

Análise geomorfológica com apoio de técnicas digitais: município de São Martinho da Serra – RS

Geomorphological analysis with support of digital techniques: municipality of São Martinho da Serra – RS

Anderson Augusto Volpato Scoti

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

ascoti2@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8667-0432>

Antonio Von Ende Dotto

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

dottovon@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3095-4679>

Luís Eduardo de Souza Robaina

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

lesrobaina@yahoo.com.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>

RESUMO

Os estudos geomorfológicos têm, como base, a avaliação da forma e composição das vertentes, sendo instrumentos fundamentais para planos de gestão, que visem à utilização racional do ambiente. A partir do surgimento e difusão dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o aprimoramento das geotecnologias, a obtenção e processamento de dados contendo atributos do relevo passou a ser um procedimento de fácil acesso, permitindo classificar e descrever de forma quantitativa as formas da superfície da Terra. Trabalhos de mapeamento geomorfológicos em municípios têm sido desenvolvidos, buscando uma maior integração das informações científicas com a comunidade sobre influência direta da universidade. O presente trabalho segue a proposta de integração com as comunidades regionais, através da análise geomorfológica do município de São Martinho da Serra/RS. Para a elaboração da compartimentação geomorfológica, foram levantados e analisados dados sobre a hidrografia, altitudes, declividade, elementos de relevo (*geomorphons*), litologias e tipos de solos. Os parâmetros foram interpretados com base em uma abordagem sistêmica e a validação deu-se através de trabalhos de campo. O município de São Martinho da Serra, foi segmentado em seis compartimentos geomorfológicos: Unidade Taquarembó; Unidade Lajeado; Unidade Guassupizinho; Unidade Durasnal; Unidade Serra de São Martinho e Unidade Ponte do Ibicuí. Os trabalhos que se preocupam com a descrição geomorfológica são importantes ferramentas, que, aplicadas de maneira correta, possibilitam um ordenamento e um planejamento eficaz do espaço geográfico.

Palavras-chave: Mapeamento, *Geomorphons*, Compartimentação, Relevo.

ABSTRACT

Geomorphological studies are based on the assessment of the form and composition of the slopes and are fundamental instruments for management plans, aimed at the rational use of the environment. From the emergence and diffusion of Geographic Information Systems (GIS) and the improvement of geotechnologies, obtaining and processing data containing attributes of the relief has become an easily accessible procedure, allowing to classify and describe in a quantitative way the shapes of the surface from the earth. Geomorphological mapping works in municipalities have been developed seeking a greater integration of scientific information with the community under the university's direct influence. The present work follows the proposal of integration with the regional communities through the geomorphological analysis of the municipality of São Martinho da Serra / RS. For the elaboration of the geomorphological compartmentation, data on the hydrography, altitudes, slope, relief elements (*geomorphons*), geology and soil types were

collected and analyzed. The parameters were interpreted based on a systemic approach and validation took place through fieldwork. The municipality of São Martinho da Serra was segmented into 06 geomorphological compartments: Taquarembó Unit; Lajeadozinho Unit; Guassupizinho Unit; Durasnal Unit; Serra de São Martinho Unit; and Ponte do Ibicuí Unit. Geomorphological studies are important tools, which if applied correctly, enable an orderly and effective planning of the geographical space.

Keywords: Mapping, *Geomorphons*, Compartmentation, Relief.

1. INTRODUÇÃO

Os estudos geomorfológicos têm, como base, a avaliação da forma e composição das vertentes, sendo instrumentos fundamentais para planos de gestão, que visem à utilização racional do ambiente e à compreensão dos processos naturais atuantes. Segundo Casseti (1991), o relevo tem uma forte relação com as ações humanas, seja na sua locomoção, construção civil, cultivos, dentre outros domínios. Portanto, refere-se não somente à morfologia (forma), mas também a sua fisiologia (função). As diferentes formas de relevo presentes na superfície terrestre são oriundas da interação entre processos tectônicos, pedogênicos e intempéricos, que atuam de forma diversificada nos diferentes materiais rochosos (LANA, 2001).

A classificação do relevo a partir de parâmetros morfométricos que permitiam avaliar o comportamento de fluxos superficiais em vertentes foi desenvolvida, inicialmente, por autores como Troeh (1965), que apresentou a classificação de quatro principais tipos de vertentes, e Huggett (1975), que estabeleceu a combinação de formas de vertentes relacionando a curvatura, vista em perfil e em plano, propondo nove padrões de vertentes. Nestas, os fluxos da água e a sua distribuição promovem diferenças na atuação dos processos superficiais.

A partir do surgimento e difusão dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e o aprimoramento das geotecnologias de um modo geral, a obtenção e processamento de dados contendo atributos do relevo passaram a ser um procedimento de mais fácil acesso, permitindo classificar e descrever, de modo quantitativo, as formas da superfície da Terra.

Schmidt e Hewitt (2004) desenvolveram um procedimento que permite obter diferentes ETs (Elementos do Terreno), utilizando, como critério, a posição da paisagem, dividindo-a em áreas planas e em áreas dissecadas a partir da curvatura tangencial, vertical, mínima e máxima. Dragut e Blaschke (2006) optaram por segmentar os objetos dos Modelos de Elevação relativamente homogêneos em vários níveis geomorfológicos, utilizando curvatura de plano e curvatura vertical (VASCONCELOS *et al.*, 2012).

Iwahashi & Pike (2007) apresentam um método de classificação topográfica automatizada, sem supervisão, com base em três variáveis morfométricas: declividades, convexidade das encostas e textura superficial. Recentemente, Jasiewicz & Stepinski (2013) estabeleceram uma classificação de elementos do relevo, usando ferramentas de visão computacional ao invés de ferramentas da geometria diferencial. Dessa forma, podem ser elaborados ‘mapas geomorfométricos’ a partir de algoritmos, permitindo, através de técnicas computacionais, classificar e mapear elementos das formas de relevo.

