

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Eloisa Penna da Rosa

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COMPARTIMENTAÇÃO
GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS**

Santa Maria, RS
2019

Eloisa Penna da Rosa

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COMPARTIMENTAÇÃO
GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Geografia.**

Orientador: Prof. Dr. Romario Trentin

Santa Maria, RS
2019

PENNA DA ROSA, ELOISA
GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COMPARTIMENTAÇÃO
GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS / ELOISA
PENNA DA ROSA.- 2019.
115 p.; 30 cm

Orientador: ROMARIO TRENTIN
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2019

1. Geomorfologia 2. São Sepé 3. Sistema de Informação
Geográfica 4. Compartimentação Geomorfológica I. TRENTIN,
ROMARIO II. Título.

Eloisa Penna da Rosa

**GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COMPARTIMENTAÇÃO
GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Geografia**.

Aprovado em 30 de agosto de 2019:

Romario Trentin, Dr.
(Presidente/Orientador)

Anderson Augusto Volpato Scoti, Dr. (UFSM)

Sandro Sidnei Vargas de Cristo, Dr. (UFT)

Santa Maria, RS
2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais:

Eloi Fraga Penna

Marlei Coelho Penna

Ao meu filho:

Wellyton Penna da Rosa

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de estudar nesta instituição pública e de qualidade.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGGEO), pelo suporte e apoio.

Ao meu orientador, Professor Romario Trentin por toda paciência, orientações e incentivo na conclusão deste trabalho.

Ao professor Sandro Sidnei Vargas de Cristo e o professor André Weissheimer Borba por aceitarem fazer parte da banca de qualificação, com inúmeras contribuições.

Aos professores da banca examinadora, Sandro Sidnei Vargas de Cristo e Anderson Augusto Volpato Scoti, pelo aceite do convite e pelas sugestões que certamente enriquecerão o trabalho.

Aos professores Edgardo Ramos Medeiros e Luís Eduardo de Souza Robaina, pelos trabalhos de campo que foram valiosos para o meu aprendizado.

A minha amiga Daniéli Flores Dias pelo apoio, força, desabafos, risadas e ajuda no decorrer da minha vida acadêmica.

Ao meu colega e amigo Lucas Rademann pela ajuda incondicional na elaboração dos mapas temáticos.

A minha amiga Daniéli Uliana por ter compartilhado dos bons e maus momentos desta caminhada.

Aos meus pais, Eloi Fraga Penna e Marlei Coelho Penna pelo amor e exemplo de vida.

Ao meu filho Wellyton Penna da Rosa pelo companheirismo e carinho.

Aos meus colegas do LAGEOLAM pelas experiências compartilhadas.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente me acompanharam nesta trajetória.

Muito Obrigada!!!

RESUMO

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ - RS

AUTORA: Eloisa Penna da Rosa
ORIENTADOR: Romario Trentin

O relevo resulta da atuação de forças antagônicas sintetizadas pelas atividades tectônicas e estruturais, e pelos mecanismos morfoclimáticos ao longo do tempo geológico, podendo acontecer de maneira sucessiva ou simultânea. A cartografia geomorfológica aliada as geotecnologias, permite reunir aspectos do relevo, proporcionando a representação de informações a serem aplicadas no planejamento do território. Assim, o presente trabalho tem como objetivo realizar a compartimentação geomorfológica do município de São Sepé, localizado na região central do Rio Grande do Sul. A metodologia empregada compreendeu o uso dos Sistemas de Informações Geográficas para a análise e manipulação dos dados na definição da compartimentação geomorfológica. A compartimentação geomorfológica da pesquisa tem como base os níveis taxonômicos propostos por Ross (1990,1992), no que se refere ao 3º nível (Unidades de Relevo), 4º nível (Elementos de relevo) e 5º nível (Formas das Vertentes). Quanto aos resultados dessa pesquisa, primeiramente apresenta-se uma análise dos elementos do meio físico: hidrografia, relevo e litologias. No terceiro nível taxonômico foram definidas as unidades de relevo: Áreas Planas, Colinas Suaves, Colinas Onduladas e Associação de Morros e Morrotes. Para os elementos de relevo (quarto nível), foi estabelecido os dez principais: Plano, Pico, Crista, Ressalto, Crista Secundária, Encosta, Escavado, Base de Encosta, Vale e Fosso. No quinto nível taxonômico definiu-se as formas das vertentes em XII unidades através das unidades geomorfométricas. Na relação entre os níveis taxonômicos, nas unidades de relevo das áreas planas predominam os elementos de áreas planas e as vertentes definidas pela unidade X. Nas unidades de colinas suaves prevalecem os elementos de encostas e as vertentes também da unidade X. Nas colinas onduladas se destacam os elementos de encostas e vertentes da unidade I. Por fim, na unidade de associação de morros e morrotes predominam os elementos de encostas e vertentes da unidade III. De forma geral considera-se satisfatória a aplicação da metodologia para o mapeamento do relevo aplicada, pois foi possível elaborar uma compartimentação geomorfológica representativa para a área de estudo e que gerou produtos cartográficos importantes que poderão subsidiar aos interessados pela área de estudo.

Palavras-chave: Geomorfologia. São Sepé. Sistema de Informação Geográfica. Compartimentação Geomorfológica.

ABSTRACT

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO THE GEOMORPHOLOGICAL COMPARTMENTALIZATION OF THE MUNICIPALITY OF SÃO SEPÉ - RS

AUTHOR: Eloisa Penna da Rosa
ADVISOR: Dr. Romario Trentin

The relief results from the action of antagonistic forces synthesized by tectonic and structural activities, and by morphoclimatic mechanisms over geological time, may occur successively or simultaneously. Geomorphological cartography, allied with geotechnologies, allows gathering relief aspects, providing the representation of information to be applied in the planning of the territory. Thus, the present research aims to perform the geomorphological compartmentalization of the municipality of São Sepé, located in the central region of Rio Grande do Sul. The methodology used included the use of Geographic Information Systems for the analysis and manipulation of the data in the definition of geomorphological compartmentalization. The geomorphological compartmentalization of the research is based on the taxonomic levels proposed by Ross (1990, 1992), in relation to the 3rd level (Relief Units), 4th level (Relief Elements) and 5th level (hillside forms). Regarding the results of this research, first an analysis of the elements of the physical environment is presented: hydrography, relief and lithologies. At the third taxonomic level, the relief units were defined: flat areas, gentle hills, rolling hills and the association between hills and earthmounds. For the Relief Elements (4th level), the ten main were established: flat, peak, ridge, step, secondary ridge, hillside, chiselled, base of the hill, valley and gap. In the 5th level the forms of the hillsides are defined in XII units through the geomorphometric units. In the relationship between taxonomic levels, in the relief, units of flat areas predominate the elements of flat areas and the hillsides defined by unit X. In the gentle hills the hillsides, elements of the unit X also prevail. In the rolling hills, the elements of hillsides stand out and the predominant hillsides are of unit I. Finally, in the unit of association of hillsides and earthmounds, predominate the elements of hillsides of the unit III. In general, it is considered satisfactory the application the methodology for relief mapping, utilized because it was possible to elaborate a representative geomorphological compartmentalization for the study area and which important cartographic products can be used as subsidies to those interested in the area of study.

Keywords: Geomorphology. São Sepé. Geographic Information System. Geomorphological Compartmentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo.	28
Figura 2 - Modelo dos geossistemas e suas conexões.....	35
Figura 3 - Histograma de frequência relacionado a hipsometria do município de São Sepé.....	50
Figura 4 - Histograma de frequência relacionado a declividade no município de São Sepé.....	51
Figura 5 - Modelo de curvatura de vertentes.....	52
Figura 6 - Espacialização dos pontos de controle coletados com o receptor GPS durante os trabalhos de campo.	54
Figura 7 - Modelo esquemático das Unidades Taxonômicas proposto por Ross (1992).	56
Figura 8 - Janela móvel circular de 2 pixel utilizado na análise estatística.....	57
Figura 9 - Aplicação dos elementos de geomorphons na classificação de elementos de relevo.....	59
Figura 10 - Elementos de relevo obtidos dos geomorphons.	60
Figura 11 - Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas do município de São Sepé.	61
Figura 12 - Distribuição das sub-bacias no município de São Sepé.	65
Figura 13 - Distribuição das classes hipsométricas no município de São Sepé.....	69
Figura 14 - Distribuição das classes de declividade no município de São Sepé.	72
Figura 15 - Distribuição da curvatura das vertentes no município de São Sepé.	75
Figura 16 - Distribuição das litologias no município de São Sepé.....	78
Figura 17- Distribuição das unidades de relevo no município de São Sepé.	86
Figura 18 - Imagem que ilustra a Unidade de Relevo Áreas Planas.	87
Figura 19 - Perfil topográfico A-A'.	88
Figura 20 - Imagem que ilustra a Unidade de Relevo Colinas Suaves.	88
Figura 21 - Perfil topográfico B-B'.	89
Figura 22 - Imagem que ilustra a Unidade de Colinas Onduladas com Morrote ao fundo.	89
Figura 23 - Perfil topográfico C-C'.	90
Figura 24 - Imagem que ilustra a Unidade de Associação de Morros e Morrotes.	90
Figura 25 - Perfil topográfico D-D'.	91
Figura 26 - Distribuição dos elementos de geomorphons no município de São Sepé.	93
Figura 27 - Visualização e representação dos principais elementos de relevo.	95
Figura 28 - Distribuição das unidades geomorfométricas I a VI no município de São Sepé.....	98
Figura 29 - Distribuição das unidades geomorfométricas VII a XII no município de São Sepé.....	100
Figura 30 - Fotografias com a identificação das principais unidades de vertentes..	102
Figura 31 - Distribuição dos elementos de relevo em relação as unidades de relevo.	104
Figura 32 - Distribuição das formas das vertentes em relação as unidades de relevo.	105
Figura 33 - Síntese da classificação do relevo no município de São Sepé.	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da produção agrícola e pecuária no ano de 2017.....	29
Tabela 2 - Classificação das formas de relevo.....	57
Tabela 3 - Parâmetros topográficos que caracterizam as unidades geomorfométricas determinadas no município de São Sepé.....	62
Tabela 4 - Quantificação dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem do município de São Sepé.	63
Tabela 5 - Aspectos hipsométricos da área de estudo.....	68
Tabela 6 - Aspectos de declividade do município de São Sepé.....	71
Tabela 7 - Quantificação da curvatura das vertentes.	74
Tabela 8 - Quantificação das litologias no município de São Sepé.....	77
Tabela 9 - Quantificação das formas de relevo.	85
Tabela 10 - Quantificação e representação dos elementos de relevo.....	91
Tabela 11 - Quantificação das unidades geomorfométricas no município de São Sepé.	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BR	Rodovia Federal
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
HAB	Habitantes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
KM	Quilômetro
KM ²	Quilômetro Quadrado
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
RADAM	Radar da Amazônia
RADAR	<i>Radio Detection and Ranging</i>
RS	Rio Grande do Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
2.1	BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ	27
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1	A TEORIA SISTÊMICA	31
3.2	MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO	35
3.3	SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS e a análise do relevo	42
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
4.1	MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS	47
4.2	LEVANTAMENTO E PRODUÇÃO DE DADOS	48
4.2.1	Análise Morfométrica	48
4.2.2	Análise do Relevo	49
4.2.3	Análise das Litologias	53
4.3	COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO	55
4.3.1	Unidades de Relevo	56
4.3.2	Elementos do Relevo (<i>Geomorphons</i>)	58
4.3.3	Forma das Vertentes (Unidades Geomorfométricas)	60
5	CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ	63
5.1	ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA	63
5.2	ANÁLISE DO RELEVO	67
5.2.1	Hipsometria	67
5.2.2	Declividade	70
5.2.3	Curvatura das Vertentes	73
5.2.4	Análise das Litologias	76
6	COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ	83
6.1	DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS TAXONÔMICOS	83
6.2	COMPARTIMENTAÇÃO DO TERCEIRO, QUARTO E QUINTO NÍVEIS TAXONÔMICOS	84
6.2.1	Terceiro Nível Taxonômico	84
6.2.2	Quarto Nível Taxonômico	91
6.2.3	Quinto Nível Taxonômico	95
6.2.4	Relações dos Níveis Taxonômicos do município de São Sepé	103
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
	REFERÊNCIAS	109

1 INTRODUÇÃO

A geomorfologia tem por objetivo analisar as formas do relevo, e busca compreender os processos pretéritos, como atuais. Para Christofolletti (1995), a geomorfologia analisa as formas de relevo e foca seus estudos nas características morfológicas, nos materiais componentes, nos processos atuantes, nos fatores controladores e nas dinâmicas evolutivas. Seus estudos são voltados para os aspectos morfológicos da topografia e da dinâmica responsável pelo funcionamento e pela esculturação das paisagens topográficas.

O relevo resulta da atuação de forças antagonicas sintetizadas pelas atividades tectônicas e estruturais, assim como pelos mecanismos morfoclimáticos ao longo do tempo geológico, podendo acontecer de maneira sucessiva ou simultânea.

As formas de relevo não se apresentam de maneira independente na paisagem e, sua evolução também não. Para entender a evolução da forma de relevo de uma determinada área, deve-se levar em consideração as características geológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas e biológicas da referida área, assim como, a atuação humana, haja vista que o ser humano também é um agente modificador do meio (TRENTIN, 2011).

Nesse sentido, Penteado (2011) enfatiza que o ser humano passou a ser agente geomorfológico ao interferir e intensificar os processos naturais. A maneira como o espaço vem sendo ocupado e usado tem causado, com frequência, danos materiais e humanos.

Desta forma, devido a capacidade do ser humano de alterar, construir e destruir as formas de relevo, o estudo geomorfológico tem tentado entender as respostas do meio natural perante as intervenções, buscando prevenir os danos ambientais desencadeados pela ocupação antrópica.

Conforme Christofolletti (1994), o conhecimento fornecido pela geomorfologia se torna um importante instrumento na realização de estudos do meio ambiente e na elaboração de projetos de planejamento territorial.

Nesse sentido, a geomorfologia procura também evoluir suas técnicas junto ao uso das inovações em SIGs para que possa servir de subsídio para trabalhos de planejamento sobre o uso e ocupação da terra (FLORES, 2012).

A compartimentação geomorfológica feita a partir da utilização da modelagem computacional, auxilia no diagnóstico ambiental e reduz a subjetividade nos

procedimentos adotados, o que permite a realização de um estudo qualitativo e quantitativo do uso de uma determinada área (BORGES, 2008).

A utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) nas análises geomorfológicas possibilita a elaboração de um conjunto de mapas temáticos, no qual o mapeamento geomorfológico mediante cruzamento com outros mapeamentos, fornece diferentes cenários referentes ao espaço geográfico de forma dinâmica, objetiva e rápida.

De tal forma, a escolha pela área de estudo deu-se pela carência de trabalhos dessa natureza na área e por apresentar uma maior facilidade nas formas de planejamento e gestão dos recursos pelo fato de abranger apenas um município. Tornar-se-ia, portanto, mais difícil se envolvesse diversos municípios e diferentes objetivos. Portanto, tal trabalho poderá servir as mais diversas instituições de ensino e gestão pública como importante material de apoio as suas atividades.

Logo, o presente estudo apresenta a compartimentação geomorfológica do município de São Sepé tendo como base aos níveis taxonômicos propostos por Ross (1990, 1992), fundamentada na análise de dados quantitativos, trabalhados em ambientes SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) e obtidos por meio de técnicas de geoprocessamento.

A presente dissertação tem como objetivo geral realizar uma compartimentação geomorfológica do município de São Sepé - RS. Para atender ao objetivo geral, tal pesquisa apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar mapas bases, como rede hidrográfica, relevo e litológico que auxiliarão na análise e compartimentação geomorfológica;
- Definir e caracterizar os compartimentos geomorfológicos através de três níveis de mapeamentos: unidades de relevo, os elementos de relevo (geomorphons) e as formas das vertentes;

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro corresponde a introdução. O segundo capítulo visa localizar a área de estudo no contexto regional, além de apresentar algumas informações referentes ao histórico do município e aspectos econômicos.

O terceiro capítulo, refere-se as concepções teóricas que deram suporte a proposta do trabalho, e que abordam, a Teoria Sistêmica, o Mapeamento Geomorfológico e os Sistemas de Informações Geográficas e a Análise do Relevo. O quarto capítulo é responsável por tratar dos materiais e procedimentos metodológicos

utilizados no decorrer da pesquisa, apresentando uma proposta metodológica para a elaboração da compartimentação geomorfológica.

