
Amplitudes altimétricas	< 20 m
Curvaturas de vertentes	Côncavo-convergente e convexo convergente

Fonte: Os autores (2018).

Nas áreas de drenagem do arroio Iguariaçá, restinga de Santa Maria e os afluentes de até 4º ordem do rio Itacurubi se associam, predominantemente com vales encaixados, condicionados a lineamentos estruturais na área de estudo (Figura 12 - A). Já nos sistemas do arroio Itu-Mirim, afluentes de até 3º ordem do rio Itu e o arroio da Porteirinha, observa-se cursos fluviais de padrão de drenagem dendrítico, ora associados a fraturas marcando segmentos encaixados com padrão retangular (Figura 12 - B).

O uso e ocupação da terra nessa unidade atua, muitas vezes, de maneira negativa, por meio da retirada das matas ciliares para prática da agricultura, especialmente, de soja ou arroz. Nesse sentido, são comuns em diferentes segmentos da rede hidrográfica o assoreamento dos cursos d'água e a formação de bancos de areia, conforme evidenciado na Figura 12 - B.

Figura 12. (A) Médio curso da restinga de Santa Maria, ao norte do município de Unistalda. (B) Imagem apresentando a planície do rio Itu e a forma da drenagem que indica controle estrutural e a formação de bancos de areia.



Fonte: Fotografia da esquerda os autores (2015) e fotografia da direita adaptada do Google Earth Pro (2015).

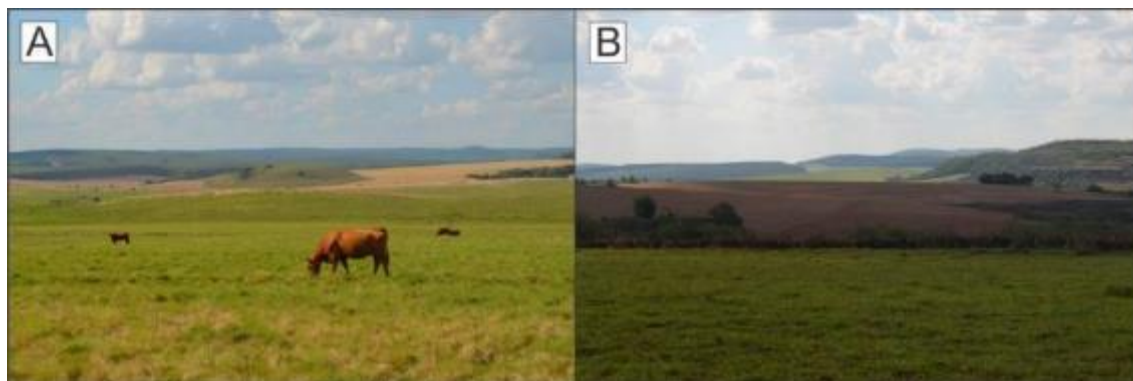
Colinas com Cornijas

A unidade das colinas com cornijas cobre 34,75% da área total do município de Unistalda, recorrente em todos os sistemas de drenagens, mas apresenta-se de maneira mais significativa junto ao arroio Itu-Mirim, nos afluentes de até 3º ordem do rio Itu, no arroio da Porteirinha e na restinga de Santa Maria.

Essas colinas são delimitadas pela altitude, com cotas altimétricas inferiores aos 250 m na área de estudo. As vertentes são levemente onduladas a onduladas, com declividades médias de 7%, amplitudes altimétricas de 20 a 60 m e com comprimentos de vertentes distribuídos predominantemente entre os 700 e 2500 m (Figura 13 - A e B e Tabela 6).

As curvaturas são convexo-divergentes, marcadas assim do topo ao seu segmento médio, ou então convexo-convergentes do terço superior até as médias vertentes. A partir deste setor, ocorre a mudança das curvaturas, com formas côncavo-convergentes até a base das encostas, essas duas últimas classes estão associadas a gênese dos canais fluviais, como também de processos erosivos lineares.

Figura 13. (A) Área de campo com pecuária extensiva, localizada a sudoeste do município de Unistalda; (B) Área de solo exposto associado aos diferentes estágios do plantio na porção oeste da área de estudo.



Fonte: Os autores (2015).

Tabela 6. Características morfométricas predominantes na unidade de relevo colinas com cornijas no município de Unistalda.