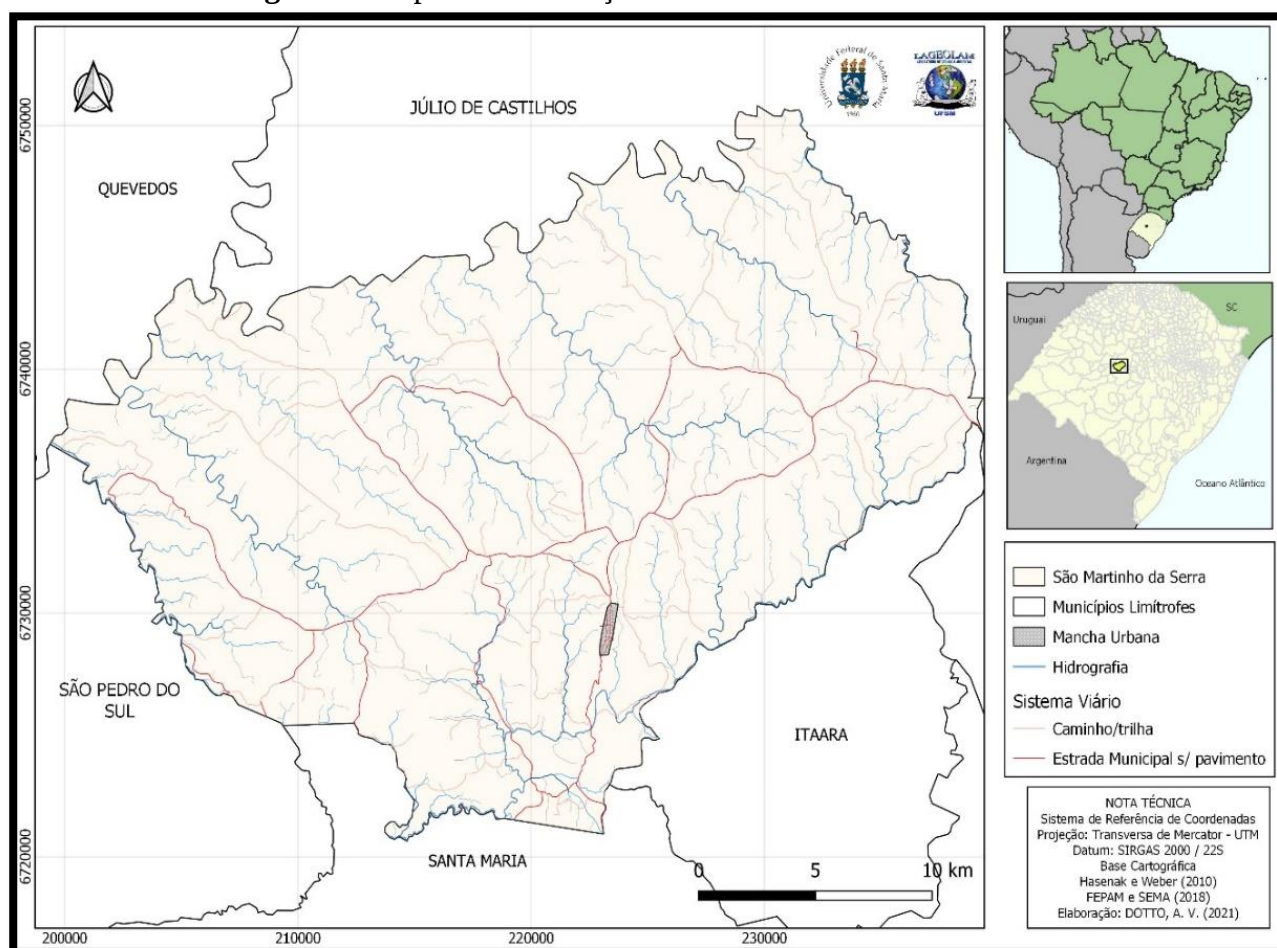
Nos últimos anos, vários trabalhos de pesquisadores brasileiros têm utilizado técnicas digitais na classificação morfológica. Pode-se citar os trabalhos de: Silveira e Silveira (2014), que desenvolveram classificação morfológica da República do Uruguai; o trabalho de Scoti *et al.* (2015), que, utilizando SIG e geoprocessamento, definiu unidades de relevo na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí da Armada/RS; Lange Filho e Silveira (2015), no mapeamento geomorfométrico em bacia hidrográfica no município de Blumenau/SC; Robaina *et al.* (2016) na identificação de elementos do relevo com técnicas digitais, e Bortolini *et al.* (2017), na compartimentação das formas do relevo da região sudoeste do estado do Paraná; além de Trentin e Robaina (2016), com análises geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã/RS.

Trabalhos de mapeamento geomorfológicos em municípios têm sido desenvolvidos pelo grupo de pesquisa Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM), buscando uma maior integração das informações científicas com a comunidade. Pode-se referir os trabalhos de Menezes *et al.* (2013), que desenvolveu o trabalho de compartimentação geomorfológica do município de São Pedro do Sul/RS; Trentin *et al.* (2013), que analisaram a geomorfologia do município de Manoel Viana – RS; Robaina e Trentin (2018), com análise das formas de relevo do município de São Vicente do Sul, RS; Rademann *et al.* (2018), com o zoneamento geoambiental do município de Cacequi - RS,

e Robaina e Trentin (2019), com o zoneamento geoambiental do município de São Francisco de Assis – Oeste do Rio Grande do Sul.

O presente trabalho segue a proposta de integração com as comunidades regionais através da análise geomorfológica do município de São Martinho da Serra/RS, localizado na região central do estado, ao Norte do município de Santa Maria (**Figura 1**), com área do território com cerca de 670,7 km² entre as seguintes coordenadas geográficas de latitudes 29.34° a 29.61° Sul e longitudes entre 54.10° a 53.68° Oeste.

Figura 1: Mapa de Localização de São Martinho da Serra – RS



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

2. MATERIAL E MÉTODOS

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado no presente estudo foi obtido através de imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 metros, adquiridas pelo *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2021). As imagens SRTM também são disponibilizadas com resolução de 30 m, porém se optou por utilizar os produtos com resolução espacial de 90 metros, em decorrência da acurácia das informações contidas na imagem, a qual passou por várias correções de ruídos. O limite municipal utilizado foi o do IBGE, malha digital do ano de 2015, acrescentado ao banco de dados o sistema viário e a hidrografia obtidas através da base cartográfica vetorial na escala 1:50.000 organizada por Hasenack e Weber (2010).

Para a elaboração de mapas temáticos e análise de dados georreferenciados, empregou-se os *softwares* de SIG (Sistemas de Informação Geográfica), Quantum Gis 2.18.24 e ArcGis 10.1®, sendo este último disponibilizado pela ESRI.

Na análise hidrográfica, foram utilizados os seguintes algoritmos *Fill sinks*, para a correção de pixels espúrios em modelos digitais de elevação (WANG; LIU, 2006) e *Channel network drainage basins*, algoritmo utilizado para a determinação automática de bacias hidrográficas a partir do MDE, os dois *plug-ins* estão disponibilizados no repositório do Quantum Gis 2.18.24. A Densidade de Drenagem foi calculada através da expressão $Dd=Lt/A$ (CHRISTOFOLETTI, 1980), tal que: Dd é densidade de drenagem; Lt é o comprimento total dos canais e A é a área. A densidade de drenagem representa a relação entre o comprimento total dos segmentos de canais pela área de estudo, é um parâmetro que tem correlação direta com as características litológicas da área em análise.

Para a definição das formas de relevo, foi considerada a análise combinada dos atributos morfométricos de declividade e amplitude. Utilizou-se, como referência, a proposta de classificação das formas de relevo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), conforme **Tabela 1**.

Tabela 1: Classificação das formas de relevo.

Amplitude Altimétrica	Declividade	Formas de relevo
< 100 metros	< 2%	Áreas Planas
	2 – 5%	Colinas suaves
	5 a 15%	Colinas
	> 15%	Morrotes
> 100 metros	> 15%	Morros

Fonte: Adaptado do IPT (1981).

Para uma análise mais detalhada das formas de relevo, foi possível traçar perfis topográficos com a ferramenta *interpolate line* e *Profile Graph* disponíveis no módulo *3D Analyst* do ArcGIS 10.1®. Em seguida, os perfis foram adaptados através do software CorelDRAW Graphics Suite 2017 desenvolvido pela Corel Inc., com o objetivo de aprimoramento do *layout* final.