No quinto capítulo, é apresentada a análise dos elementos do meio físico (hidrografia, relevo e litologias). O sexto capítulo corresponde a compartimentação geomorfológica e apresenta as relações dos níveis taxonômicos do relevo no município de São Sepé. Por fim, o sétimo capítulo apresenta as considerações finais.

2 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de São Sepé (Figura 1) está localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul. Ocupa uma área de aproximadamente 2.202,64 km², uma população total estimada em 23.690 habitantes e uma densidade demográfica de 10,81 hab/km² (IBGE, 2017).

A sede do município de São Sepé fica a aproximadamente 265 km da capital do estado, Porto Alegre e limita-se com os seguintes municípios: Santa Maria e Formigueiro (ao norte), Cachoeira do Sul (a nordeste), Caçapava do Sul (a leste), Lavras do Sul (ao sul), Vila Nova do Sul (a sudoeste) e São Gabriel (a oeste).

2.1 BREVE HISTÓRICO DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ

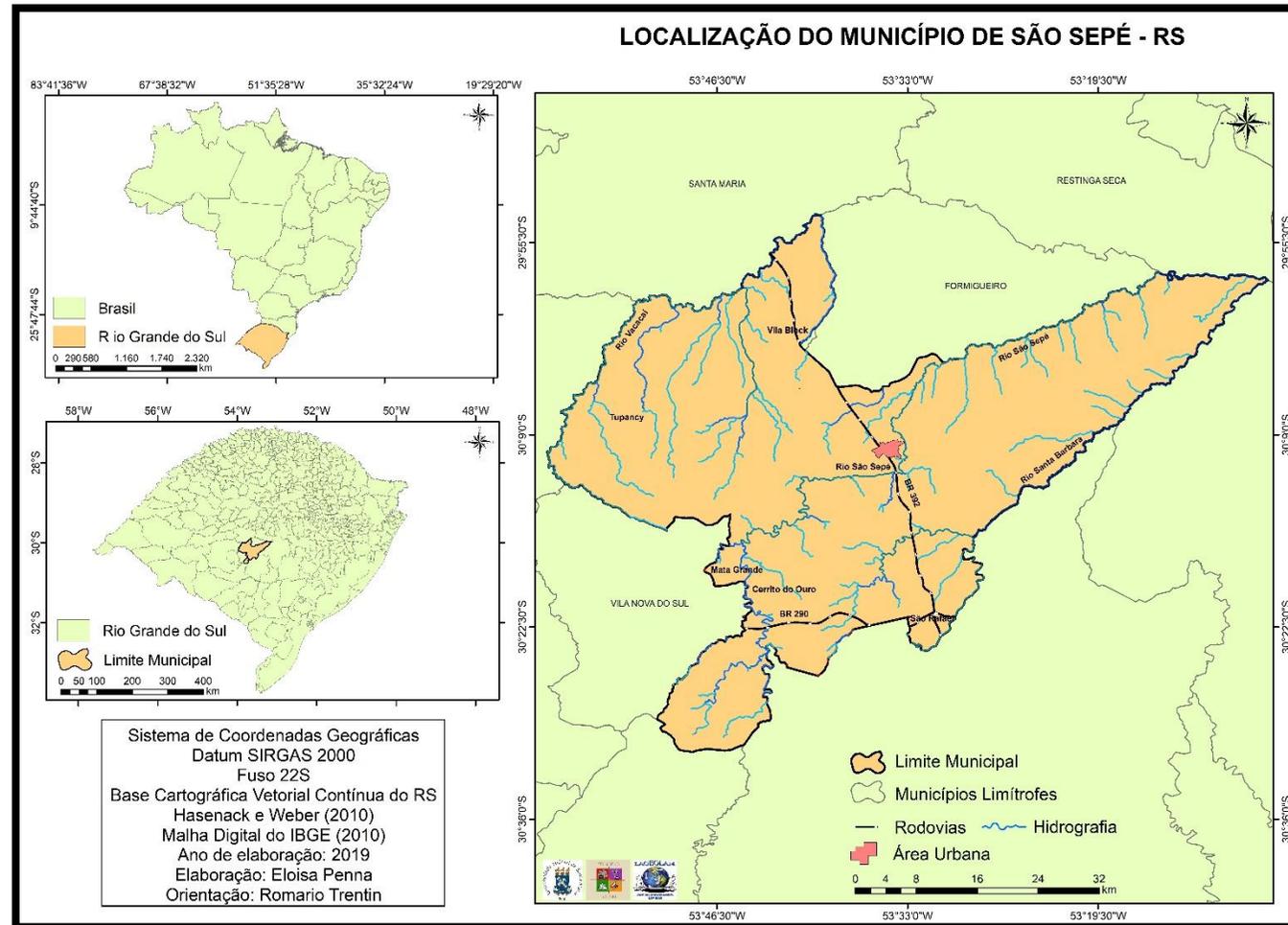
Os primeiros registros de ocupação das terras do município de São Sepé, chamada Fazenda São João, datam de 1750 com um povoamento de índios catequisados pelos jesuítas e chefiado pelo cacique Sepé Tiaraju. Sepé Tiaraju morreu em 1756 em luta contra um exército de demarcação português-espanhol que invadiu as Missões Orientais (IBGE, 2017).

A cidade de São Sepé surge em 1829, a partir da ideia dos moradores do distrito de São João, da instalação de uma capela própria em homenagem a Nossa Senhora das Mercês, próximo ao rio São Sepé na propriedade da família Fraga que juntamente com demais fazendeiros e autoridades eram contrários à construção. Mesmo assim, em 15 de fevereiro de 1830 umas quarenta pessoas lideradas pelo carpinteiro Francisco Antônio de Vargas saem a cavalo de Formigueiro e erguem uma cruz no local escolhido (IBGE, 2017).

Com o objetivo de acabar com os impasses referentes a edificação, Plácido Gonçalves Dias compra o terreno da família Fraga e o doa para o levantamento da capela, assim como vários terrenos para as demais edificações. Com isso, iniciou-se o povoamento. Acredita-se que em 07 de dezembro de 1850, quando esse povoado foi elevado a freguesia, ele tenha passado a se chamar São Sepé, nome que se refere ao índio Sepé Tiaraju.

O município de São Sepé foi criado em 29 de abril 1876, com terras desmembradas dos municípios de Cachoeira do Sul e Caçapava do Sul.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

➤ *Aspectos Econômicos*

Conforme dados coletados no portal do IBGE, o município de São Sepé possui sua matriz produtiva baseada no setor primário, principalmente na produção agrícola com destaque para as culturas de arroz e soja. Em relação a agropecuária, o município destaca-se com a criação de bovinos. A Tabela 1 apresenta os dados de produção agrícola e pecuária do município de São Sepé.

Tabela 1 - Dados da produção agrícola e pecuária no ano de 2017.

PRODUÇÃO AGRÍCOLA (2017)	
Produto	Quantidade em Toneladas
Arroz	120.404
Aveia	4.207
Feijão	18
Laranja	37
Mandioca	502
Milho	1.873
Soja	167.014
Trigo	1.870
Uva	93
PRODUÇÃO DA PECUÁRIA (2017)	
Rebanho	Número de Cabeças
Bovinos	102.986
Equinos	3.482
Galináceos	26.638
Ovinos	23.125
Suínos	2.964

Fonte: IBGE (2017).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse capítulo apresenta o levantamento bibliográfico que serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa e está dividido em três partes: A Teoria Sistêmica; Mapeamento Geomorfológico e Sistemas de Informações Geográficas e a Análise do Relevo.

3.1 A TEORIA SISTÊMICA

A Teoria Geral dos Sistemas foi desenvolvida pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy por volta dos anos de 1930, com aplicações na Biologia e na Termodinâmica. Foram necessárias várias décadas para a expansão de tais preceitos pela totalidade das demais ciências.

Tal teoria surgiu da necessidade de analisar os sistemas como um todo e assim, alcançar novos rumos aos estudos onde os componentes de um sistema eram vistos de forma isolada. Isso fazia com que muitos pesquisadores não conseguissem se comunicar com as diversas áreas das ciências. Nesse sentido, Bertalanffy (1973, p. 29) apresenta a seguinte justificativa

A necessidade resultou do fato do esquema mecanicista das séries causais isoláveis e do tratamento por partes ter se mostrado insuficiente para atender aos problemas teóricos, especialmente nas ciências biossociais, e os problemas práticos propostos pela moderna tecnologia. A viabilidade resultou de várias novas criações – teóricas, epistemológicas, matemáticas, etc. – que, embora ainda no começo, tornaram progressivamente realizável o enfoque dos sistemas.

Tricart (1977) define sistema como um conjunto de fenômenos que se desenvolvem a partir de fluxos de matéria e energia, em que os fluxos apresentam dependências entre os fenômenos. Surge assim, uma identidade mais dinâmica, que permite adotar uma atitude dialética com a necessidade de uma visão de conjunto, sendo capaz de atuar de forma mais eficaz sobre o meio ambiente. Nessa época, o autor já havia destacado as intervenções humanas sobre o meio ambiente, ao defender o estudo de todos os elementos do meio (solo, clima, relevo, geologia e vegetação) de forma integrada, com o objetivo de conhecer a estabilidade natural desses elementos, o que possibilitou o desenvolvimento de vários estudos integrados do meio natural.

Os sistemas possuem entrada (*input*) e saída (*output*). A entrada representa aquilo que o sistema recebe do meio ambiente para ser processado. Tais entradas sofrem transformações no seu meio interno e após são direcionadas para fora, saída é o resultado final do processo de um sistema.

Para Christofolletti (1980 p. 01) “um sistema pode ser definido como o conjunto dos elementos e das relações entre si e entre os seus atributos”. Classifica os sistemas em isolados e não-isolados. Os sistemas isolados são aqueles que não mais perdem nem recebem energia ou matéria do ambiente que os cerca. Por outro lado, os sistemas não-isolados são os que tem relações com os outros sistemas do meio no qual funcionam.

Ademais, os sistemas não-isolados se dividem em abertos e fechados. Nos sistemas abertos ocorrem contínuas trocas de energia e matéria, recebendo e perdendo. Nos sistemas fechados há recebimento e perda de energia, mas não de matéria. Para concluir a ideia, salienta-se que os sistemas abertos são aqueles que precisam de um suprimento de energia para que se mantenham e seu equilíbrio ocorre através da retirada constante de matéria e energia (GREGORY, 1992).

Christofolletti (1999) apresenta também a classificação estrutural de Chorley e Kennedy (1971) que distingue dez tipos de sistemas e define quatro como sendo os mais relevantes para o campo da Geografia: (1) sistemas morfológicos correspondem às formas podendo escolher as diversas variáveis a serem medidas (comprimento, altura, largura, declividade, granulometria, densidade e outras); (2) sistemas em sequência ou encadeantes são compostos por cadeias de subsistemas, possuindo tanto grandeza como localização espacial, que são dinamicamente relacionados por uma cascata de matéria e energia; (3) sistemas de processos-respostas são formados pela combinação de sistemas morfológicos que representa a forma e sistemas em sequência que indicam o processo; e (4) sistemas controlados são os que apresentam a atuação do homem sobre os sistemas de processos-respostas.

Na Geomorfologia, identifica-se a Teoria do Ciclo Geográfico relacionada a evolução do modelado terrestre proposta por Willian Morris Davis como um dos pontos de partida das bases sistêmicas dentro dessa ciência. Desenvolvida por volta de 1890, considerava o relevo sujeito as influências dos ciclos, resultante dos processos morfogenéticos (VICENTE e PEREZ FILHO, 2003).

A geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo. Essas formas foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. Dessa

forma, as relações entre processos e formas constituem o sistema geomorfológico, que é um sistema aberto, pois influencia e atua sobre outros sistemas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

De acordo com De Nardin (2009), a aplicação da visão sistêmica na Geografia Física data os anos de 1950 e foi primeiramente utilizada em pesquisas de cunho hidrológico e climatológico.

O uso dessa abordagem na Geografia Física serviu para delimitar de maneira mais exata as suas pesquisas e de forma mais precisa o seu setor de estudo. Isso estimulou vários setores, entre os quais a geomorfologia. Dessa forma, Christofolletti (1997, apud Vicente e Perez Filho 2003, p. 333) destaca a importância da abordagem sistêmica na análise geomorfológica

A abordagem sistêmica surge como plenamente adequada à análise geomorfológica, pois considera que um sistema é constituído por um conjunto de elementos interconectados que funcionam compondo uma complexa entidade integrada. Nos sistemas geomorfológicos, as partes constituintes são representadas pelas formas topográficas, integradas pela ação dos processos morfológicos, enquanto os condicionamentos ambientais são representados pela dinâmica atmosférica e fatores da geodinâmica terrestre.

Melo (2008) salienta que a abordagem sistêmica possibilita o conhecimento da natureza e da sua estrutura, os seus elementos, as suas inter-relações, os seus componentes e a interferência humana nesse meio.

Para Vicente e Perez Filho (2003), o paradigma sistêmico na Geografia ocorre na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica ambiental, pela evolução e interação de seus componentes socioeconômicos e naturais, no conjunto de sua organização espaço-temporal. Assim, surgem as propostas de cunho sistêmico e sua fundamentação integrada da abordagem de objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e sua inerente complexidade.

Segundo Rodrigues (2001) a Teoria Geossistêmica foi difundida inicialmente no Brasil pelos periódicos do extinto Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, através da publicação do texto de Bertrand (1972) e mais tarde, com a tradução dos artigos de Sotchava (1977, 1978).

O pensamento sistêmico ganhou forças dentro das ciências em consequência da necessidade de compreender a natureza devido aos avanços científicos, ao desenvolvimento tecnológico e a necessidade de comandar estruturas

organizacionais complexas principalmente após a Segunda Guerra Mundial (KASPER, 2000).

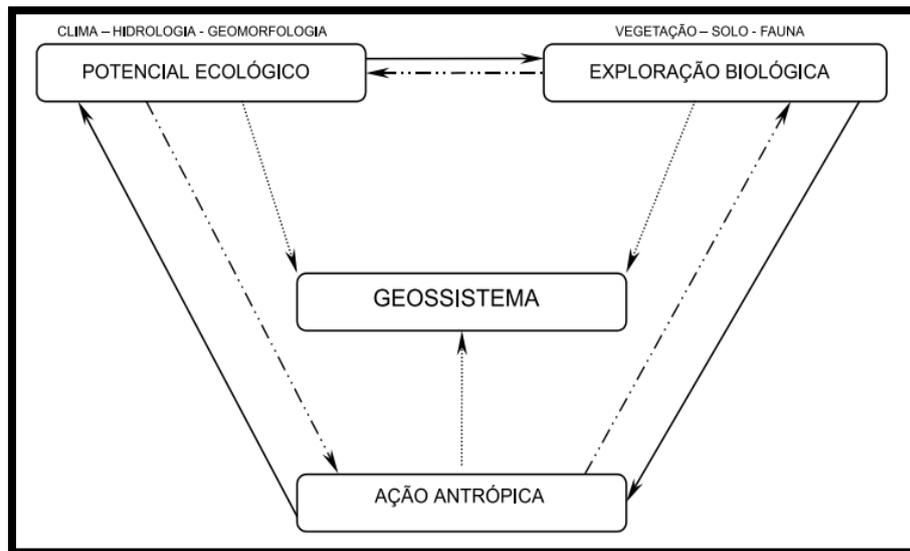
Já o termo geossistema foi criado por Sotchava no âmbito das ciências naturais no início da década 1960, com a intenção de estabelecer uma tipologia aplicável aos fenômenos geográficos. Para o referido autor, a principal ideia de geossistema refere-se à ligação existente entre a natureza e a sociedade, pois mesmo sendo fenômenos naturais, os geossistemas são influenciados tanto pelos fatores sociais e econômicos, devendo assim ser levados em consideração durante sua análise Sotchava (1977, apud CHRISTOFOLETTI, 1999).

George Bertrand, publicou na França em 1968 o artigo “Paisagem e Geografia Física Global”, que foi publicado no Brasil em 1972. É considerado como o primeiro artigo a influenciar os geógrafos brasileiros sob o conceito de geossistemas (Monteiro, 2000). Para Bertrand (2004, pag. 146-147) o geossistema

[...] corresponde a dados ecológicos relativamente estáveis. Ele resulta da combinação de fatores geomorfológicos (natureza das rochas e dos mantos superficiais, valor do declive, dinâmica das vertentes...), climáticos (precipitações, temperatura...) e hidrológicos (lençóis freáticos epidérmicos e nascentes, pH das águas, tempos de ressecamento de solo...). É o “potencial ecológico” do geossistema. Ele é estudado por si mesmo e não sob o aspecto limitado de um simples “lugar”.