Parâmetros morfométricos	Valores que prevalecem
Altitude	< 250 m
Declividade	7%
Amplitudes Altimétricas	20-60 m
Comprimento de Vertentes	700-2500 m
Curvaturas de Vertentes	Convexo-divergente, convexo-convergente, côncavo-divergente

Fonte: Os autores (2018).

Nessa unidade são identificadas feições superficiais denominadas cornijas, que dão o nome à unidade e são feições que decorrem da maior resistência de camadas litológicas de arenito silicificado aos processos exógenos (SUERTEGARAY, 2008). Em função disso, conferem “quebras” do terreno, em faixas com declividades superiores a 15%, em alguns casos com afloramento das rochas e com encostas vegetadas (Figura 14).

Figura 14. Área de colina com campo e cornija vegetada ao fundo, localizada na porção centro-sudeste do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2015).

Na unidade, o uso e ocupação da terra atua em alguns casos, como fator de pressão sobre o meio natural, em especial, nas cabeceiras de drenagem, onde as mesmas podem apresentar as matas ciliares alteradas e/ou suprimidas, associando-se, em decorrência disso, ao desencadeamento de novos processos erosivos lineares, como também intensificando os já instalados.

Colinas de Altitude

A unidade das colinas de altitude cobre segunda maior área no município, em 30,49% de sua área total. Essa unidade integra a todas as bacias hidrográficas delimitadas na área de estudo, mas com maiores áreas associadas aos sistemas de drenagem do rio Icamaguã, com o arroio Iguariaçá, restinga de Santa Maria e os afluentes de até 4º ordem do rio Itacurubi. Em menores áreas, as colinas de altitude integram em faixa com direção centro-sul, junto o arroio Itu-Mirim, arroio da Porteirinha e afluentes de até 3º ordem do rio Itu, na qual se apresenta junto aos altos cursos dos mesmos.

As colinas de altitude são delimitadas a partir de altitudes superiores a cota altimétrica de 250 m na área de estudo, na qual se constitui por formas de relevo levemente ondulado a ondulado, com declividades médias de 6%, amplitudes altimétricas de 20 aos 60 m e comprimentos de vertentes distribuídos predominantemente dos 600 aos 2800 m (Figura 15 - A e B e Tabela 7).

Figura 15. (A) Área de colinas, com relevo levemente ondulado e campos com uso associado a pecuária extensiva diversificada; (B) Área de colinas levemente onduladas, com afloramento de topo de derrame vulcânico e campos ao fundo. Fotografias localizadas ao norte do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2015).

Tabela 7. Características morfométricas predominantes na unidade de relevo colinas de altitude no município de Unistalda.

Parâmetros morfométricos	Valores que prevalecem
Altitude	> 250 m
Declividade	6%
Amplitudes altimétricas	20-60 m
Comprimento de vertentes	600-2800 m
Curvaturas de vertentes	Convexo-divergente e côncavo-convergente

Fonte: Os autores (2018).

Nessas colinas, predominam formas convexas do topo as médias vertentes, marcadas pela dispersão dos fluxos associadas a planos divergentes. Em setores mais a jusante ocorrem formas côncavas a partir das médias vertentes até a base das mesmas em locais onde predominam planos convergentes. Nesses locais das encostas, geralmente ocorre a gênese dos canais fluviais dos sistemas de drenagem.

O uso e ocupação da terra nessa unidade é associado a prática da pecuária extensiva, em especial, de bovinos, o que muitas vezes ocasiona a compactação do solo em razão do

pisoteio do gado. A atividade agrícola é menos abrangente, sendo mais representativa em pequenas propriedades.

Morrotes Isolados

A unidade dos morrotes isolados cobre 0,97% da área de estudo e, se localizam, especialmente, em áreas drenadas pelo arroio Itu-Mirim, afluentes de até 3º ordem do rio Itu e arroio da Porteirinha, como também, nas áreas drenadas pela restinga de Santa Maria e arroio Iguariaçá, porém em menores áreas. Essa unidade apresenta menor área no município de Unistalda com formas de relevo que marcam o recuo da área de escarpa do Planalto Sul-Rio-Grandense, mais ao norte, pela ação erosiva.