Os elementos de *Geomorphons*, utilizados para representar 10 possíveis elementos de relevo foram obtidos através da proposta de Jasiewicz & Stepinski (2013), em que os pesquisadores procuram compreender a similitude textural do MDE, que consiste na análise do nível de cinza de uma célula central e as suas vizinhas, portanto quando a célula central obtiver valor igual, assume o valor “0”, quando assumir valor maior, considera-se “1”, e quando menor representa “-1”. A aplicação utilizada é on-line, disponibilizada no endereço eletrônico <http://sil.uc.edu/geom/app>. O código da aplicação também está disponível para baixar em <http://sil.uc.edu/>, podendo ser implementada no ambiente do *software* SAGA. O arquivo de entrada para a varredura é um MDE e dois parâmetros livres que são *search radius* (distância em metros ou células unidades) e *flatness* (nivelamento em graus), aplicou-se valor igual a 22 pixels na escala de comprimento para o elemento de relevo ser reconhecido e graus igual a 1°. Os 10 elementos do relevo adquiridos com o processamento do MDE pelo aplicativo são: áreas planas (*flat*); pico (*peak*); crista (*ridge*); ressaltos (*shoulder*); crista secundária (*spur*); encosta ou vertente (*slope*); escavado (*hollow*); base de encosta (*footslope*); vales (*valley*) e fosso (*pit*).

O relevo foi descrito com base nas formas e nos elementos que caracterizam essas formas, por sobreposição dos mapas.

Para a análise morfológica os dados referentes às litologias foram obtidos através do mapeamento desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), na escala 1:750.000 (WILDNER *et al.*, 2006). As informações sobre os tipos de solos do município foram compiladas do mapa de solos do estado do Rio Grande do Sul, disponibilizado na escala de 1:250.000, realizado por (STRECK *et al.*, 2008). Os ajustes cartográficos e as validações das bases para o município foram definidos através dos levantamentos e trabalhos de campo, com perfis ao longo de estradas e caminhos no município.

De posse das informações de base, como a hidrografia, formas de relevo, elementos de relevo, litologias e solos, procedeu-se com o apoio do Quantum GIS 2.18.2 na sobreposição de camadas e na definição das unidades geomorfológicas do município de São Martinho da Serra, após

a interpretação e união dos dados foram obtidas seis unidades geomorfológicas. Para a apresentação do mapa geomorfológico, foram utilizadas algumas das toponímias que dão nome às localidades do município, essa ação teve um maior entendimento e utilização do mapeamento por parte dos gestores municipais.

3. DISCUSSÃO E RESULTADOS

O município de São Martinho da Serra está inserido na região hidrográfica do Uruguai (SEMA 2017), mais precisamente na porção nordeste da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, a qual se situa predominantemente no Centro-Oeste do estado do Rio Grande do Sul. A área de estudo ocupa uma área de 670,7km² nas porções de nascentes dos rios Ibicuí-Mirim e Guassupi.

A drenagem tem controle estrutural representado por contatos retos entre canais, caracterizando um predomínio do padrão retangular. A densidade de drenagem é de 0,97 km/km², que, segundo Villela e Mattos (1975), é um terreno de média densidade.

As maiores cotas altimétricas estão distribuídas, principalmente, na região Centro-Leste do município, que constituem áreas de divisores de água entre as bacias do Rio Ibicuí-Mirim e o Rio Guassupi, a maior cota altimétrica encontrada é de 524m, as declividades nessa área não são acentuadas, configurando um relevo com colinas. Nos locais com altitudes inferiores a 250 metros, tem-se as porções do município com as declividades mais acentuadas, marcando formas de relevo do tipo morros e morrotes. As áreas de menores altitudes, entre 150 e 250 metros e inferior a 150 metros, estão localizadas no Sul do município, sendo mais baixa a cota de 140m.

No município, predominam as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que gradam para rochas sedimentares. Nas menores altitudes do município, abaixo da cota de 180m, afloram os arenitos de granulometria grossa a fina, frequentemente, com clastos de argila, com estratificação cruzada, designados Formação Caturrita (BORTOLUZZI *et al.*, 1987).

A Formação Botucatu recobre descontinuamente essas litologias, com espessura pequena, e/ou formando depósitos interdigitados com os primeiros derrames. A Formação Botucatu representa um imenso paleo campo de dunas eólicas, com interdunas secas (SCHERER, 1998) e, muitas vezes, interdigitados com os derrames vulcânicos inferiores e/ou sotopostos. Ocorrem rochas sedimentares areníticas da Formação Botucatu com espessuras muito variadas, mas, em geral, inferiores a 20m.

O vulcanismo fissural que cobriu os sedimentos da Bacia do Paraná está representado pelas Fácies Gramado e Palmas (WILDNER *et al.*, 2006). Nas porções, com altitudes inferiores a 340m, ocorrem unidades efusivas básicas da fácies Gramado, representados por rochas básicas do tipo basalto e andesi-basaltos, afaníticas a faneríticas finas com microfenocristas, presença de vesículas e intercrescimento de plagioclásios e piroxênios. Sobrepostas, ocorrem as vulcânicas ácidas definido pelo tipo Palmas que são riodacitos e dacitos, com textura afanítica e, muitas vezes, com aspecto “sal e pimenta”, marcado por uma estrutura micrográfica.

Os depósitos recentes ocorrem associados às vertentes íngremes na porção sul, sudoeste, oeste e noroeste do município, onde configuram-se vales, nos quais estão encaixados os rios Guassupi, Toropi-Mirim e Ibicuí-Mirim, além de seus afluentes. Nas encostas das vertentes íngremes, tem-se a presença de depósitos colúvio-aluvionares e, nos fundos de vales, associados aos canais, depósito fluvial de granulometria grosseira, com seixos rolados e matacões.