Para representar a ideia central de Geossistema, Bertrand (2004, p. 146) apresentou um modelo que demonstra a relação existente entre o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica (Figura 2).

Figura 2 - Modelo dos geossistemas e suas conexões.



Fonte: Bertrand (1972).

Pode-se dizer que a Teoria geral dos Sistemas representou um importante avanço na análise dos sistemas em diversas áreas do conhecimento por considerar a interação dos elementos bióticos, abióticos e antrópicos e não os estudar de forma isolada. Nesse sentido, Marques Neto (2008, p. 83) aponta sobre a abordagem sistêmica “[...] constitui método de grande valia para o estudo do meio físico. Encontrou vasto campo de aplicação nos estudos ambientais, entre eles naqueles sob a alçada da Geografia Física.

Diante disso, metodologicamente a Teoria Geral dos Sistemas norteia este trabalho, pois o mesmo busca uma relação estre os elementos do meio físico na delimitação dos compartimentos geomorfológicos, assim como, estabelecer análises em diferentes escalas, relacionar as unidades de relevo, os elementos de relevo e as formas das vertentes.

3.2 MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO

Segundo Guerra (1993), a geomorfologia é a ciência que estuda as formas do relevo. Ela considera sua origem, estrutura, natureza das rochas, clima e as diferentes

forças endógenas e exógenas, que são responsáveis pela construção e destruição do relevo terrestre.

Cabe a geomorfologia o estudo do relevo vinculado não apenas as diferentes formas da superfície da terra, mas também o entendimento em relação a maneira que sua influência se apresenta na organização do espaço geográfico. Seu estudo se torna fundamental na compreensão das relações existentes entre o solo, as litologias, o clima, a vegetação, a hidrografia e as atividades humanas.

As formas de relevo da superfície terrestre resultam de processos atuais e pretéritos, consequência das forças endógenas (resultantes da dinâmica interna da Terra), e das forças exógenas (resultantes da dinâmica externa). Essas forças causam no modelado terrestre constante mudanças, resultando em relevos com características peculiares (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Souza (2013) destaca que o conhecimento do relevo não implica somente na sua estrutura e forma, mas, sob o ponto de vista da ação humana, na tomada de decisões sobre o planejamento do uso do solo, seja no meio rural ou urbano. Para tanto, os modelados são mecanismos fundamentais ao próprio modo de organização dos espaços. Seguindo essa linha de pensamento, Ross (2006, p.62) salienta que

As formas do relevo devem ser vistas e entendidas como mais um dos vários componentes da natureza e, na perspectiva humana, como um recurso natural, pois as variações de tipos de forma favorecem ou dificultam os usos que as sociedades humanas fazem do relevo (...). Não são apenas as condições de solos e climas os fatores indutores únicos no processo de produção dos espaços pelas sociedades humanas. Na verdade, é um conjunto de fatores que podem ser distinguidos em duas grandes ordens: os fatores naturais e os cultural-econômicos.

Segundo Florenzano (2008), a análise do relevo é importante para a geomorfologia e demais ciências que estudam os componentes da superfície da terra (rochas, solos, vegetação e água), assim como o estabelecimento de legislação para ocupação e proteção do meio ambiente. Atualmente, a geomorfologia apresenta uma grande variedade de métodos, técnicas e equipamentos que proporcionam estudar as formas de relevo de maneira profunda, pois combinam modelos de precisão, observações de campo e dados extraídos de sensoriamento remoto e experimentos laboratoriais.

A geomorfologia possibilita, por meio do seu estudo, a análise espaço-temporal dos processos atuantes no modelado do relevo terrestre. Além disso, permite

identificar ou prever processos de degradação ambiental relacionado aos elementos físicos em uma determinada área. Dessa forma, a análise geomorfológica representa um importante instrumento de análise e determinação de ações preventivas ou mitigadoras para evitar impactos ao meio ambiente (CABRAL, 2014).

Fujimoto (2005, p.1) aponta que “a análise geomorfológica consiste na identificação e mapeamento dos compartimentos de relevo determinados por fatores naturais, originados por processos climáticos passados e atuais”.

Conforme Ab’Saber (1969), o uso de métodos mais específicos e objetivos para a cartografia geomorfológica no Brasil ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, por meio de Francis Ruellan que incentivou o uso de fotografias aéreas na obtenção de cartas geomorfológicas detalhadas. Anteriormente, o método usado era croquis geomorfológicos que rapidamente se tornaram de pouca utilidade.

Ainda, de acordo com Barbosa et al (1984), no Brasil, até 1968, a experiência sobre mapeamento geomorfológico era pequena, elaborada por universidades e geralmente fundamentada em modelos estrangeiros baseadas em aerofotos. As bases e o princípios de uma cartografia geomorfológica brasileira foram praticamente lançadas por Ab’Saber e Moreira em 1969.

Conforme Casseti (2005), o desenvolvimento da pesquisa geomorfológica no Brasil teve importante contribuição do professor Ab’Saber, que estabeleceu três níveis de abordagens na análise do relevo: a compartimentação topográfica, a estrutura superficial e a fisiologia da paisagem. Para a compreensão da compartimentação topográfica, é necessário entender o processo evolutivo e considerar a ação diferencial dos processos morfogenéticos. Pela estrutura superficial, pode-se compreender os processos morfogenéticos pretéritos e oferecer subsídios, através da propriedades físico-químicas dos depósitos de cobertura, que auxiliam no entendimento da vulnerabilidade do terreno. A fisiologia da paisagem se refere ao momento atual, e até sub-atual, do quadro evolutivo do relevo.

A geomorfologia apresenta, na cartografia geomorfológica, um dos mais importantes meio de comunicação e análise dos resultados obtidos nos estudos das formas e compartimentação do relevo (LUPINACCI, MENDES & SANCHEZ, 2003). Nessa mesma perspectiva, Kohler (2001) destaca que a cartografia é a melhor maneira de se representar uma análise geomorfológica, pois um mapa geomorfológico, com boa resolução cartográfica é um instrumento de leitura universal,

acessível a qualquer profissional. Ademais, esse mapa deve conter os referenciais geomorfológicos e georreferenciados no espaço e no tempo.

Para De Nardin (2009), os mapas geomorfológicos apresentam um grau de complexidade maior aos demais mapas temáticos. Isso porque as formas de relevo e os processos geomorfológicos possuem grande importância, tanto por constituir o substrato físico onde ocorrem as atividades humanas ou por responder, muitas vezes, de maneira agressiva, por tais atividades. Nesse sentido, Ross (1991, p.17) destaca

Interpretar o relevo não é simplesmente saber identificar padrões de formas ou tipos de vertentes e vales, não é simplesmente saber descrever o comportamento geométrico das formas, mas saber identifica-las e correlaciona-las com os processos atuais e pretéritos, responsáveis por tais modelados, e com isso estabelecer não só a gênese mas também a sua cronologia, ainda que relativa.

Os sistemas de mapeamento geomorfológico nem sempre incluem todos os aspectos do relevo, ou lhes dão a mesma ênfase. Alguns englobam, nos mapas geomorfológicos, informações geológicas, particularmente de litologias e de materiais inconsolidados ou de formações superficiais (FLORENZANO, 2008).

Desse modo, apesar da grande diversidade de métodos para o mapeamento geomorfológico, ainda hoje não existe uma técnica padrão para a sua aplicação. De tal forma, na presente pesquisa será utilizada a proposta de taxonomia do relevo proposto por Ross (1990, 1992), que tem sua base teórica nos pressupostos de Penk (1953), Guerasimov (1946) e de Mecerjakov (1968) apud Ross (1992) que desenvolveu os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura. De maneira resumida, a morfoestrutura está relacionada aos fatores endógenos, sua gênese e idade. Em contrapartida, a morfoescultura se refere aos processos exógenos e seus modelados característicos impressos na superfície da Terra.

Conforme Guerasimov (1946) e Mecerjakov (1968), a morfoescultura resulta de processos morfogenéticos, comandados por um determinado tipo climático atual e do passado. Além disso, reflete a resistência da litologia e de seu arranjo estrutural sobre o qual foi esculpida. Por outro lado, o processo morfoclimático ocorre devido a ação climática sobre uma determinada estrutura.

A definição de mapeamento geomorfológico tem como princípio básico o ordenamento dos fatos geomorfológicos de acordo com uma classificação temporal e espacial, na qual se distinguem os modelados como unidade básica e seus agrupamentos hierarquicamente relacionados. Para a individualização, são

considerados como parâmetros fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica que são responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico (IBGE, 2009).

Para se desenvolver uma pesquisa geomorfológica, um ponto relevante diz respeito à classificação das formas de relevo quanto ao tamanho, gênese e idade. Nesse sentido, Ross (1990,1992) propõe uma metodologia de mapeamento geomorfológico baseado em seis níveis taxonômicos ou níveis de análise. Eis as etapas: 1º táxon - representa as Unidades Morfoestruturais, características estruturais das grandes formas do relevo; 2º táxon - corresponde as Unidades Morfoesculturais, compartimentos gerados pela ação climática inserida no 1º táxon; 3º táxon - refere-se aos Padrões de Formas Semelhantes, as formas menores de relevo contido no 2º táxon; 4º táxon - confere a Unidade de Formas de Relevo, podendo ser formas agradacionais (terraços fluviais, planícies fluviais, etc) ou denudacionais (colinas, morros, etc); 5º táxon - refere-se aos Tipos de Vertentes (côncava, convexa, dentre outras) de cada uma das formas de relevo e o 6º táxon representa as Formas de Processos Atuais (ravinas, boçorocas, aterros, dentre outros).

As unidades taxonômicas do referido autor se tornaram uma relevante base metodológica para os estudos das compartimentações do relevo, ao apresentar a relação da dimensão espacial, da relação da área estudada e os fatores genéticos registrados ao passar do tempo.

De acordo com Ross (1992), os estudos geomorfológicos e ambientais, sejam eles detalhados ou de âmbito regional, funcionam como instrumento de apoio técnico aos diversos interesses políticos e sociais. Com as formas de relevo definidos, torna-se mais fácil operacionalizar uma pesquisa geomorfológica, tendo como apoio a cartografia das formas do relevo de diferentes tamanhos.

Cabe destacar que as geotecnologias contribuem nos estudos que envolvem a geomorfologia ao possibilitar maior precisão nas análises, gerar novas aplicações, fornecer novos meios de investigação e incrementar a capacidade de processamento de dados (IBGE, 2009).

Além disso, destaca-se também que a acessibilidade tecnológica e computacional dos últimos tempos, junto ao uso do geoprocessamento tem possibilitando aos estudos geomorfológicos, em específico a identificação das formas do relevo, uma classificação de forma rápida e precisa.

A compartimentação geomorfológica feita com as técnicas de SIG e do processamento digital de imagens possibilita descrever a complexidade dos processos que atuam na formação da paisagem ao permitir a integração dos diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo (BORGES, 2008).

Nesse sentido, o presente trabalho utilizou-se dos *Geomorphons* como metodologia de análise dos elementos do relevo baseado no trabalho desenvolvido Jasiewicz e Stepinski (2013). Essa metodologia caracteriza-se pela avaliação de variáveis morfométricas correlacionadas através de métodos estatísticos por meio de aplicativo específico, cujos elementos são classificados de forma automatizada a partir da utilização de Modelos Digitais de Elevação. O MDE é um plano de informação que descreve a altitude ponto a ponto de uma determinada área e sua acurácia depende da resolução dos dados (FLORENZANO, 2008).

Conforme Muñoz (2009) o MDE da missão SRTM é uma importante fonte de informações topográficas complementar ao uso de fotografias aéreas em levantamentos dos recursos naturais. É uma fonte de grande utilidade em escalas de reconhecimento (1:100.000) e menores.

A partir do MDE é possível extrair variáveis geomorfométricas para a caracterização da paisagem e diminuir a demanda de trabalho manual e subjetividade das atividades, o que enfatiza o estabelecimento das relações entre as variáveis topográficas e atributos da paisagem como solo, clima e vegetação (VALERIANO, 2008). Entre as variáveis mais amplamente difundidas estão a declividade, a altitude, a orientação das vertentes, a curvatura vertical e a curvatura horizontal.

Desse modo, destaca-se que para análise das formas das vertentes da área de estudo, optou-se pela classificação geomorfométrica que também pode ser realizada com dados SRTM. Essa metodologia foi desenvolvida por Silveira e Silveira (2013) que usou esse método na classificação do relevo no estado do Paraná, por meio da avaliação de variáveis morfométricas relacionadas através de métodos estatísticos em ambiente SIG.

A vertente se caracteriza como a mais básica de todas as formas de relevo. Sua importância decorre sob dois aspectos: primeiro, por permitir o entendimento do processo evolutivo do relevo em diferentes circunstâncias porque permite a reconstituição do modelado como um todo e também, porque sintetiza as diferentes formas do relevo estudada pela geomorfologia, as quais são direta ou indiretamente

alteradas pelo homem e suas atividades (CASSETI, 2005). Para o autor citado, a vertente possui informações importantes para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos responsáveis pela elaboração do relevo na escala de tempo geológico. Isso ajuda a entender as mudanças processuais recentes na escala de tempo histórico e se individualiza como palco de transformações sócio reprodutora.

O perfil de curvatura e plano de curvatura das vertentes são importantes para o entendimento de processos geomorfológicos (Sirtoli et al, 2008). O perfil de curvatura refere-se ao caráter côncavo e convexo do terreno quando analisado em perfil. Desempenha papel importante sobre a evapotranspiração e o decorrente balanço hídrico (VALERIANO, 2003). O plano de curvatura refere-se ao caráter divergente e convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno quando analisado em projeção horizontal. Desempenha papel importante sobre o decorrente balanço hídrico e os processos de pedogênese (VALERIANO e CARVALHO JÚNIOR, 2003).

A orientação de vertentes (conhecida também como aspecto) está definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente, expressa em graus entre 0° e 360° (MUÑOS, 2009).

Para Valeriano (2008) a declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação a horizontal. Devido a sua ligação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento), é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial. Já a altitude é a distância vertical de um ponto da superfície da terra em relação ao nível zero ou nível médio dos oceanos, determinado pelo modelo geoidal de referência (GUERRA, 1993).

Salienta-se que o uso das variáveis geomorfométricas é cada vez mais frequente na cartografia geomorfológica, devido a facilidade de parametrização dos aspectos do relevo calculados a partir do MDE.

Para Scoti (2017), a partir dos SIGs a obtenção dos atributos do relevo, tais como a parametrização da morfologia, que é o processo de extração de atributos quantitativos da topografia, passou a ser um procedimento de fácil acesso.

De tal forma, conclui-se que as técnicas de análise do relevo com o uso dos SIGs permitem a integração e a espacialização dos dados e possibilitam a geração e análise da informação geográfica a partir de um grande volume de informação.

3.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E A ANÁLISE DO RELEVO

Com as novas tecnologias, em especial as Geotecnologias, cada vez mais são usadas técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistema de Informação Geográfica (SIG) com a possibilidade de manuseio de um grande volume de informações sobre o meio físico.

As Geotecnologias podem ser entendidas como as novas tecnologias ligadas as geociências e correlatas, que trazem avanços importantes no desenvolvimento de pesquisas, em ações de planejamento, em manejos e em vários outros aspectos relacionados a estruturação do espaço geográfico (FITZ, 2008).

Com o desenvolvimento da informática, tornou-se possível armazenar e representar as mais diversas informações geográficas em ambiente computacional. Nasceu dessa forma, o Geoprocessamento. O Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que usa técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. Suas ferramentas computacionais são chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciado e, a produção de materiais cartográficos (CÂMARA, DAVIS e MONTEIRO, 2001).

De acordo com Câmara et al (1996) os SIGs são sistemas de informação construídos especialmente para o armazenamento, análise e manipulação de dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica indispensável para tratá-los.

Na década de 1970 ocorreu um grande desenvolvimento dos SIGs, com o aumento da capacidade computacional e o desenvolvimento de tecnologias e áreas relacionadas, tais como o sensoriamento remoto, sistema de gerenciamento de banco de dados, cartografia digital, processamento de imagens, fotogrametria e projeto assistido por computador (*Computer Aided Design – CAD*). Ainda assim, nesse período o uso do SIG era restrito as universidades, órgãos de pesquisa e algumas empresas privadas. Com o passar do tempo e redução dos custos, no entanto, passou a ser mais difundido (HAMADA e GONÇALVES, 2007).

O SIG é utilizado no Geoprocessamento como ferramenta computacional que possibilita fazer análises. Por meio do seu uso é possível atualizar facilmente as características espaciais do relevo por se apresentarem em formato digital.