Apresentam declividades superiores a 15% e amplitudes altimétricas que variam predominantemente dos 30 aos 50 m, com comprimentos de vertente, que em alguns casos chegam aos 500 m aproximadamente. De maneira geral, possuem topos planos ou convexos, de acordo com as litologias constituintes e em sua base apresentam perfis côncavos, associados aos planos divergente ou então convergente (Tabela 8).

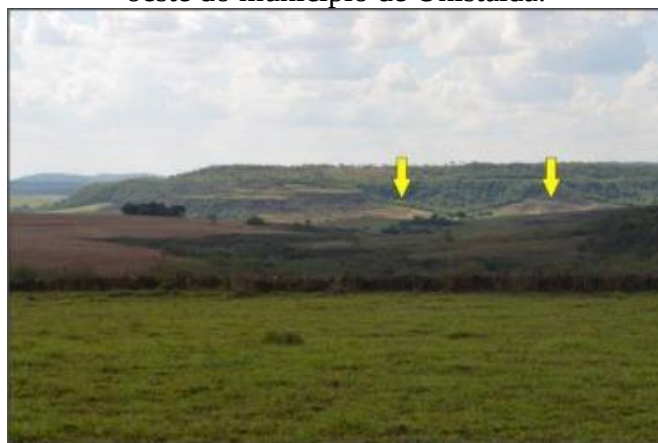
Tabela 8. Características morfométricas predominantes na unidade de relevo morrotes isolados no município de Unistalda.

Parâmetros morfométricos	Valores que prevalecem
Altitude	Grande variabilidade
Declividade	> 15%
Amplitudes Altimétricas	30-50 m
Comprimento de Vertentes	Até 500 m
Curvaturas de Vertentes	Convexo-divergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente

Fonte: Os autores (2018).

Quando os perfis de curvatura da base das encostas são convergentes, conferem em áreas com recorrência de processos erosivos lineares, com a formação de sulcos e/ou ravinas, em função da concentração dos fluxos na encosta. Na medida em que os processos de erosão passam a receber contribuição de águas subsuperficiais, observa-se a formação de voçorocas, de acordo com a Figura 16.

Figura 16. Área de colina com campo e área de solo exposto com morrotes ao fundo e ocorrência de processos erosivos lineares na base das encostas (flechas amarelas) na porção oeste do município de Unistalda.



Fonte: Os autores (2015).

As formas de uso e ocupação da terra nesta unidade se apresentam de maneira mais restrita, em decorrência das declividades elevadas, que conferem o difícil acesso ao topo das formas e nestes casos encontrando-se ainda preservadas e florestadas. Entretanto quando é possível o acesso a estas porções superiores das vertentes, são comuns atividades agropastoris.

Associação de Morros e Morrotes

A unidade associação de morros e morrotes cobre 21,19% do município de Unistalda, localiza-se a nordeste, norte e noroeste, como também em uma linha de interflúvio que se estende na faixa central da área de estudo com direção de leste a oeste. Esta unidade caracteriza uma transição entre uma área de depressão e planalto, onde a rede hidrográfica se estabelece em vales encaixados, marcando pontos de dissecação na paisagem (Figura 17).

Figura 17. Visão oblíqua de área com associação de morros e morrotes, em porção central do município de Unistalda.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pro (2015).

Os morros são definidos por formas de relevo com declividades superiores a 15%, com amplitudes altimétricas superiores aos 100 m e comprimentos de vertentes distribuídos entre os 400 aos 1500 m aproximadamente. Já os morrotes, representam vertentes com declividades superiores a 15%, mas que, no entanto, não ultrapassam os 100 m de amplitude e os comprimentos podem chegar aos 500 m em alguns casos (Tabela 9) (IPT, 1981).

Tabela 9. Características morfométricas predominantes na unidade de relevo associação de morros e morrotes no município de Unistalda.

Parâmetros morfométricos	Valores que prevalecem	
	Morros	Morrotes
Altitude	Grande variabilidade	
Declividade	> 15%	
Amplitudes altimétricas	> 100 m	30-50 m
Comprimento de vertentes	400-1500 m	Até 500 m
Curvaturas de vertentes	Convexo-divergente, côncavo-divergente e côncavo-convergente	

Fonte: Os autores (2018).