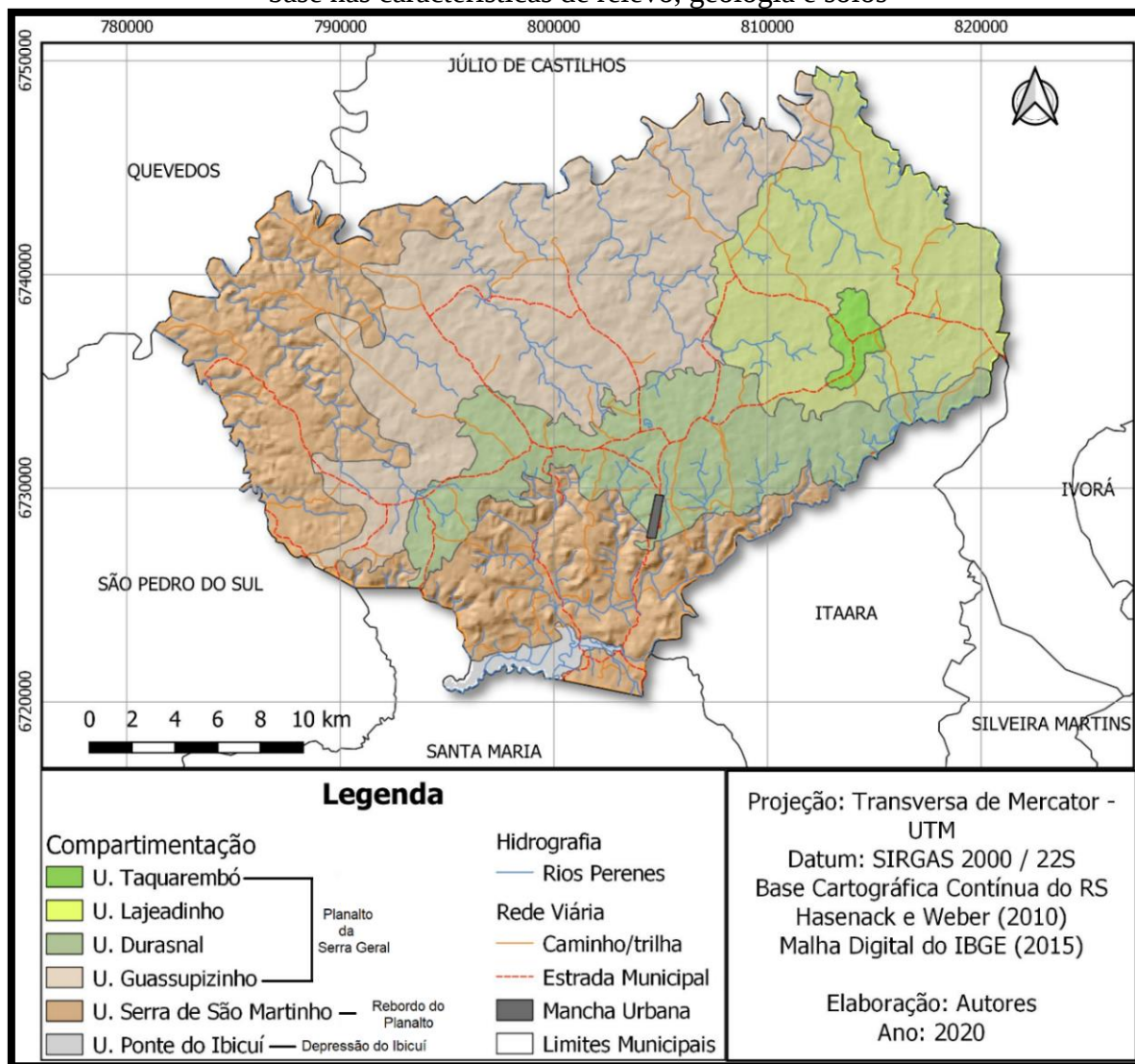
Os solos predominantes no município são rasos e mal desenvolvidos caracterizados como Neossolos litólicos e Cambissolos. Solos bem desenvolvidos, menos expressivos em termos de área são do tipo Argissolo que ocorrem associados a Cambissolos e a Neossolos litólicos. solos com hidromorfismo ocorrem junto a áreas de acumulação da drenagem do rio Ibicuí-Mirim.

3.1. Compartimentação Geomorfológica

São Martinho da Serra está localizado sobre duas grandes unidades geomorfológicas do Rio Grande do Sul, representadas pelo Planalto da Serra Geral e pela Depressão Central. Na maior parte

do município, ocorrem os modelados de Patamares do Planalto e os modelados do Rebordo do Planalto. No extremo sul do município, ocorrem os Modelados dos Patamares residuais em arenitos e de áreas planas aluviais da Depressão do Rio Ibicuí (ROBAINA *et al.*, 2010). Na **Figura 2**, é possível observar a distribuição espacial das unidades geomorfológicas do município de São Martinho da Serra.

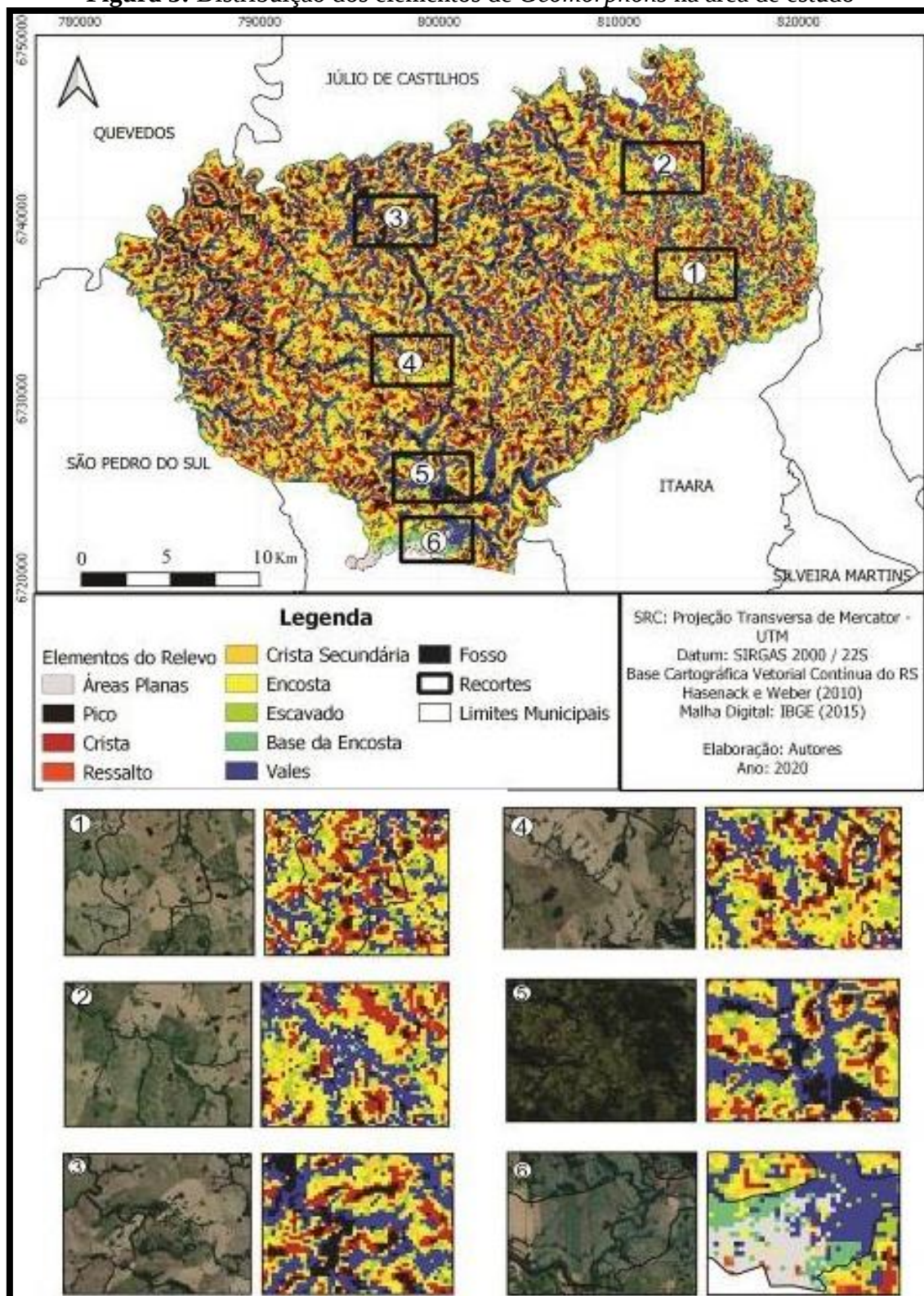
Figura 2: Mapa geomorfológico de São Martinho da Serra, foram segmentadas seis unidades, com base nas características de relevo, geologia e solos



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A distribuição espacial dos elementos do relevo (*geomorphons*) (**Figura 3**) caracterizam as diferentes formas que determinam os compartimentos geomorfológicos. Os elementos Vale (22,8% do total), encosta (17,8% do total) e crista (18,5% do total) são os predominantes, isso corrobora com as características do relevo de São Martinho da Serra, onde, nas porções sobre o planalto, predominam colinas e, nas áreas do rebordo do planalto, vales profundos entalhados pelo trabalho da hidrografia.