Na presente pesquisa, o SIG entra como uma importante ferramenta de manipulação capaz de promover ajustes e cruzamentos simultâneos de diferentes informações e imagens do relevo, o que minimiza a complexidade do estudo através de ferramentas gráficas e interativas.

Pilachevsky (2013) acrescenta que as principais potencialidades do SIG são: geração de mapas com maior agilidade; ajuste de mapas em diferentes formatos; minimização do uso de mapas impressos; criação de representações em 3D; agilidade na manipulação de dados e sobreposições de mapas temáticos para a elaboração de mapas de síntese; análise da distribuição espacial de dados e fenômenos; recuperação, manipulação e visualização de dados através de algoritmos de manipulação e análise. Nesse sentido, de acordo com Sousa e Jordão (2015, p.152)

O aperfeiçoamento das tecnologias aplicadas à Cartografia vem trazendo mudanças nos métodos de mapeamento da superfície terrestre através do aperfeiçoamento das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento que alavancaram a cartografia digital, favorecendo a compreensão da dinâmica das relações socioespaciais. Com isso, além da construção analógica, o mapa passou a ser gerado também no formato digital tornando-se um recurso de grande potencial e com aplicações nos mais diversos campos do saber científico.

Dias (2017) destaca que a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas na produção de mapas temáticos, asseguram agilidade e eficiência quanto a manipulação, tratamento de dados e na tomada de decisões.

Rosa (2013) ressalta que paralelamente ao desenvolvimento computacional e do Sensoriamento Remoto, surgiram vários métodos matemáticos e estatísticos para o tratamento de informações geográficas, responsáveis por proporcionar mapas temáticos de vastas áreas com grande grau de precisão.

Corroborando com isso, Domingos (2007) aponta que o uso de mapas temáticos é tão importante na pesquisa geográfica que em muitos casos o método cartográfico é a base do estudo, ou torna-se uma das técnicas que ajudam na descrição e explicação das inter-relações entre os elementos dos geossistemas, sendo uma fonte de informação de grande importância.

A cartografia digital é uma ferramenta de elaboração e manipulação de produtos cartográficos na forma digital. O Geoprocessamento engloba toda a tecnologia da cartografia digital, com outras tecnologias, como o SR, os SIGs, entre outros.

No Brasil, os estudos relacionados ao Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica tiveram início a partir de 1975, através do projeto RADAMBRASIL que buscava um sistema para gerar, armazenar, recuperar e analisar o enorme acervo de dados ambientais primários e interpretativos, tais como: geologia, geomorfologia, solos, entre outros, produzidos pelo projeto (XAVIER DA SILVA, 2001).

Piroli (2010) define Geoprocessamento como o ramo da ciência que trabalha com informações georreferenciadas a partir dos SIGs, possibilitando manipular, avaliar e gerar produtos cartográficos referenciados. De acordo com Piroli (2010, p.4)

O Geoprocessamento tem como uma de suas principais características integrar uma série de conhecimentos específicos, que quando unidos possibilitam ao profissional desenvolver atividades em diversas áreas do conhecimento, tornando-se um campo promissor e bastante atraente profissionalmente.

Com relação ao Sensoriamento Remoto, pode-se dizer que se apresenta como ferramenta importante ao Geoprocessamento, por ser a técnica que visa coletar dados sobre a superfície da Terra sem a necessidade de contato direto. Para Meneses e Almeida (2012, p. 3)

O termo Sensoriamento Remoto foi criado para designar o desenvolvimento dessa nova tecnologia de instrumentos capaz de obterem imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Por isso, a definição mais conhecida ou clássica de sensoriamento remoto é: Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

O SR surgiu nos anos de 1960, no desenvolvimento da área espacial conhecida como a década da corrida espacial. Já o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foi fundamental na consolidação do sensoriamento remoto como uma tecnologia de uso em escala nacional, pois mesmo antes do lançamento do primeiro satélite de sensoriamento remoto em 1972, essa instituição já se destacava na área espacial, investindo em pesquisas de sensoriamento remoto, como por exemplo a Missão 96, projeto desenvolvido em colaboração com a NASA, que realizou um levantamento experimental aerotransportado com diversos tipos de sensores imageadores em Minas Gerais. O INPE também foi responsável pela formação dos primeiros pesquisadores em sensoriamento remoto na década de 1970 e contribuiu para o desenvolvimento das metodologias de interpretação de imagens e de

processamento digital, assim como, na propagação do uso de imagens de satélite pelo território nacional (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Os referidos autores ainda salientam que atualmente, há em circulação no espaço uma grande quantidade de sensores orbitais imageando a superfície terrestre em todas as faixas espectrais possíveis, com os mais variados parâmetros de resolução espacial e temporal, capazes de atender as necessidades de uma ampla demanda de usuários ao fornecer informações do objeto na forma digital que possibilita o uso de computadores para processar as imagens, com o objetivo principal de representar porções bem definidas do espaço terrestre, possibilitando a utilização de processamentos matemáticos, estatísticos e probabilísticos dos dados.

A aplicação de técnicas de análise de imagens possibilita a identificação de qualquer fenômeno, a partir dos dados fornecidos por uma variedade de sensores remotos atuando sobre uma determinada área (CÂMARA et al, 1996).

Para Florenzano (2008) foi a partir da utilização da fotografia aérea que a geomorfologia passou a se beneficiar da tecnologia do sensoriamento remoto, pois tornou-se possível a obtenção de informações sobre o relevo com riqueza de detalhes, além de dados sobre a cobertura vegetal e o uso da terra, condições hidrológicas, estrutura geológica, entre outros.

O uso de imagens oriundas do Sensoriamento Remoto tem aumentado consideravelmente, pois tem se mostrado como um sistema de aquisição de dados eficiente e confiável. Ele possibilita, por exemplo, juntar novas formas de ver a realidade do ambiente (SCHIRMER, 2015).

Diante do exposto, a compartimentação do relevo no município de São Sepé beneficia-se pelo uso da Cartografia Digital, dos Sistemas de Informações Geográficas, do Sensoriamento Remoto, e das técnicas de Geoprocessamento, pois são ferramentas fundamentais nos estudos referentes ao estudo em questão. Os trabalhos em ambiente digitais apresentam grande capacidade de integração de dados, aperfeiçoam a produção de diagnósticos, especializam as características do espaço geográfico e contribuem na análise das informações adquiridas.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No presente capítulo serão expostos os materiais e procedimentos metodológicos utilizados na realização do trabalho, cujo principal objetivo é apresentar a análise dos elementos do meio físico, bem como as etapas de compartimentação geomorfológica do município de São Sepé.

Quanto a concepção teórica, a metodologia utilizada nessa pesquisa empregou o modelo de investigação da abordagem sistêmica, proposto por Christofolletti (1980).

Para a análise do relevo do município, utilizou-se como referência, a proposta de análise em diferentes táxons baseando-se nas ideias propostas por Ross (1990, 1992).

4.1 MATERIAIS UTILIZADOS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS

- Malha vetorial contínua do Rio Grande do Sul, desenvolvida por Hasenack e Weber (2010) e a malha digital do IBGE (2010), ambas com escala 1:50.000. Essas bases cartográficas serviram para a elaboração dos mapas temáticos.
- Imagens de satélite disponível através do *software* ArcGIS® 10.1, foram utilizadas para fazer correções nas bases de dados.
- Imagens de RADAR da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 3 arcsec (90 metros), disponibilizado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS), foram utilizados como base para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo.
- *Softwares* utilizados para o processamento dos dados em ambiente digital: ArcGIS® 10.1 (geração do banco de dados georreferenciado e construção dos mapas temáticos).
- Google Earth Pro (visualização dos pontos obtidos através do aparelho de GPS – Global Position System e análise das características físicas do relevo).
- Global Position System – GPS (sistema de posicionamento global) utilizado nos trabalhos de campo na localização espacial dos pontos de controle.
- CorelDRAW® X5 (construção dos *layouts* dos mapas finais e perfis topográficos).

4.2 LEVANTAMENTO E PRODUÇÃO DE DADOS

4.2.1 Análise Morfométrica

Para a realização da análise morfométrica da rede de drenagem do município de São Sepé, utilizou-se a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul (HASENACK e WEBER, 2010).

Após a correção de alguns canais de drenagem através da ferramenta *Edit Features* disponível ArcGIS® 10.1 ocorreu a delimitação das sub-bacias através do processo de vetorização a partir dos pontos cotados e das curvas de nível.

Por fim, realizou-se a análise morfométrica das sub-bacias onde foram analisados os seguintes parâmetros morfométricos: Área das Sub-bacias, Número de Segimentos de Canais Fluviais, Comprimento Total dos Segimentos dos Canais Fluviais, Hierarquia Fluvial e Densidade de Drenagem.

Área das Sub-bacias: os cálculos foram realizados com a ferramenta *Calculate Geometry*, dentro da tabela de atributos, disponível no *software* ArcGIS® 10.1. A área total de cada sub-bacia foi expressa em km².

Número de Segimentos de Canais Fluviais: foi definido a partir do somatório dos canais de todas as ordens encontradas dentro do município.

Comprimento Total dos Segimentos dos Canais Fluviais: foi feita a soma de todos os segmentos de canais encontradas dentro do município. O comprimento total dos canais fluviais foi expresso em km.

Hierarquia Fluvial: a ordem dos cursos de drenagem tem por objetivo dar uma hierarquia aos segmentos de canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. Para o município de São Sepé foi adotada a classificação proposta por Strahler (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1980) na qual: os menores canais, ou seja, aqueles que não possuem tributários, são considerados canais de primeira ordem; a confluência de dois canais de primeira ordem resulta um canal de segunda ordem; a confluência de dois canais de segunda ordem surge um canal de terceira ordem e, assim, sucessivamente.

Densidade de Drenagem: a densidade de drenagem correlaciona o comprimento total dos canais com a área da bacia hidrográfica. Pode ser calculada pela equação:

$$Dd = Lt/A$$

Onde: Dd = densidade de drenagem (km/km²); Lt = comprimento total dos canais (km); e A = área da bacia (km).

Com base nisso, Christofolletti (1979) classifica o valor da densidade de drenagem em:

- ❖ Dd menor que 7,5 km/km²: baixa densidade de drenagem;
- ❖ Dd menor que 7,5 km/km² a 10 km/km²: média densidade de drenagem;
- ❖ Dd maior que 10 km/km²: alta densidade de drenagem.

4.2.2 Análise do Relevo

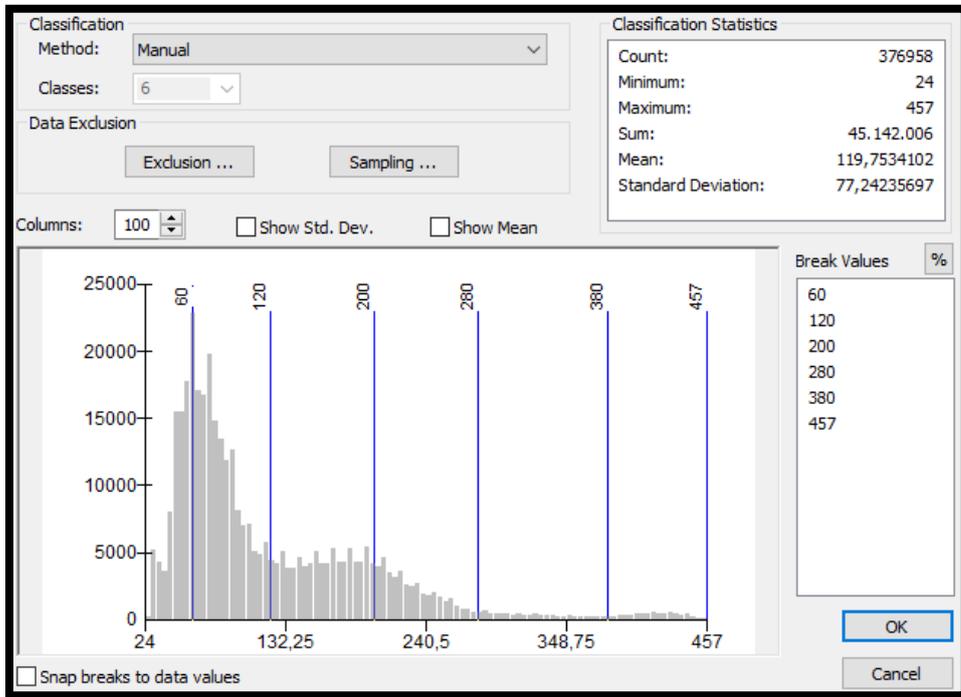
4.2.2.1 Hipsometria

Para a análise hipsométrica do município de São Sepé, foi utilizado como MDE as imagens de RADAR SRTM com resolução espacial de 90 metros, que passaram pelo processo de refinamento de imagem, através da ferramenta *Fill* do ArcGIS® 10.1. A escolha desse MDE ocorreu pela menor quantidade de ruídos presentes, visto que o município apresenta uma grande quantidade de áreas planas associadas as planícies de inundações e os outros modelos de elevação testados (SRTM 30m, ALLOS PALSAR 12,5m, TOPODATA 30m) apresentaram representação incoerente destas áreas. Tendo em vista a escala de mapeamento do trabalho utilizou-se o uso do SRTM 90m.

Devido a diferença de amplitude, a área foi dividido em seis classes hipsométricas: < 60 metros, entre 60 e 120 metros, entre 120 e 200 metros, entre 200 e 280 metros, entre 280 e 380 metros e > 380 metros.

Usando a ferramenta *Reclassify*, definiu-se as classes hipsométricas conforme o histograma de frequência do SIG que possibilita visualizar as cotas máximas e mínimas de altitude (Figura 3).

Figura 3 - Histograma de frequência relacionado a hipsometria do município de São Sepé.



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2019).

4.2.2.2 Declividade

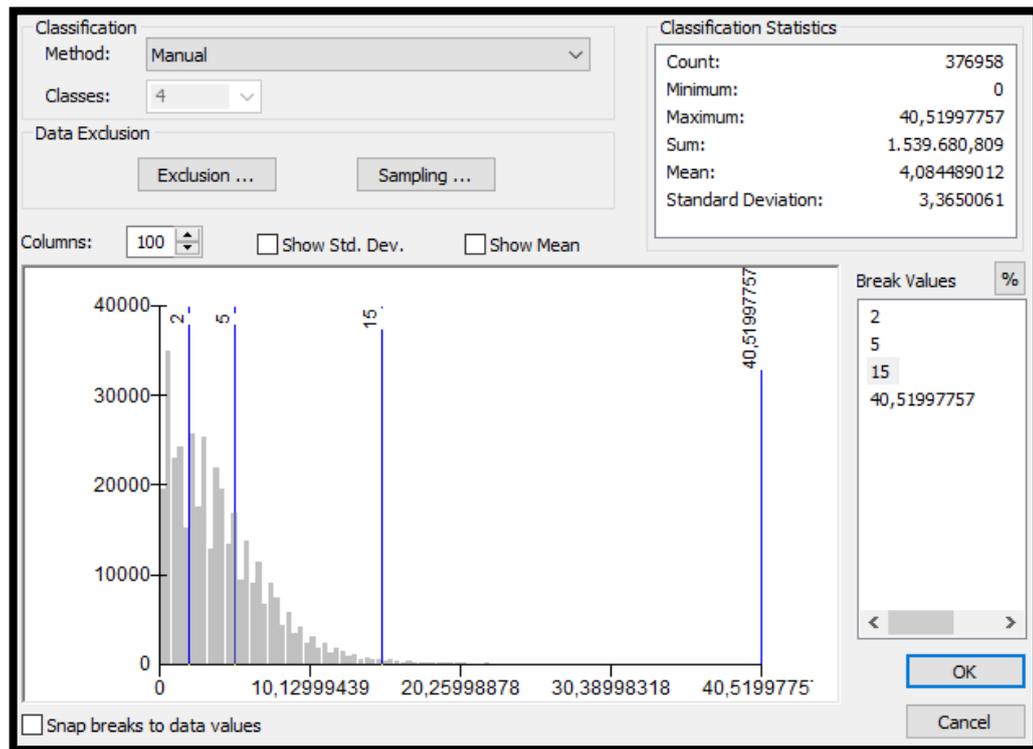
O mapa de declividade do município de São Sepé foi elaborado a partir das imagens de RADAR SRTM com resolução espacial de 90 metros, utilizando a ferramenta *Slope* do software ArcGIS® 10.1.

No mapa de declividade foi utilizado como base as classes propostas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT, 1981), sendo: <2%; 2 - 5%; 5 - 15% e >15%.