As vertentes possuem curvaturas convexo-divergentes partindo do topo das formas até o segmento médio das mesmas. A partir deste setor passam a apresentar curvatura côncavo-divergentes até o terço médio inferior das formas, onde é marcada a mudança dos processos de escoamento atuantes, com uma maior velocidade dos fluxos. Junto ao terço inferior das vertentes, ocorrem curvaturas côncavo-convergentes, onde ocorre a concentração máxima dos fluxos, resultando na formação de canais fluviais.

O uso e ocupação da terra nesta unidade ocorre de maneira restrita, em função das características do relevo, com configuração acidentada e íngreme, que se estabelece como fator limitante ao mesmo, como também, em função de muitas dessas áreas constituírem-se Áreas de Preservação Permanente (APP).

Considerações Finais

Neste trabalho buscou-se realizar uma análise e zoneamento das formas de relevo para o município de Unistalda, e para isso baseou-se na análise de parâmetros morfométricos do relevo e da rede hidrográfica. Desta, foram adotados como parâmetros na compartimentação do relevo a altitude, declividade e amplitudes altimétricas, enquanto que a análise do comprimento das vertentes, curvaturas das vertentes e morfometria da rede hidrográfica permitiram melhor caracterização das unidades. A partir dessas informações, foi possível identificar áreas com características de homogeneidade na paisagem, com padrões de formas e processos semelhantes.

Com base na adoção de um modelo digital de elevação oriundo a imagem de RADAR SRTM e com suporte do SIG se tornou possível a modelagem de parâmetros morfométricos para os sistemas hidrográficos e do relevo e a identificação de cinco unidades: áreas planas associadas aos cursos d'água, colinas com cornijas, colinas de altitude, morrotes isolados e associação de morros e morrotes.

Os dados obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios, considerando as validações realizadas durante os trabalhos de campo na área de estudo. A definição das unidades de relevo apresenta potencial para diagnóstico preliminar e permite indicar incompatibilidades em relação ao uso e ocupação da terra para cada unidade de relevo e podem contribuir com o conhecimento da área e para ações de planejamento e ordenamento.

Por fim, as informações apresentadas podem servir de base para novos estudos na área do município como, mapeamentos geomorfológicos e geoambientais, ou então, de maneira mais específica a dinâmica dos processos erosivos lineares e de análise dinâmica do uso e ocupação da terra.

Referências

BERTOLINI W. Z.; VALADÃO R. C. A abordagem do relevo pela geografia: uma análise a partir dos livros didáticos. **Terrae Didatica**, v. 5, n. 1, p. 27-41, 2009.

CASSETI, V. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, p. 137, 1994.

CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo. p. 147, 1974.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1. Ed. São Paulo: Editora Unesp, p. 343, 2014.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 11-30, 2008.

GIRÃO, O; CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE DCG/NAPA, v. 21, n. 2, 2004.

GOOGLE EARTH PRO. **Interface do usuário**. 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/>>. Acesso em 01 nov. 2015.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000, v. 2. p. 130, 1981.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

ROBAINA, L. E. 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, p.11-23, 2010.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 2014.

SANTOS, V. S.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Definição das Unidades de Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari - Oeste do RS. **Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 21, n.2, p. 197-204, 2017.

SANTOS FILHO, R. D. Antropologia Urbana. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

SCCOTI, A. A. V.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Estudo do relevo da bacia hidrográfica do rio Ibicuí com base em parâmetros morfométricos - oeste do Rio Grande do Sul. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 1-19, 2016.

SCCOTI, A. A. V.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Definição das unidades de relevo da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da armada-sudoeste do rio Grande do Sul. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 16, n. 54, p. 35-48, 2015.

SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Classificação geomorfométrica de unidades morfológicas do relevo no Estado do Paraná obtida de atributos topográficos e árvore de decisão. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Vitória/ES. 2013.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 1117-1142, 1952.

SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Terra: feições ilustradas**. 3 Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 264, 2008.

SUERTEGARAY D. M. A. O que ensinar em geografia (física)? In: Nelson Rego, Dirce Suertegaray, Álvaro Heidrich. orgs. **Geografia e Educação Geração de Ambiências**. Porto Alegre: Ed. UFRGS. p.97-106, 2000.

TRENTIN, R. **Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu - Oeste do Rio Grande do Sul - Brasil**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Paraná. 215 p., 2011.

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO. T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, pp. 72-104, 2008.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Campina Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

Artigo recebido em 27-05-2018

Artigo aceito para publicação em 15-11-2018