Figura 3: Distribuição dos elementos de *Geomorphons* na área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Unidades Geomorfológicas do Planalto da Serra Geral – Patamares do Planalto

Este compartimento é predominante no município e apresenta sua origem ligada ao vulcanismo fissural que cobriu os sedimentos da Bacia do Paraná no final do Mesozoico. Os

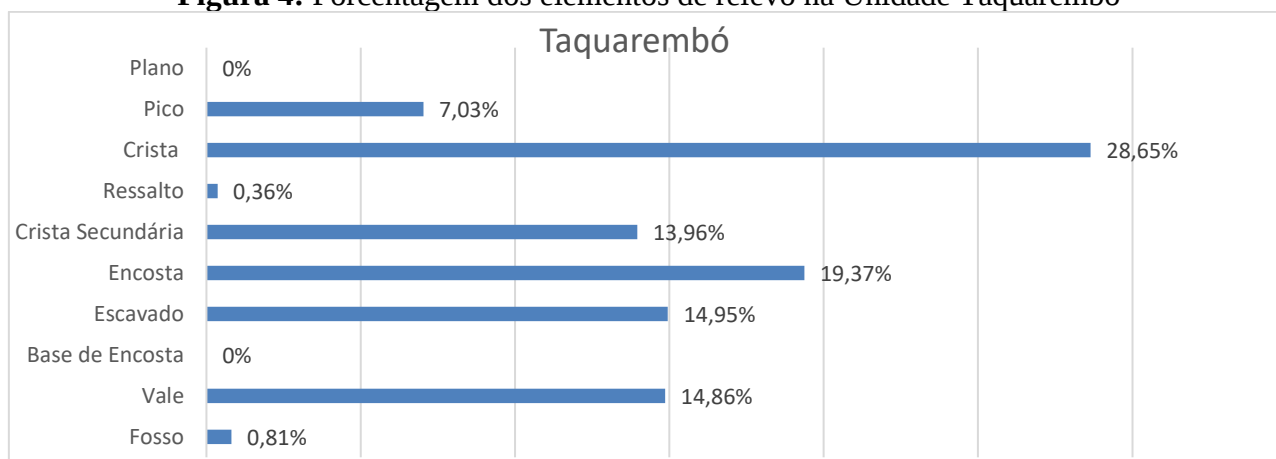
Patamares do Planalto apresentam, como principais características, o relevo levemente ondulado junto às nascentes dos principais cursos d'água, passando para um relevo mais ondulado com associação de morros, morrotes e colinas. Essa unidade geomorfológica é dividida, no município, em três unidades geomorfológicas definidas por: unidade Taquarembó, unidade Lajeadozinho, unidade Durasnal e unidade Guassupí.

Unidade Taquarembó

Essa unidade forma as porções de maior altitude (530 metros acima do nível médio dos mares) do município e está definida pela existência de drenagem radial formada pelas nascentes do arroio Lajeado Negrinho, arroio Guassupizinho, Lajeado Taquarembó e Rio Ibicuí-mirim. Constitui uma área de formas de colinas suaves (**Figura 10 A**), onde as declividades das encostas estão entre 2 e 5% e as amplitudes de entre 5m e 15m.

As formas de colinas são caracterizadas por elementos do tipo crista levemente convexa (28%) e encosta (19%). As áreas com presença do elemento tipo escavado (14,95%) representam rebaixamentos côncavos, que marcam áreas de cabeceiras de drenagem. O elemento pico (7%) é mais representativo nessa unidade em relação as que compõem os Patamares do Planalto, estando associado à formação de elevações suportadas por afloramento de rochas vulcânicas, formando lajeados e blocos. A quantificação dos elementos de relevo para a unidade Taquarembó pode ser visualizada na **Figura 4**.

Figura 4: Porcentagem dos elementos de relevo na Unidade Taquarembó



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

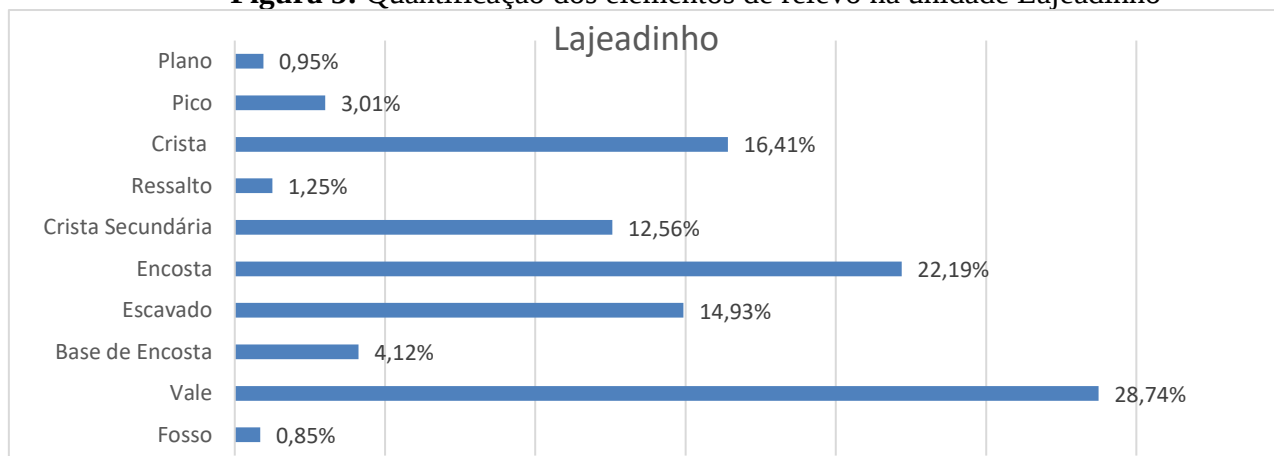
Os solos nessa unidade são, de maneira geral, são pouco desenvolvidos, principalmente, nas porções de topo das colinas, mas também ocorrem solos bem desenvolvidos caracterizados como Argissolos, quando à alteração afeta porções mais vítreas ou mais fraturadas do derrame.

Unidade Lajeadozinho

Essa unidade dos Patamares do Planalto está representada por altitudes superiores a 450m. Ocorre em 16,81% do município, compondo a sua porção nordeste. Constitui modelado de dissecação fraca, representado por colinas suavemente onduladas (**Figura 10 B**) com declividades entre 2 e 5% e amplitudes de 10m a 20m em substrato de rochas vulcânicas ácidas, em solos que não passam de 1m, variando de bem desenvolvidos do tipo Argissolos, predominantes nessa unidade geomorfológica, associados a Neossolos litólicos e afloramentos de rocha em porções mais resistentes dos derrames.

Os elementos predominantes (**Figura 5**) são do tipo vale (23,74%) associado ao início do entalhamento da rede de drenagem. As porções de topo das colinas, definidos pelos elementos crista e crista secundária, são levemente convexos. O relevo suavemente ondulado é marcado pela presença elementos de base de encosta e plano, mais representativos das formas que definem os Patamares do Planalto.

Figura 5: Quantificação dos elementos de relevo na unidade Lajeadinho



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

A ocorrência de depressões circulares e alongadas que podem conter água, definidos pelo elemento escavado, são interpretadas (GUARESCHI, 2018) como depressões fechadas, originadas pelo controle estrutural e que propiciam ação do intemperismo químico.