Sendo assim, foram definidas as seguintes classes de declividades: 2% marca as áreas planas geralmente associadas às drenagens e sujeitas a ocorrência de inundações; 5% representa áreas com pouca declividade, porém os processos erosivos começam a atuar; 15% limite máximo para o uso de mecanização agrícola e, áreas propícias a ocorrência de processos de movimento de massa e escorregamentos.

O histograma de frequência (Figura 4) apresenta a análise das informações referentes a declividade.

Figura 4 - Histograma de frequência relacionado a declividade no município de São Sepé.



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2019).

4.2.2.3 Curvatura das Vertentes

As vertentes são elementos da superfície da terra inclinado em relação a horizontal, que apresentam um gradiente e uma orientação no espaço (VELOSO, 2002).

A análise das curvaturas das vertentes para o município de São Sepé foi definida através do perfil e plano de curvatura, utilizando como base o trabalho de Hugget (1975) que apresenta a combinação de formas de encostas relacionando a curvatura vista em perfil e em plano.

O plano de curvatura é a taxa de variação da declividade na direção ortogonal a da orientação da vertente, foi analisado no histograma de frequência conforme o

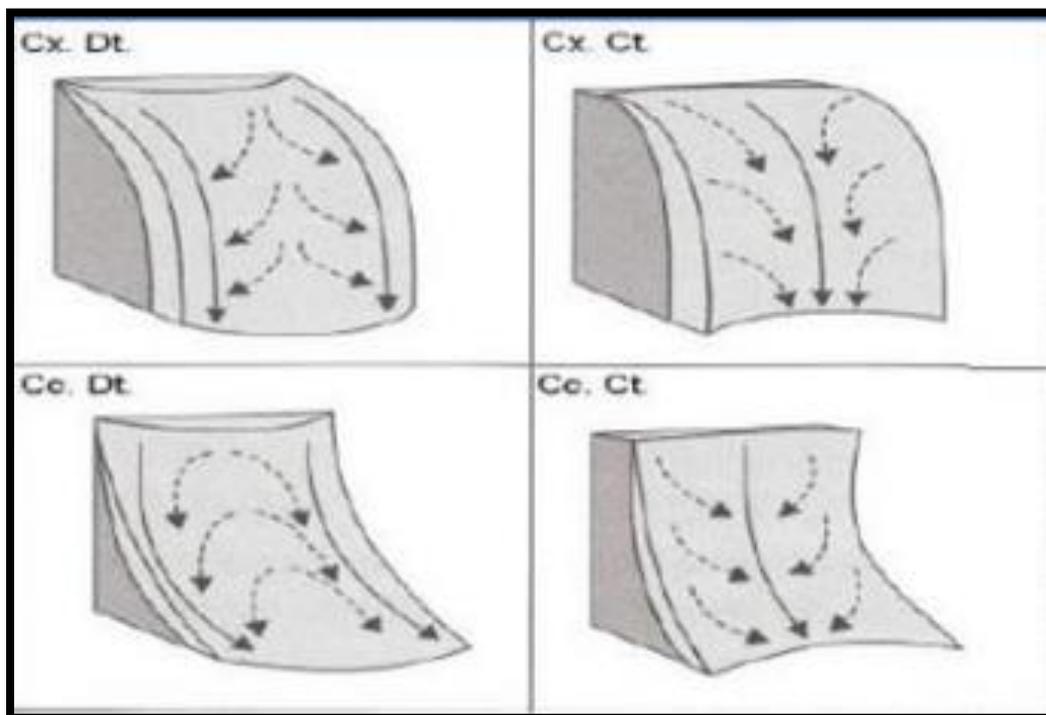
seu valor de curvatura: os valores positivos indicam vertentes divergentes e os valores negativos indicam vertentes convergentes.

Por sua vez, o perfil de curvatura é a taxa de variação da declividade na orientação de sua direção, foi analisado no histograma de frequência conforme o seu valor de curvatura: os valores positivos indicam vertentes côncavas e os valores negativos indicam vertentes convexas.

Os parâmetros de curvatura foram gerados no ArcGIS® 10.1, através da ferramenta *curvature*, a partir de um MDE resultante das imagens ajustadas de RADAR SRTM, com resolução espacial de 90 metros.

Através da ferramenta *combine* do ArcGIS® 10.1, foi possível fazer o cruzamento do perfil de curvatura com o plano de curvatura. Dessa forma, obteve-se quatro classes para as formas das vertentes da área de estudo: convexo-divergente (Cx. Dt), convexo-convergente (Cx. Ct), côncavo-divergente (Cc. Dt), e côncavo-convergente (Cc. Ct), conforme apresenta a Figura 5.

Figura 5 - Modelo de curvatura de vertentes.



4.2.3 Análise das Litologias

As informações referentes as litologias presentes no município de São Sepé tiveram como base o “Mapeamento Geológico do Estado do Rio Grande do Sul” desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil na escala 1:750.000 (Wildner et al, 2006). Para a adequação da escala do mapeamento litológico, com a escala do trabalho, foi utilizada a litologia da Folha Passo do Salsinho (CPRM, 1995) na escala 1:50.000 que abrange parcialmente a área de estudo e, alguns trabalhos científicos de mapeamentos desenvolvidos na região, os quais, juntamente com os trabalhos de campo permitiram a adequação da escala do levantamento.

Após serem obtidas as informações litológicas da área de estudo, essas foram detalhadas a partir das observações de campo realizada na área do município, sendo elaborado o mapa litológico no ArcGIS® 10.1.

➤ *Trabalhos de Campo*

O trabalho de campo consiste em uma etapa importante para o levantamento de dados. No município de São Sepé foram realizados dois trabalhos de campo, o primeiro ocorreu em março de 2018 e o segundo em julho de 2019, ambos com o intuito de fazer o reconhecimento da área de estudo, sendo realizado seguindo as vias dentro do limite do município, com o apoio do receptor GPS, caderneta de anotações, câmera fotográfica e cartas topográficas na escala 1:50.000.

Nos trabalhos de campo foram observadas e analisadas algumas características do meio físico como formas de relevo e litologias, além do levantamento fotográfico necessário para a caracterização dos elementos físicos. Na Figura 6 é possível perceber os pontos coletados com o receptor GPS durante os trabalhos de campo realizados no município de São Sepé.

4.3 COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO

Para o nível de investigação geomorfológica utilizou-se como base a proposta metodológica trabalhada por Ross (1990,1992), que classifica em níveis taxonômicos as diferentes unidades do relevo. O referido autor baseia-se na interpretação geomorfológica elaborada por Ab'Saber (1969) e Tricart (1977).

1º Táxon - **Morfoestrutural**: caracterizam-se por grandes formas do relevo. Ocorrem em escala regional. Essa unidade pode conter uma ou mais Unidades Morfoesculturais. A Bacia do Paraná é um exemplo dessa unidade.

2º Táxon - **Morfoescultural**: é fruto da ação climática, não somente da ação climática atual, mas dos climas do passado, dentro da morfoestrutura.

3º Táxon - **Padrões de Formas Semelhantes**: são conjunto de formas menores do relevo, encontram-se contidas nas Unidades Morfoesculturais. Essa forma de relevo apresenta distinção de aparência entre si em função da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão existente.

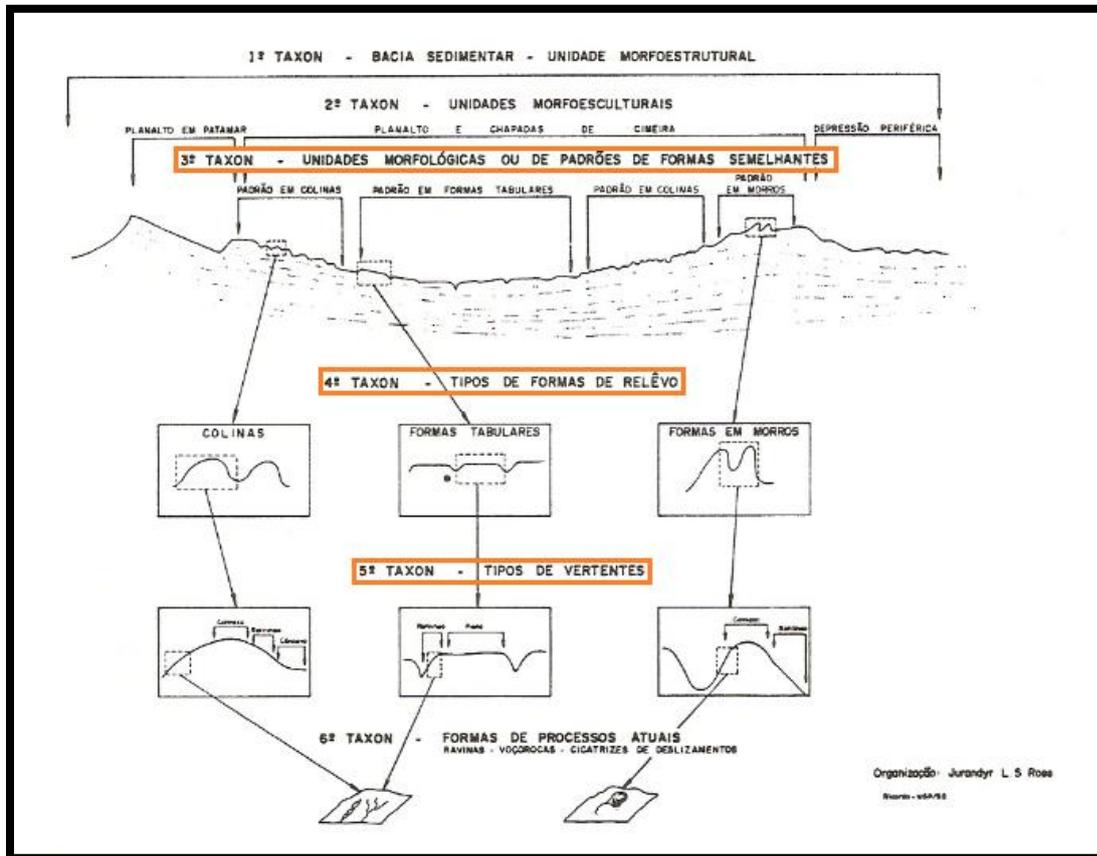
4º Táxon - **Formas de Relevo**: corresponde as formas do relevo individualizadas dentro da unidade Padrão de Formas Semelhantes. As formas de relevo dentro dessa categoria podem ser: agradacionais (terraços fluviais, planícies fluviais, etc.) ou denudacionais (colinas, morros, etc.).

5º Táxon - **Tipos de Vertentes**: setores das vertentes pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta.

6º Táxon - **Formas de Processos Atuais**: representa as formas menores produzidas pelos processos erosivos atuais ou por depósitos atuais. São exemplos as voçorocas, ravinas, assoreamentos, dentre outras.

Na compartimentação geomorfológica da presente pesquisa foram utilizados o terceiro, quarto e quinto nível de análise, conforme mostra a Figura 7. O terceiro nível apresenta as **Unidades de Relevo** (Áreas Planas, Colinas Suaves, Colinas Onduladas e Associação de Morros e Morrotes); os **Elementos de Relevo** (Vales, Encostas, Cristas, etc.) ao apresentar melhor detalhamento do relevo corresponde ao quarto nível e no quinto nível de estudo representando as **Formas das Vertentes** (unidade I, unidade II, etc.).

Figura 7 - Modelo esquemático das Unidades Taxonômicas proposto por Ross (1992).



Fonte: Adaptado de Ross (1992).

4.3.1 Unidades de Relevo

As unidades de relevo representam o terceiro nível taxonômico proposto por Ross, tendo como base a metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1981), conforme representa a Tabela 2, sendo essa metodologia modificada e adaptada de acordo as características do relevo da área estudada, levando em consideração a análise da amplitude altimétrica e declividade do terreno, além do conhecimento da área através dos trabalhos de campo.

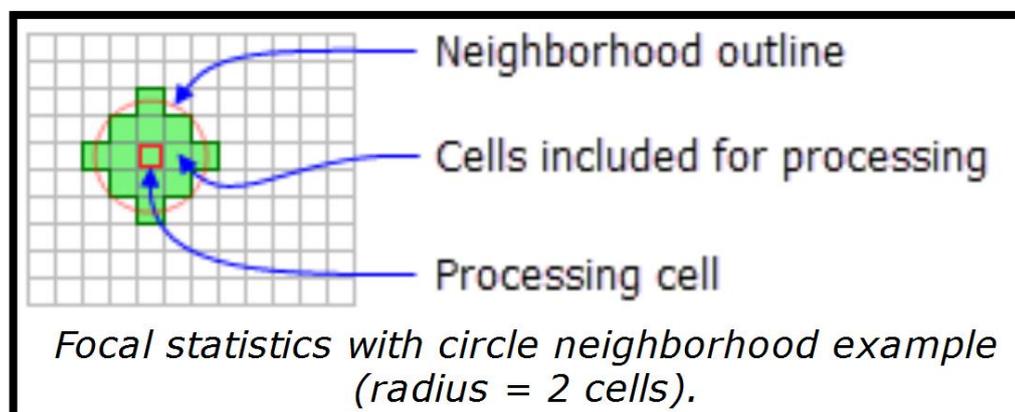
Tabela 2 - Classificação das formas de relevo.

Unidades de Relevo	Declividade	Amplitude Altimétrica
Áreas Planas	<2%	<100m
Colinas Suaves	2 - 5%	<100m
Colinas Onduladas	5 - 15%	<100m
Associação de Morros e Morrotes	>15%	>100m

Fonte: Adaptado do IPT (1981).

A amplitude altimétrica realizou-se através da ferramenta *focal statistics* disponível no ArcGIS® 10.1, que define o ambiente de amplitude da área de estudo pela análise da diferença de altitude máxima e mínima dentro de uma janela móvel de tamanho e forma estabelecida pelo usuário, conforme mostra a Figura 8. Foi utilizada a janela móvel circular com raio de 2 pixels. Após essa etapa, estabeleceu-se o limiar de variação da amplitude no círculo de análise, através da análise de perfis topográficos da área, permitindo definir a variação da amplitude altimétrica das vertentes analisadas, podendo ser definida a variação da amplitude altimétrica das vertentes e assim, determinar a amplitude geral das vertentes maiores e menores que 100 metros.

Figura 8 - Janela móvel circular de 2 pixel utilizado na análise estatística.



Fonte: *Help* do ArcGIS® 10.1.

A definição das classes de declividade seguiu a metodologia apresentada no item da análise morfométrica, com o uso das quatro classes de declividades: <2%; 2-5%; 5-15% e, >15%. E assim, após a definição da declividade e amplitude altimétrica, essas foram cruzadas no ArcGIS® 10.1 através da ferramenta “combine”, resultando nas unidades de formas do relevo da área de estudo.

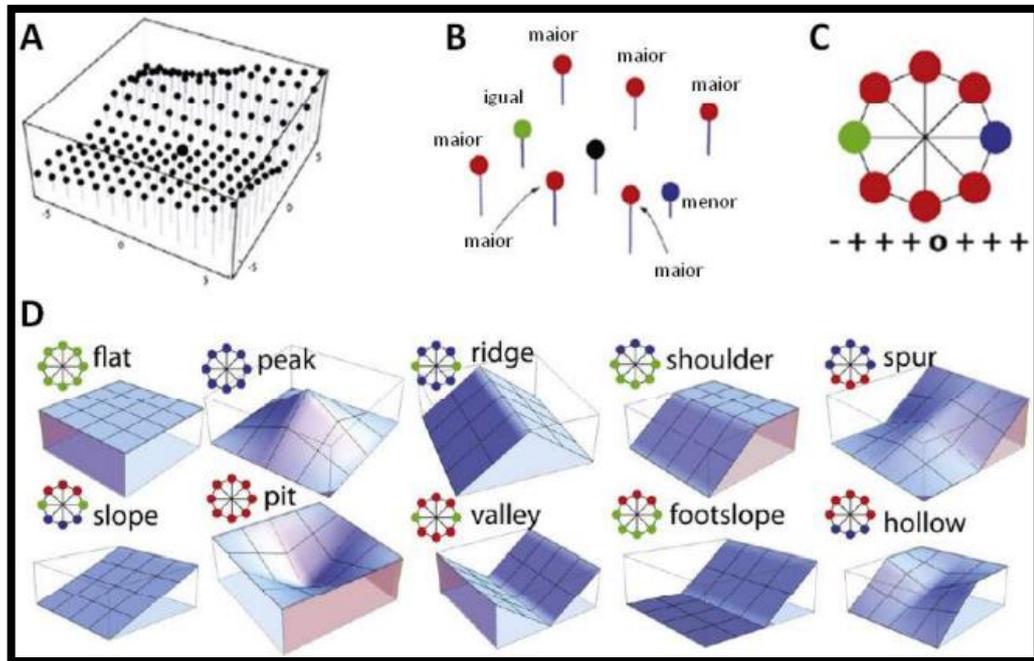
As unidades de relevo gerada no *software* ArcGIS® 10.1, resultando em um mapa com quatro classes: Áreas Planas: declividades inferiores a 2% e amplitudes inferiores a 100 metros; Colinas Suaves: declividades entre 2 e 5% e amplitudes inferiores a 100 metros; Colinas Onduladas: declividades entre 5 e 15% e declividades inferiores a 100 metros; por fim Associação de Morros e Morrotes: declividades superiores a 15% e amplitudes superiores a 100 metros.

O mapa das unidades de relevo apresenta alguns perfis topográficos que foram traçados com o objetivo de demonstrar o comportamento do relevo da área de estudo. Tais perfis, apresentam a amplitude e o comprimento das vertentes de cada unidade de relevo encontradas no município de São Sepé. Foram elaborados no ArcGIS® 10.1, utilizando as ferramentas *Interpolate Line* e *Profile Graph*, após a isso, os perfis foram organizados no *software* CorelDraw® X5 para um acabamento final.

4.3.2 Elementos do Relevo (*Geomorphons*)

A classificação dos elementos do relevo, representando o quarto nível taxonômico proposto por Ross, foi desenvolvida usando ferramentas de visão computacional desenvolvida por Jasiewicz & Stepinski (2013) chamado de *geomorphons*. Os *geomorphons* foram obtidos pela diferença de altura topográfica, distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação a célula central. Tais elementos do relevo apresenta uma representação geométrica da ocorrência no meio. A metodologia, analisa a similaridade textural do MDE de determinada área através da variação para mais ou para menos dos níveis de cinza entre as células centrais e as células vizinhas, considerando um nível específico. Se a célula central for maior, a célula vizinha assume o valor de “1”, se for menor, assume o valor de “-1” e se for igual assume o valor de “0”, conforme representação na Figura 9.

Figura 9 - Aplicação dos elementos de *geomorphons* na classificação de elementos de relevo.

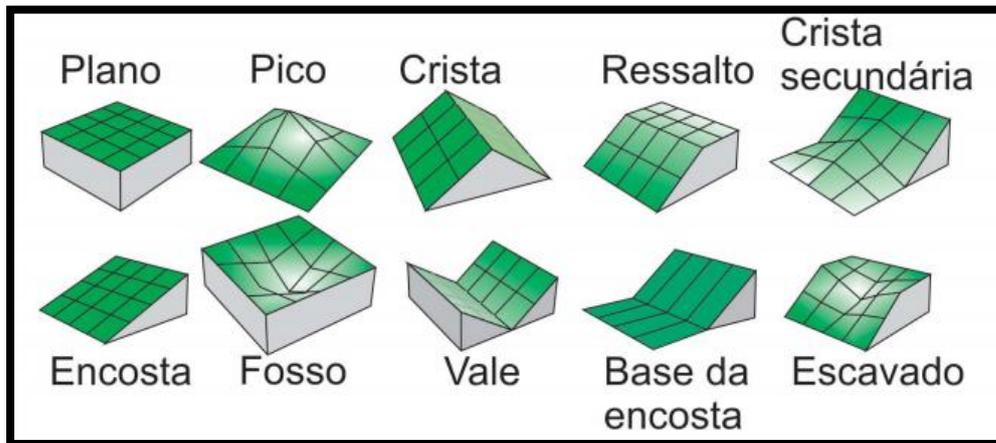


Fonte: Silveira et al (2018), modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

Para caracterizar os elementos do relevo além das diferenças de altura das células, utiliza-se a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação a célula central (ângulos Zenith e Nadir). O processamento do MDE e a geração dos *geomorphons* ocorreu em ambiente online, disponível no endereço eletrônico <http://sil.uc.edu/geom/app>. A aplicação requer dois valores escalares livres como parâmetros: *lookup* "L" (distância em metros ou em unidades células) e *thresholdt* (nivelamento em graus). Para os parâmetros livres, utilizou-se o valor de "L" igual a 25 pixels (2.250 metros) e graus "t" igual a 1°.

As dez classes de *geomorphons* (Figura 10) identificados de acordo com os autores são: Áreas Planas (*flat*), Picos (*peak*), Crista (*ridge*), Ressalto (*shoulder*), Crista Secundária (*spur*), Encosta (*slope*), Escavado (*hollow*), Base da Encosta (*footslope*), Vale (*valley*) e Fosso (*pit*).

Figura 10 - Elementos de relevo obtidos dos *geomorphons*.



Fonte: Robaina, Trentin e Laurent (2016), modificado de Jasiewicz e Stepinski (2013).

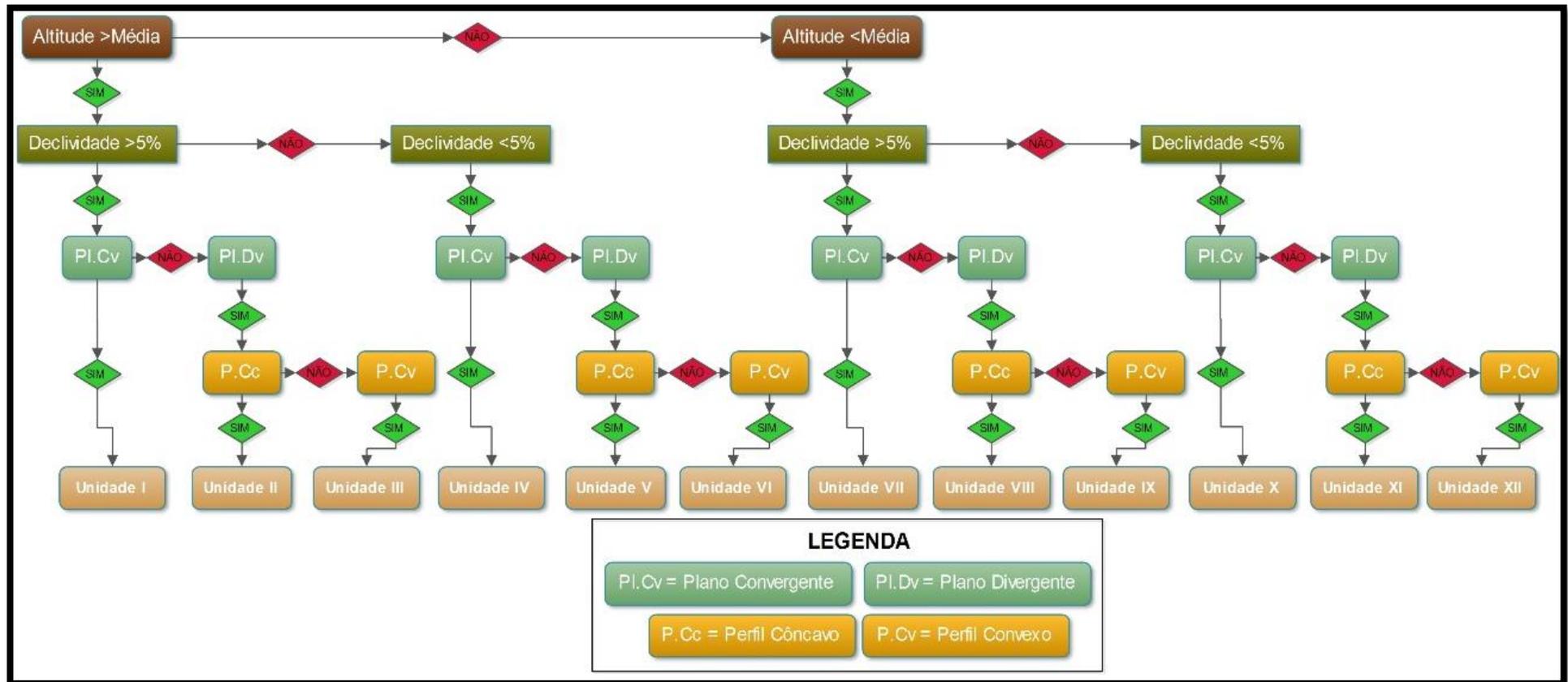
Após a obtenção dos *geomorphons*, o arquivo foi exportado e trabalhado no *software* ArcGIS® 10.1, sendo possível calcular a área e porcentagem de cada elemento do relevo.

4.3.3 Forma das Vertentes (Unidades Geomorfométricas)

Na forma das vertentes correspondente ao quinto nível taxonômico do Ross, utilizou-se a proposta de mapeamento geomorfométrico automatizado apresentado por Silveira & Silveira (2013), que seguiram os preceitos de Iwahashi e Pike (2007). Proposta de mapeamento também adaptada por Guadagnin e Trentin (2014) para compartimentação geomorfométricas em bacia hidrográfica do oeste do Rio Grande do Sul.

A classificação foi realizada através do cruzamento das informações extraídos de dados SRTM, gerados por meio de um SIG e hierarquizados por meio de uma árvore de decisão (Figura 11), com valores pré-estabelecidos. Para isso foi utilizado o ArcGIS® 10.1.

Figura 11 - Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para a definição das unidades geomorfométricas do município de São Sepé.



Fonte: Guadagnin e Trentin (2014).

Na árvore de decisão foram utilizados quatro parâmetros morfométricos observados na área de pesquisa: a altitude onde foi considerada a média geral das altimetrias (120m), a declividade (menor que 5% e maior que 5%), o perfil de curvatura (convexo e côncavo) e o plano de curvatura (convergente e divergente), conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros topográficos que caracterizam as unidades geomorfométricas determinadas no município de São Sepé.

Altitude	Declividade	Plano	Perfil
1 - <120m	1 - <5%	1 – Convergente	1 – Convexo
2 - >120m	2 - >5%	2 – Divergente	2 – Côncavo

Fonte: Adaptado de Guadagnin e Trentin (2014).

Por fim, após o cruzamento das informações utilizando-se a árvore de decisão e da ferramenta *combine* disponível no *software* ArcGIS® 10.1 foram identificadas doze unidades geomorfométricas.

5 CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS FÍSICOS DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ

5.1 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA

O município de São Sepé é drenado na sua porção noroeste pela sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí, pela sub-bacia hidrográfica do rio São Sepé que corre de nordeste a sudoeste e pela sub-bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara que corre de sudeste a nordeste. Essas bacias fazem parte da Bacia do rio Jacuí.

São Sepé apresenta um padrão de drenagem predominantemente paralelo-dendrítico. Possui um total de 2.085 segmentos de canais fluviais que juntos somam 3.359, 05 km de extensão, resultando na densidade de drenagem total de 1,52 km/km², considerada de baixa densidade segundo Christofolletti (1979).

A Tabela 4 tem por objetivo apresentar a síntese dos parâmetros morfométricos das sub-bacias do município de São Sepé. Já a Figura 12 apresenta a distribuição das sub-bacias dentro do município.

Tabela 4 - Quantificação dos parâmetros morfométricos da rede de drenagem do município de São Sepé.

Sub-bacias	Hierarquia Fluvial	Área (Km ²)	Nº de Canais	Comprimento Total (km)	Densidade de Drenagem (km/km ²)
Afluentes do rio Vacacaí	6 ^a	285,92	169	422,91	1,47
Arroio Bossoroca	4 ^a	33	62	55,74	1,74
Arroio dos Freires	4 ^a	37,45	50	62,23	1,67
Arroio Garrucho	4 ^a	85,34	117	151,42	1,77
Arroio Lajeadozinho	4 ^a	28,19	43	44,62	1,58
Arroio Três Passos	5 ^a	67,98	42	102,22	1,50
Bom Retiro	4 ^a	58,85	48	83,33	1,50

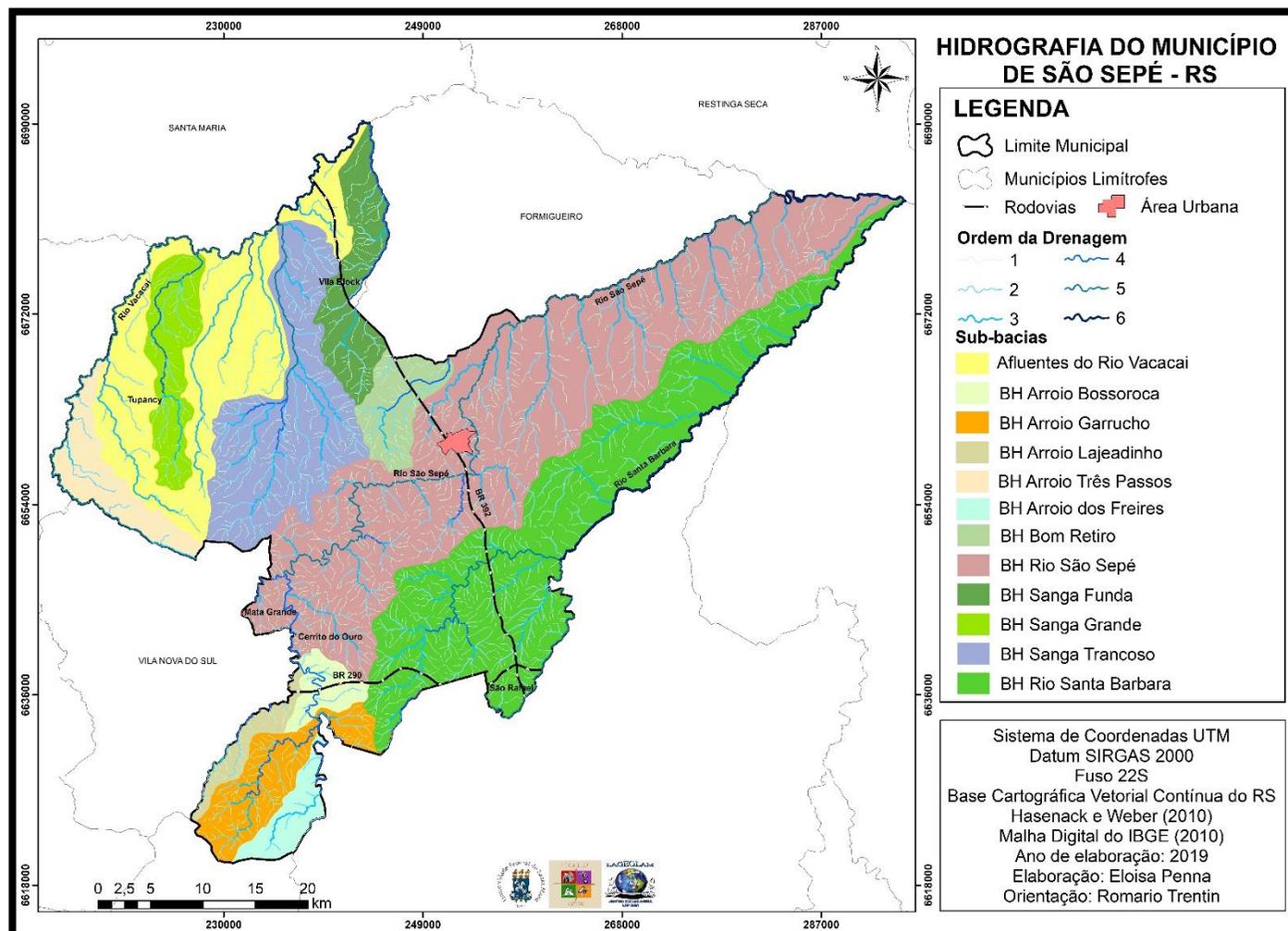
(continua)

(conclusão)

Rio São Sepé	6 ^a	731,73	679	1.070,17	1,46
Rio Santa Barbara	6 ^a	467,16	529	750,55	1,60
Sanga Funda	4 ^a	90,11	75	140,07	1,55
Sanga Grande	4 ^a	83,42	62	117,06	1,40
Sanga Trancoso	5 ^a	233,49	209	358,73	1,53
Total	6^a	2.202,64	2.085	3.359,05	1,52

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 12 - Distribuição das sub-bacias no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A hidrografia do município de São Sepé foi dividida em 12 sub-bacias: Afluentes do rio Vacacaí, Arroio Bossoroca, Arroio dos Freires, Arroio Garrucho, Arroio Lajeado, Arroio Três Passos, Arroio Bom Retiro, Rio São Sepé, Rio Santa Bárbara, Sanga Funda, Sanga Grande e Sanga do Trancoso.

Os afluentes do rio Vacacaí escoam no sentido sul-norte, drena a terceira maior área dentro do município com 285,92 km² que representa 12,97% do total da área de estudo, com 169 canais fluviais o que soma 422,91 km, com densidade de drenagem de 1,47 km/km². O rio principal é de 6ª ordem.