O elemento ressalto, relativamente, é importante nessa unidade e relaciona-se com afloramentos rochosos de vulcânicas na meia encosta em áreas de contato de derrames.

Nessa unidade, o principal uso é de lavouras, mas, nas porções onde ocorrem afloramentos de rocha, pode ocorrer a atividade de pecuária. As depressões circulares são, muitas vezes, usadas como pequenas barragens para acúmulo de água.

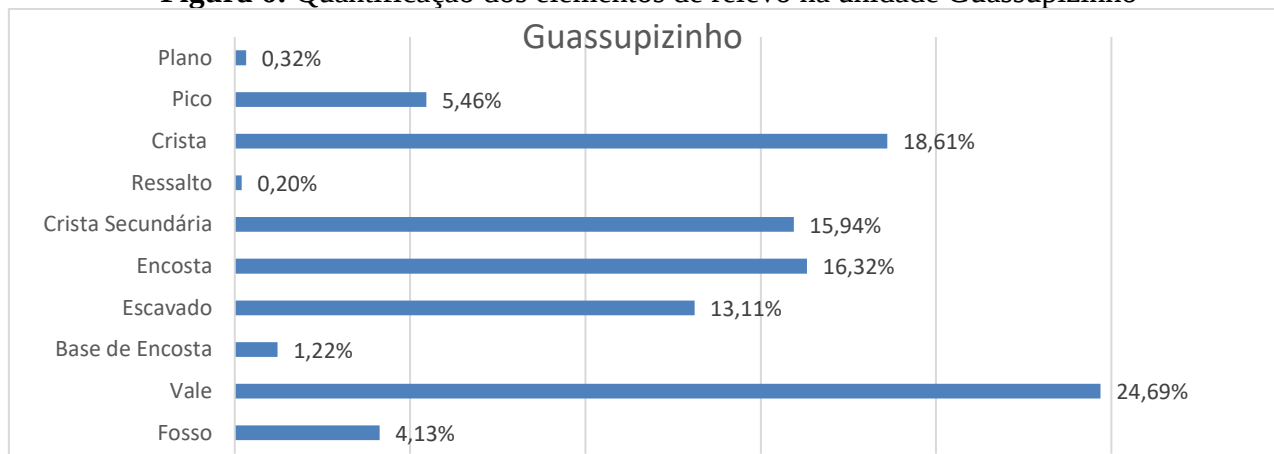
Unidade Guassupizinho

Unidade do Patamares do Planalto, no município de São Martinho, está distribuída na porção norte e compreende 32,03% da área municipal. A unidade é drenada pela bacia hidrográfica do rio Guassupi, compreendendo os principais cursos de drenagem do município. Modelado de maior dissecação em relação aos anteriores, desenvolvendo formas de relevo do tipo colinas onduladas (**Figura 10 C**) sobre substrato de rochas vulcânicas ácidas nas áreas de maior altitude e vulcânicas básicas nas porções de menor altitude até o canal fluvial. Nesses modelados de colinas ondulados, os principais elementos (**Figura 6**) são uma associação de vales (24%), cristas (18%) e cristas secundárias (16%) com interflúvios formados por elementos de encosta curtas (16%).

Predominam Neossolos litólicos, mas ocorrem solos do tipo Argissolos pouco espesso, em áreas de topo de colinas.

Os solos de pequena espessura têm uso para atividade de lavouras e pecuária, sendo muito suscetível à erosão em encostas mais inclinadas.

Figura 6: Quantificação dos elementos de relevo na unidade Guassupizinho



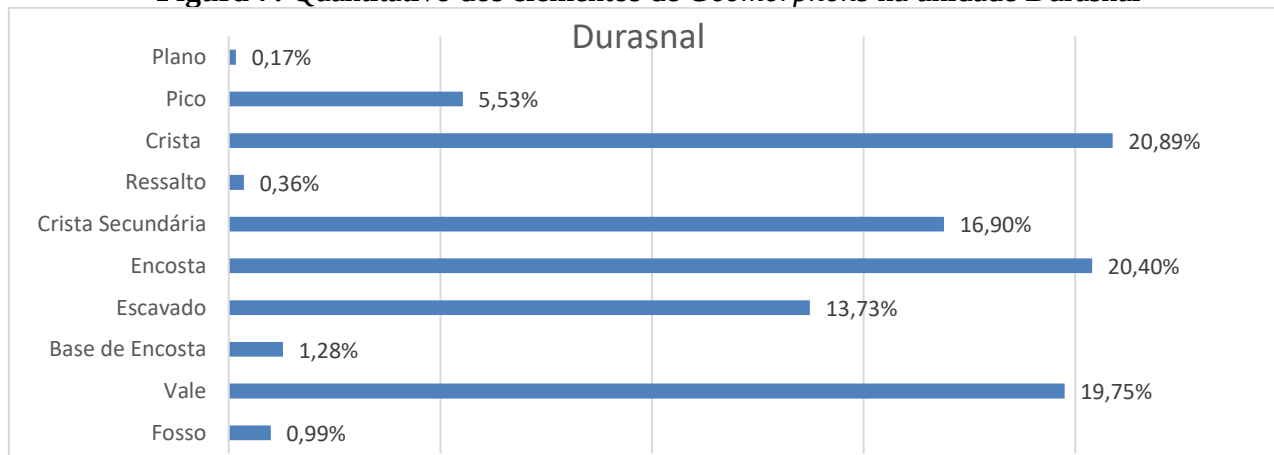
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Unidade Durasnal

A unidade ocorre na porção centro-leste do município, englobando a área urbana, constituindo colinas suaves e onduladas que drenam a bacia do rio Ibicuí-mirim. O substrato é de rochas ácidas, onde se desenvolvem solos do tipo Argissolos pouco espessos, que são predominantes, associados com Neossolos e Cambissolos. Nesse modelado de colinas (**Figura 10 D**), os elementos encosta (20%) e cristas (20%) predominam (**Figura 7**).

Os processos pedogenéticos são importantes e os solos desenvolvidos dependem da porção do derrame que está exposto. Predomina uma atividade de lavouras e a pouca espessura dos solos é um fator de suscetibilidade à erosão laminar.

Figura 7: Quantitativo dos elementos de *Geomorphons* na unidade Durasnal



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Unidades Geomorfológicas do Rebordo do Planalto

O modelado de Rebordo está localizado na transição entre o Planalto das Araucárias e a Depressão do Ibicuí. Na área do município de São Martinho, está representado pela unidade Serra de São Martinho.

Unidade Serra de São Martinho

Essa unidade apresenta uma configuração acidentada que testemunha a atual fase de evolução do Planalto da Serra Geral (**Figura 10 E**). Ocorre, no município, na porção Sudoeste, na

área drenada para o rio Toropí e, na porção Sul, drenada para o rio Ibicuí-mirim. O relevo é constituído por uma associação de formas de morros e morrotes, onde as declividades são superiores a 15% e as amplitudes variam de 30m a 150m.