O Arroio Bossoroca apresenta como principal contribuinte o rio São Sepé, cobrindo uma área de 33 km² resultando em 1,45% do total da área estudada. Conta com 62 canais fluviais, somando 5574 km com densidade de drenagem de 1,74 km/km². O arroio principal apresenta 4ª ordem.

O Arroio dos Freires é afluente da margem direita do rio São Sepé. Cobre uma área de 37,45 km² que representa 1,69% do total da área estudada. Com 50 canais fluviais que juntos somam 62,23 km, resultando na densidade de drenagem de 1,47 km/km², sendo o arroio principal de 4ª ordem.

O Arroio Garrucho apresenta como principal contribuição a margem esquerda do rio São Sepé, com uma área de 85,34 km² que representa 3,87% da área total do município. Possui 117 canais fluviais que juntos somam 151,42 km, conferindo na densidade de drenagem de 1,77 km/km² e o arroio principal apresenta 4ª ordem.

O Arroio Lajeado é afluente da margem esquerda do rio São Sepé e drena a menor área, cobrindo uma área de 28,19 km² que representa 1,27% do total da área estudada, conta com 43 canais fluviais, somando 44,62 km, com densidade de 1,58 km/km². O arroio principal possui 4ª ordem.

O Arroio Três Passos é afluente da margem direita do rio Vacacaí, possui uma área de 67,98 km², representando 3,08% do total da área do município, com 42 canais fluviais soma 102,22 km, possuindo uma densidade de drenagem de 1,50 km/km² e o arroio principal apresenta 5ª ordem.

Bom Retiro é afluente da margem direita do rio Vacacaí, conta como uma área de 58,85 km², que representa 2,66% do total da área estudada. Possui 48 canais fluviais que juntos somam 83,33 km, com densidade de drenagem de 1,50 km/km², sendo o arroio principal de 4ª ordem.

A sub-bacia hidrográfica do rio São Sepé escoam no sentido sudoeste-nordeste e drena a maior área, cobrindo uma área de 731,73 km², que representa 33,22% do

total da área de estudo. Possui 679 canais fluviais, resultando na soma de 1070,17 km, com densidade de drenagem de 1,46 km/km². O rio principal é de 6ª ordem.

A sub-bacia hidrográfica do rio Santa Bárbara escoar no sentido sul-norte, drenando a segunda maior área com 467,16 km² que representa 21,20% da área total do município. Apresenta 529 canais fluviais que juntos somam 750,55 km e uma densidade de drenagem de 1,60 km/km². O rio principal apresenta 6ª ordem.

Sanga Funda é afluente da margem direita do rio Vacacaí, com uma área de 90,11 km², representando 4,08% da área do município. Com 75 canais fluviais que juntos somam 140,07 km e uma densidade de drenagem de 1,55 km/km² e o arroio principal possui 4ª ordem.

Sanga Grande é afluente da margem direita do rio Vacacaí, apresenta uma área de 83,42 km² que representa 3,78% do total da área de estudo. Conta com 62 canais fluviais, resultando na soma de 117,06 km, com densidade de drenagem de 1,40 km/km². O arroio principal apresenta 4ª ordem.

Sanga Trancoso é afluente da margem direita do rio Vacacaí, possui uma área de 233,49 km² que representa 10,6% da área do município e conta com 209 canais fluviais que juntos somam 358,73 km. Possui uma densidade de drenagem de 1,53 km/km² e o arroio principal apresenta 5ª ordem.

As sub-bacias que apresentam maior densidade de drenagem são Arroio Garrucho (1,77 km/km²) e Arroio Bossoroca (1,74 km/km²) enquanto a sub-bacia Sanga Grande (1,40 km/km²) apresenta a menor densidade de drenagem.

5.2 ANÁLISE DO RELEVO

5.2.1 Hipsometria

O município de São Sepé apresenta como a menor cota altimétrica o nível de 24 metros, ao norte do município junto a planície dos principais rios (Vacacaí, São Sepé e Santa Bárbara), e a maior cota de 457 metros localizada na porção Sudoeste do município junto ao Escudo Sul-rio-grandense, resultando em uma amplitude altimétrica de 433 metros.

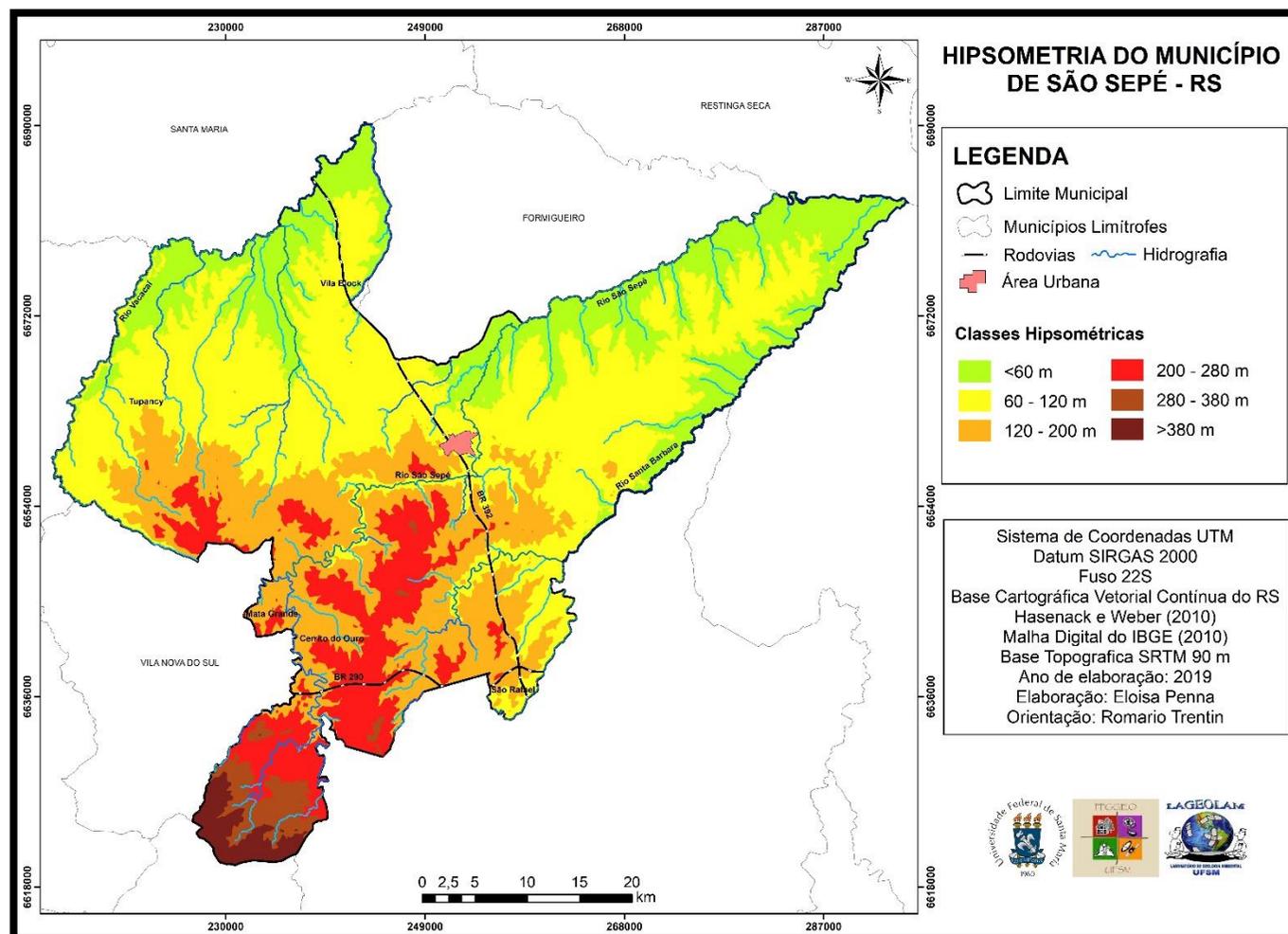
Para verificação dos aspectos de altitude no município de São Sepé e sua distribuição espacial pode-se observar a Tabela 5 e a Figura 13.

Tabela 5 - Aspectos hipsométricos da área de estudo.

Classes Hipsométricas	Área (km²)	Área (%)
<60m	465,82	21,15
60 – 120m	926,71	42,08
120 – 200m	483,85	21,96
200 – 280m	241,82	10,98
280 – 380m	48,12	2,19
>380m	36,32	1,64
Total	2.202,64	100

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 13 - Distribuição das classes hipsométricas no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A classe hipsométrica com altitudes inferiores a 60 metros abrangem uma área de 465,82 km² e representa 21,15% da área total do município. Distribui-se, principalmente, na região norte e encontra-se associados aos seguimentos fluviais de maior ordem.

A classe hipsométrica com altitudes que variam entre 60 – 120 metros, distribui-se em uma área aproximada de 926,71 km² e representa 42,08% da área total de estudo. Destaca-se que essa é a classe mais expressiva no município e onde encontra-se localizada a área urbana. A classe abrange uma área que se estende de leste a oeste e na porção norte do município.

A classe hipsométrica com altitudes entre 120 – 200 metros cobre uma área de 483,85 km², o que representa 21,96% do total da área do município de São Sepé. Distribui-se na porção leste, oeste e centro do município. A classe hipsométrica com altitudes que variam entre 200 – 280 metros cobre uma área de 241,82 km² e representa 10,98% do total da área do município. Esta classe abrange porções do centro ao sul do município.

A classe hipsométrica com altitudes entre 280 – 380 metros, apresenta-se em uma área de 48,12 km² e representa 2,19% da área total do município. Encontra-se principalmente na parte sul do município de São Sepé.

Por fim, a classe hipsométrica com altitudes superiores a 380 metros, apresenta-se com uma área de 36,32 km² e representa 1,64% da área do município. Esta classe é a menos expressiva dentro do município de São Sepé e abrange a porção sul do município, correspondendo as porções do Escudo Sul-rio-grandense.

De forma geral, as altitudes encontram-se distribuídas de forma uniformes em um perfil sul-norte, com as maiores altitudes ocupando pequenas áreas ao sul do município e as áreas mais baixas ocupando a maiores áreas associadas ao norte do município.

5.2.2 Declividade

O mapa de declividade, segundo Cunha (2001, p.42), “tem como objetivo quantificar a inclinação ou declive do terreno”. Além disso, a declividade é um dos principais atributos para o estudo das vertentes, pois determina a possibilidade de ocorrência de dinâmicas superficiais, tais como processo de acumulação e erosão.

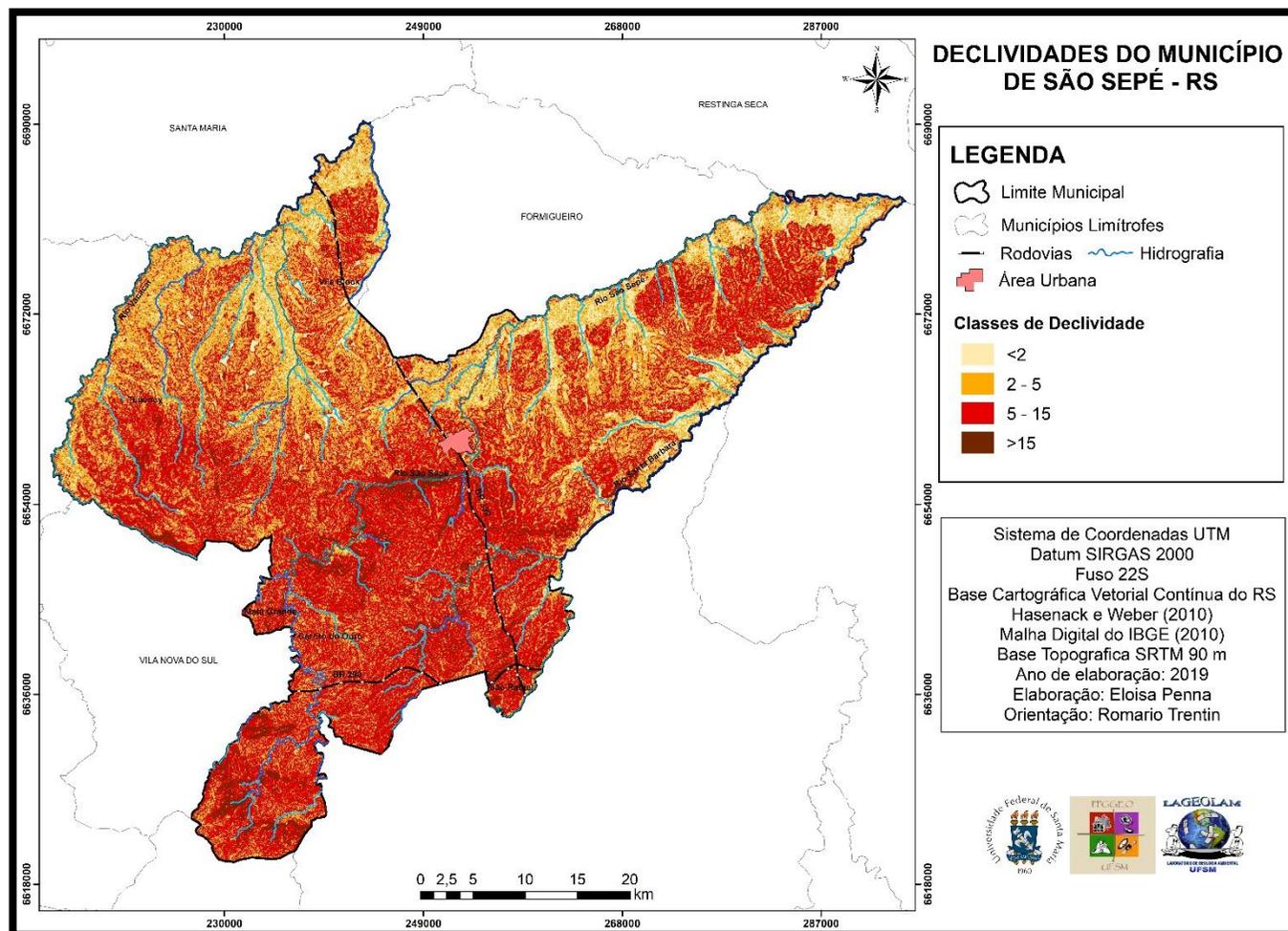
A distribuição das classes de declividades estabelecidas no município de São Sepé pode ser analisada através da Tabela 6 e da Figura 14.

Tabela 6 - Aspectos de declividade do município de São Sepé.

Classes de Declividade	Área (km²)	Área (%)
<2%	348,28	15,82
2 – 5%	719,97	32,68
5 – 15%	1.022,65	46,43
>15%	111,74	5,07
Total	2.202,64	100

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 14 - Distribuição das classes de declividade no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As declividades inferiores a 2%, apresentam uma área de 348,28 km² e representam 15,82% do total da área de estudo. Caracteriza o relevo em áreas planas, próximos aos canais principais, podendo ocorrer processos de inundação e de acumulação de sedimentos. Pelas características econômicas do município, geralmente essas áreas são ocupadas pelo cultivo do arroz.

As declividades que variam de 2 - 5%, apresentam uma área de 719,97 km² e representam 32,68% da área do município. Caracterizam o relevo em colinas suavemente onduladas, associado as áreas planas. Assim como as declividades menores que 2%, estas se estendem principalmente nas porções norte do município.

As declividades entre 5 - 15% cobrem uma área de 1022,65 km² e representam 46,43% do total da área de estudo, sendo assim, a classe mais expressiva dentro do município de São Sepé. Caracterizam o relevo de colinas onduladas.

As declividades superiores a 15%, apresentam área de 111,74 km² e representam 5,07% do total da área de estudo, sendo assim, a classe menos expressiva dentro do município. Caracterizam o relevo em associação de morros e morrotes, principalmente na região centro e sul do município.