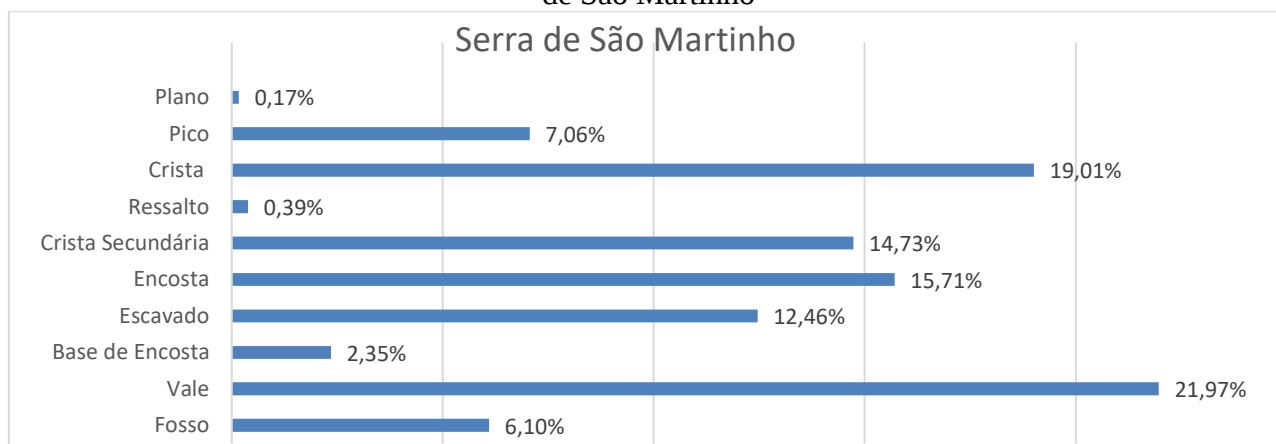
O relevo de modelados de dissecação forte são caracterizados pelo predomínio dos elementos (**Figura 8**) vales (21,9%) e cristas (19%), com encostas curtas, por isso, menos representativas (15,7%). Elementos que caracterizam essa unidade são os picos (7%) e fossos (6%).

Na porção **sudoeste** da Serra, o substrato é de rochas vulcânicas básicas, com possibilidade de ocorrência de arenitos da Formação Botucatu, interderrames nas menores altitudes. Na porção Sul dessa unidade, ocorrem sequências sedimentares pertencentes a substrato rochoso mais antigo, constituído por sedimentos das Formações Botucatu e Caturrita.

No que diz respeito aos solos, o relevo acidentado gera Neossolos Litólicos. Nas áreas de menor altitude, associados a depósitos coluviais e nas colinas sobre substrato sedimentar, podem ocorrer solos bem desenvolvidos do tipo Argissolos.

Essa unidade é a mais suscetível a processos morfogenéticos, ocorrendo erosão e movimentos de massa. O relevo movimentado restringe o uso e ocupação que se caracteriza por pequenas propriedades.

Figura 8: Representação do quantitativo dos elementos de *Geomorphons* na Unidade Serra de São Martinho



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Unidades Geomorfológicas da Depressão do Ibicuí

Representa área deprimida onde processos geomorfológicos são controlados pela drenagem do Rio Ibicuí e seus afluentes, atuando sobre um substrato de rochas sedimentares de diferentes tipos, com predomínio de arenitos. No município, constitui a unidade Ponte do Ibicuí que se localiza no extremo Sul junto ao rio Ibicuí-mirim.

Unidade Ponte do Ibicuí

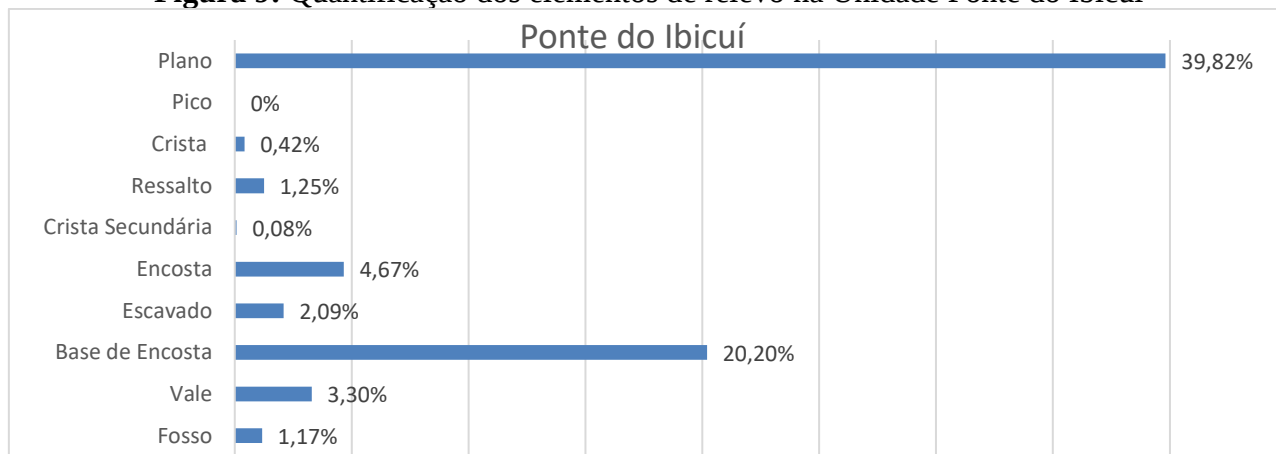
Essa unidade caracteriza-se por modelados de dissecação no relevo de colinas suaves com os elementos do relevo formado por encosta e base de encosta (**Figura 9**) enquanto nas áreas de acumulação, o elemento plano (39%) é predominante associado ao elemento vale (30%).

O substrato é de rochas sedimentares de diferentes composições, com predomínio de arenitos finos da Formação Caturritas e modelados de acumulação nas áreas planas (**Figura 10 F**) dos depósitos colúvio-aluvionares e aluvionares da planície do rio Ibicuí-mirim.

Os solos são Argissolos nas áreas onduladas e na planície de inundação solos hidromórficos tipo Planossolos arenosos e Gleissolos.

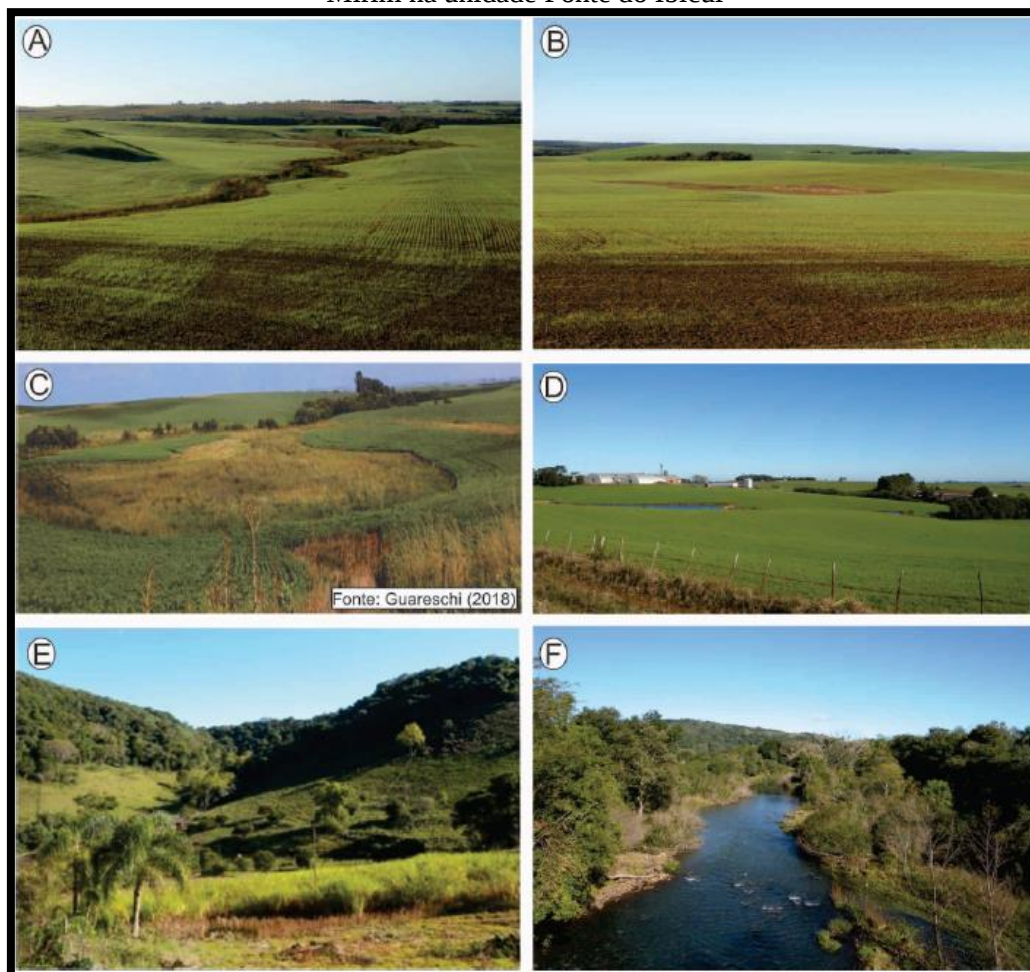
Os processos atuantes são de acumulação e erosão fluvial junto ao rio. As áreas planas são utilizadas para atividade agrícola.

Figura 9: Quantificação dos elementos de relevo na Unidade Ponte do Ibicuí



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Figura 10: A - Formas típicas da unidade Taquarembó, é possível observar colinas com declividades próximas 5%, onde elementos de encostas convexas são mais pronunciadas; B - Colinas da unidade Lajeadozinho no topo do planalto das Araucárias em São Martinho da Serra, as altitudes são superiores à 450; C - Área drenada pelos tributários do Rio Guassupí (Unidade Guassupizinho), os interflúvios apresentam-se mais curtos, com formas de colinas onduladas, com declividade, em média, superiores a 8%; D - Unidade Durasnal, representada por colinas amplas marcadas pela predominância dos elementos encosta e as cristas largas; E - Modelados do rebordo do planalto, com elemento vale profundo e encostas com declividades superiores a 15%, são porções em que ocorrem contatos de rochas vulcânicas e sedimentares; F - Rio Ibicuí-Mirim na unidade Ponte do Ibicuí



Fonte: Adaptado de Guareschi (2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de SIG e ferramentas de geoprocessamento para análises espaciais e geomorfométricas permitiu desenvolver uma compartimentação geomorfológica para o município de São Martinho da Serra, fortalecendo o papel fundamental das geotecnologias na aquisição, processamento e análise de informações espaciais.

As formas e elementos de relevo associam-se, principalmente, ao vulcanismo que cobriu os sedimentos da Bacia do Paraná no final do Mesozoico e os processos de reativação de estruturas e processos erosivos que causam o recuo do Planalto, formando uma área de rebordo, que interagiram na realização dos processos superficiais do passado e do presente. No município, foram determinadas seis unidades de geomorfológicas; unidade Taquarembó, unidade Lajeadozinho, unidade Durasnal, unidade Guassupi, unidade Serra de São Martinho e unidade Ponte do Ibicui.

A compartimentação do relevo estabelece diferentes características quanto a sua configuração e modelado deste, permite subsidiar a compreensão de fatores e processos atuantes na sua gênese e evolução e estabelecer suscetibilidades frente ao tipo de uso, possibilitando sua utilização no ordenamento e planejamento do espaço geográfico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

BORTOLINI, W.; SILVEIRA, C. T.; SILVEIRA, R. M. P. Emprego de técnicas geomorfométricas na identificação de padrões de relevo. **RA'EGA**, v. 41, p. 131-150, 2017.

BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da Formação Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 7-86, 1974.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

DRAGUT, L.; BLASCHKE, T. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, p.330-344, 2006

GUARESCHI, V. D. **Cabeceiras de drenagem no planalto das araucárias, bacia hidrográfica do rio Guassupi-RS: distribuição espacial das depressões fechadas, controle estrutural e evolução geomorfológica**. 2018. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

HASENACK, H.; WEBER, E. J. **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - Escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

HUGGETT, R.J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 13, p. 1-22, 1975.

IPT. **Mapeamento geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. Escala 1:500.000. 1981.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, 86. 2007. p. 409-440.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Example-Based retrieval of alike land-cover scenes from NLCD2006 database. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v.10, n. 1, p. 155-159, 2013.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. de T. A. Análise morfométrica da bacia Hidrográfica do Rio Tanque, Minas Gerais, Brasil. **Revista Escola de Minas**, v.54, n. 02, 2001, p. 121-126.

LANGE FILHO, G.; SILVEIRA, C. T. Mapeamento geomorfométrico da bacia hidrográfica do Zendron, Blumenau - SC. **Revista Equador**, v.4, n.3. ed. esp. 2, p. 854-863, 2015.

MENEZES, D. J.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S.; SCCOTI, A. A. V. Compartimentação geomorfológica do município de São Pedro do Sul/RS. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 40, n. 2, p. 268-276, 2013.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 07 abr. 2022.

RADEMANN, L. K.; TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Zoneamento geoambiental do município de Cacequi, Rio Grande do Sul. **GEOSUL**, v. 33, n. 66, p. 85-104, 2018.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Estudos e zoneamento geoambiental do município de São Francisco de Assis - Oeste do Rio Grande do Sul. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n.16, p. 323-344, 2019.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Estudo e zoneamento das formas de relevo do município de São Vicente do Sul, RS. **Geoambiente**, v. 31, p. 160-174, 2018.

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**. v.17, n. 2, p 287-298, 2016.

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.

SEMA - **Secretaria Estadual do Meio Ambiente**. Bacia Hidrográfica do Ibicuí. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

SCHERER, C.M.S. **Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1998. 202 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998

SCHMIDT, J.; HEWITT, A. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. **Geoderma**, v. 121, n. 3, p. 243–256, 2004.

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. **Revista Caminhos de Geografia**, v. 16, p. 35-48, jun. 2015.

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

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSEN, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Classification of the landform units supported by geomorphometric attributes. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 15, p. 53-66, 2016.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. Souza; SCCOTI, A. A. V. Mapeamento geomorfológico do município de Manoel Viana- Oeste do Rio Grande do Sul/Brasil. **Revista de Geociências**, v. 32, p.333-345, 2013.

TROEH, F. Landform Equations Fitted to Contour Maps. **American Journal Science**, v. 263, pag. 616-627, 1965.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). [Shuttle Radar Topography Mission - SRTM]. **Resolução espacial de 90 metros**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 jan. 2021.

VASCONCELOS, V.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; COUTO JUNIOR, A. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. Sistema de classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 171-186, 2012.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WANG, L.; LIU H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, n. 2, p. 193-213, 2006.

WILDNER, W.; RAMGRAG, G. E.; LOPES R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750000. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 2006.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.