5.2.3 Curvatura das Vertentes

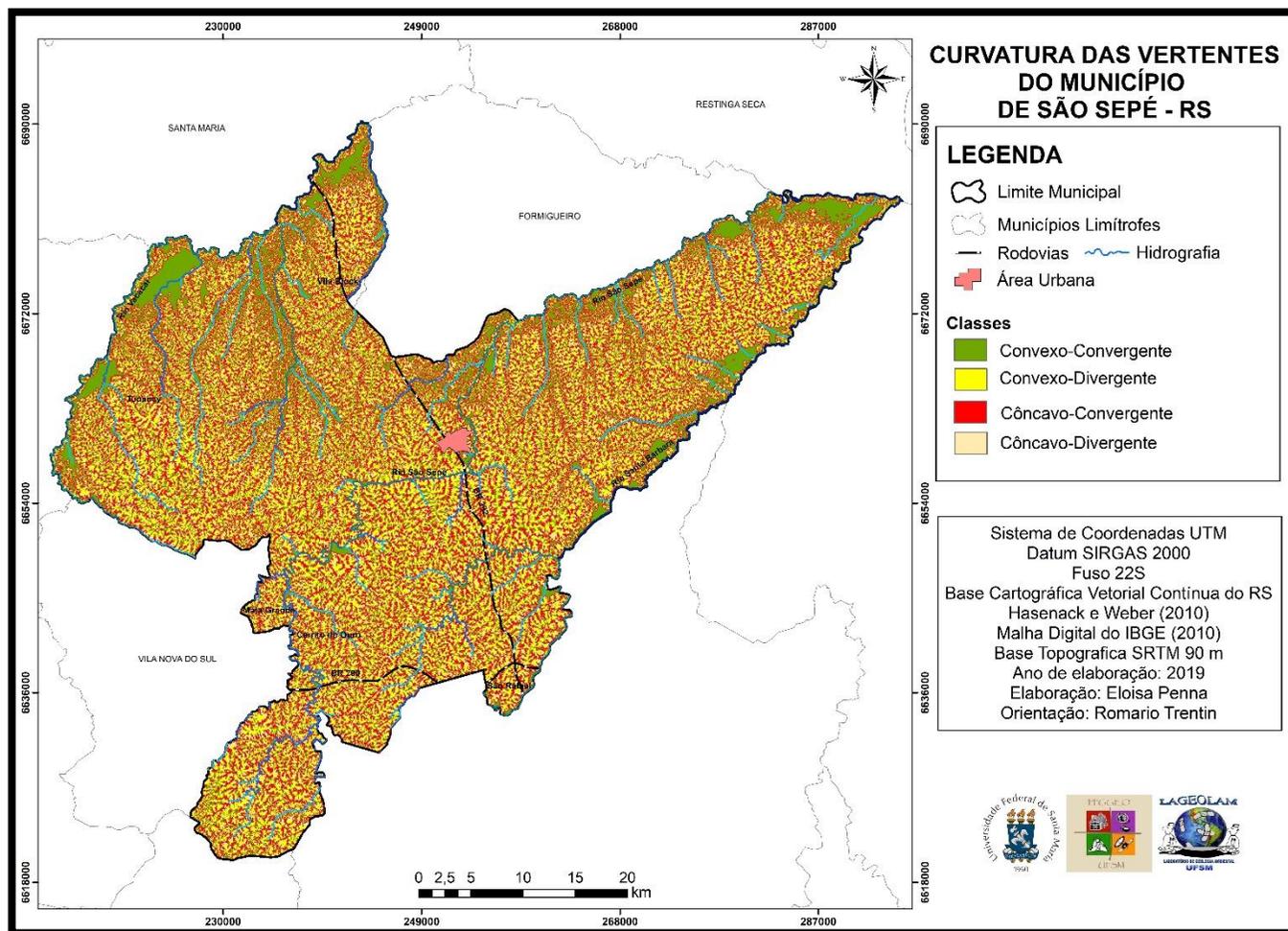
As vertentes do município de São Sepé foram classificadas de acordo com a sua curvatura no Plano e no Perfil: Côncavo-convergente, Côncavo-divergente, Convexo-convergente e Convexo-divergente. A Tabela 7 apresenta a quantificação da curvatura das vertentes e a Figura 15 a distribuição espacial das mesmas no município.

Tabela 7 - Quantificação da curvatura das vertentes.

Classe	Área (km²)	Área (%)
Côncavo-Convergente	735,53	33,42
Côncavo-Divergente	300,94	13,67
Convexo-Convergente	529,46	24,05
Convexo-Divergente	636,71	28,86
Total	2.202,64	100

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 15 - Distribuição da curvatura das vertentes no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As vertentes côncavo-convergentes representam 33,42% da área de estudo, sendo está a mais expressiva no município. Caracteriza-se pelo acúmulo e concentração máxima dos fluxos de escoamento superficial e situa-se principalmente no leito dos canais fluviais.

As vertentes côncavo-divergentes representam 13,67% do total da área de estudo, sendo a classe com menor expressividade no município. Caracteriza-se pela predominância de dispersão dos fluxos devido ao plano divergente.

As vertentes convexo-convergentes representam 24,05% da área de estudo e embora estando distribuída espacialmente em todo o município apresenta alguns pontos de maior concentração principalmente junto as porções do relevo próximo aos principais rios. Devido a forma convergente, esse tipo de vertente apresenta concentração do fluxo e aumento de energia no escoamento devido a forma convexa.

As vertentes convexo-divergentes representam 28,86% do total da área de estudo. Caracteriza-se pela maior dispersão do escoamento superficial em função do plano divergente e assim, menor concentração e acúmulo.

5.2.4 Análise das Litologias

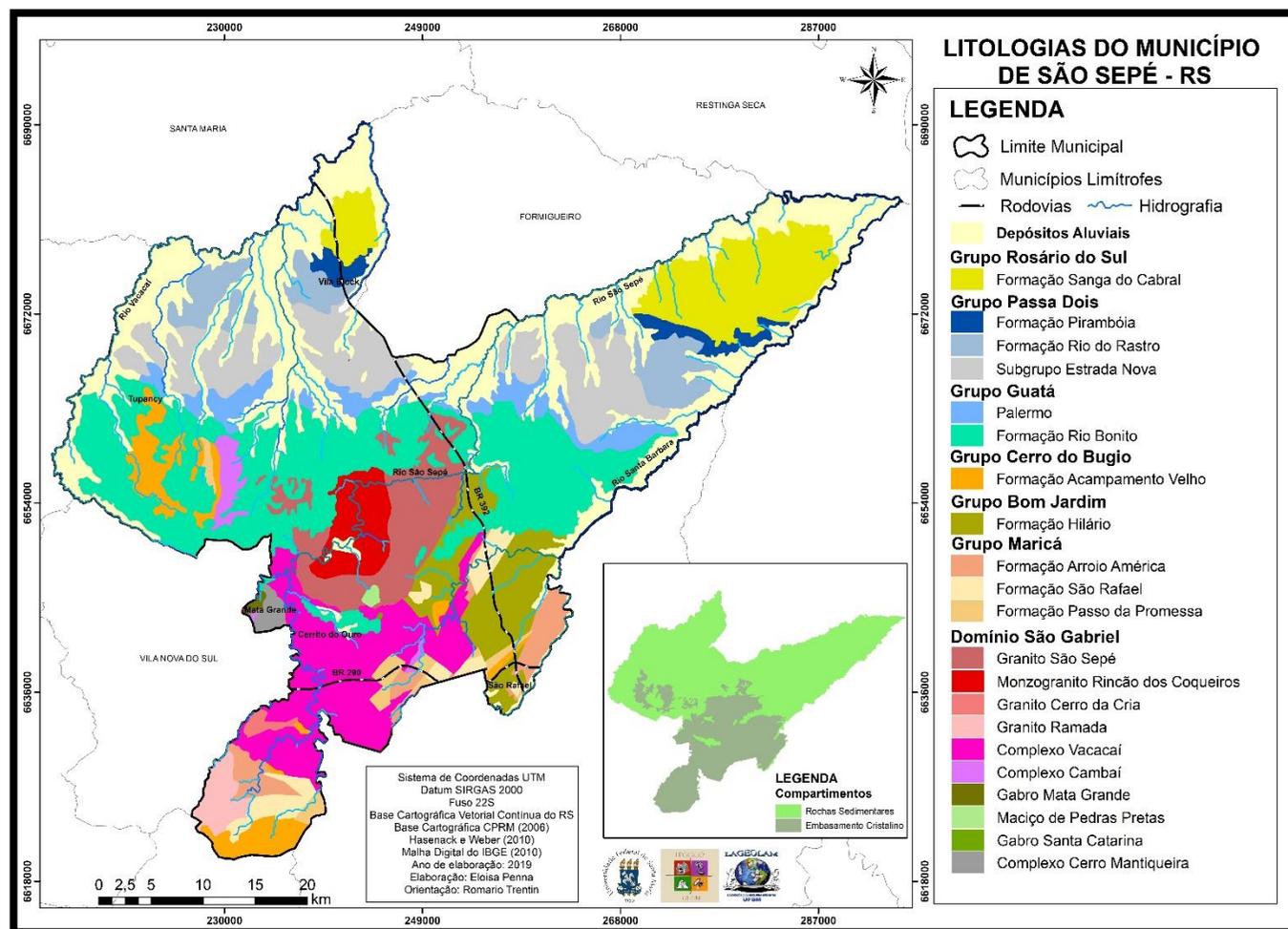
De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2006), as litologias presentes no município de São Sepé compreendem rochas vulcânicas e sedimentares de diferentes períodos geológicos, além dos depósitos aluviais pertencentes a Província Paraná, Bacia do Camaquã e Província Mantiqueira. As rochas vulcânicas encontram-se na porção oeste e centro-sul do município e representam 27,21% da área total. Por sua vez, as rochas sedimentares ocupam toda a porção centro-norte do município, somando 48,66% da área total da área de estudo. Na Tabela 8 e Figura 16 é possível observar a quantificação e a espacialização das litologias presentes na área de estudo.

Tabela 8 - Quantificação das litologias no município de São Sepé.

LITOLOGIAS		(km²)	(%)
Depósitos Cenozoicos	Depósitos Aluviais	522,73	24,00
Província Paraná			
Grupo Rosário do Sul	Formação Sanga do Cabral	159,86	7,26
Grupo Passa Dois	Formação Piramboia	30,06	1,36
	Formação Rio do Rastro	94,36	4,24
	Subgrupo Estrada Nova	189,66	8,61
Grupo Guatá	Formação Palermo	74,04	3,31
	Formação Rio Bonito	411,18	18,67
Bacia do Camaquã			
Grupo Cerro do Bugio	Formação Acampamento Velho	72,47	3,24
Grupo Bom Jardim	Formação Hilário	109,09	4,95
Grupo Maricá	Formação Arroio América	47,34	2,14
	Formação São Rafael	43,15	1,91
	Formação Passo da Promessa	25,69	1,19
Província Mantiqueira			
Domínio São Gabriel	Granito São Sepé	115,88	5,21
	Monzogranito Rincão dos Coqueiros	52,75	2,39
	Granito Cerro da Cria	7,10	0,27
	Granito Ramada	23,67	1,07
	Complexo Vacacaí	189,18	8,59
	Complexo Cambaí	19,79	0,85
	Gabro Mata Grande	2,54	0,11
	Maciço de Pedras Pretas	2,54	0,11
	Gabro Santa Catarina	0,36	0,01
	Complexo Cerro Mantiqueira	9,20	0,41
Total		2.202,64	100

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 16 - Distribuição das litologias no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

No Escudo Sul-rio-grandense, porção meridional da Província Mantiqueira predominam rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. O Escudo Sul-rio-grandense subdivide-se em quatro domínios: Taquarembó, São Gabriel, Santana da Boa Vista e Pelotas (BORBA, 2006). No município de São Sepé encontra-se o Domínio São Gabriel que engloba várias formações.

O complexo Cerro Mantiqueira, agrupa rochas ultrabásicas e serpentinitos associados a actinolita xistos e talco xistos, os quais assentariam, em discordância, sobre as rochas da Formação Cambaí (CPRM, 1995).

O Gabro Santa Catarina, o Maciço de Pedras Pretas e o Gabro Mata Grande são classificados segundo a CPRM (2006) no domínio geológico Corpos Básico-Ultrabásicos Estratiformes, que reúne gabros e anortositos. O Gabro Santa Catarina, apresenta-se coberto pelos arenitos da formação Rio Bonito na porção sul (CPRM, 1995) e envolto pelas rochas do Complexo Vacacaí (MOREIRA, PEREIRA e CAVALHEIRO, 2014). Conforme Sartori (1978) o Maciço de Pedras Pretas encontra-se encaixado na extremidade sul do Granito São Sepé através de falhas e coberto por sedimentos arenosos da formação Rio Bonito. O Gabro Mata Grande se localiza na parte leste de Vila Nova no município de São Sepé.

O Complexo Cambaí é composto de gnaisses e granitóides intercalados tectonicamente a rochas metavulcânicas e metassedimentares (BORBA, 2006). O Complexo Vacacaí compreende uma associação de rochas vulcânicas, vulcanoclásticas e sedimentares metamorfizadas nas fácies de xisto verde e anfibolito (CPRM, 2006).

Conforme Naime e Nardi (1991) o Granito da Ramada é uma intrusão episonal constituído por sienos e monzogranitos com anfibólio cálcico e biotita. Aflora principalmente na forma de blocos e lajeados.

O Granito Cerro da Cria é envolto por rochas da Sequência Metamórfica Vacacaí e se encontra associado a derrames e diques riolíticos (CPRM, 2000). Ocorrem na forma de lajeiros e principalmente de matacões.

O Monzogranito Rincão dos Coqueiros se encontra na forma de matacões arredondados com diâmetro médio de um metro e em esporádicos lajeiros, geralmente apresenta-se pouco intemperizado (CPRM, 1995).

De acordo com Sartori (1978), o Granito São Sepé, em sua área de afloramento, se caracteriza pela forma alongada estendendo-se para a região sudoeste da sede do município. Ocorrem na forma de lajeiros, sem a presença de solo

e vegetação, e principalmente como matacões arredondados de até alguns metros de diâmetro (CPRM, 1995).

O registro geológico da Bacia do Camaquã no Escudo Sul-rio-grandense compreende rochas sedimentares de origem marinha, aluvial e eólica, bem como rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de composições variadas (Borba, 2006). A bacia do Camaquã divide-se em cinco grandes unidades: Santa Bárbara, Guaritas, Maricá, Bom Jardim e Cerro do Bugio (CPRM, 2006). No município de São Sepé ocorre essas três últimas unidades.

O mapeamento geológico do Grupo Maricá permitiu a separação de três formações reconhecidas em todas as áreas de ocorrência desse grupo: Formação Arroio América (fluviais de topo), Formação São Rafael (depósitos marinhos) e Formação Passo da Promessa (depósitos fluviais da base).

O Grupo Bom Jardim é composto pelas formações: Cerro da Angélica, Hilário e Picada das Graças (PELOSI, 2005). No município de São Sepé, somente a Formação Hilário com predominância de rochas vulcânicas e vulcanoclásticas ocorre. As rochas da Formação Hilário ocorrem próximo ou em contato direto com o Granito São Sepé (SARTORI, 1978).

O Grupo Cerro do Bugio é dividido em Santa Fé e Acampamento Velho. Na área de estudo, ocorre a presença dessa última formação. Segundo Santos et al (1978) a Formação Acampamento Velho é constituída por derrames, tufo e brechas vulcânicas de composição riolítica a riodacítica, além de conglomerados vulcânicos ácidos, arenitos finos e siltitos.

A Província Paraná ou Bacia do Paraná apresenta um contexto intracratônica preenchida por sedimentos paleozóicos, mesozóicos, lavas basálticas e localmente rochas cenozoicas (SCHNEIDER et al., 1974). Os Grupos Guatá, Passa Dois e Rosário do Sul presentes no município de São Sepé, estão inseridos nessa Bacia.

O Grupo Guatá compreende as formações Palermo e Rio Bonito, ambas identificadas na área de estudo. As propriedades litológicas e sedimentares da Formação Palermo indicam deposição em ambiente marinho transgressivo de águas rasas, sendo abaixo do nível de ação das ondas. A Formação Rio Bonito corresponde ao primeiro registro pós-glacial da Bacia do Paraná, composta por siltitos e folhelhos cinza, com intercalações de camadas de arenitos (SCHNEIDER et al, 1974).

O Grupo Passa Dois engloba os últimos depósitos paleozoicos da seção sedimentar da Bacia do Paraná e é representado pela Formação Pirambóia,

Formação Rio do Rastro, Subgrupo Estrada Nova e Formação Irati (CPRM, 2006). Na área de estudo, Formação Irati é a única não encontrada.

A Formação Pirambóia é formada por arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, médios e muito finos, silto-argilosos, apresentando grãos polidos, subangulares e subarredondados, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos (SCHNEIDER et al 1974).

A Formação Rio do Rastro se caracteriza por siltitos e arenitos finos esverdeados e arroxeados e, na parte superior apresenta argilitos e siltitos vermelhos com intercalações lenticulares de arenitos finos (SCHNEIDER et al 1974). Essa formação ocorre em contato concordante com a Formação Pirambóia e discordante com o Subgrupo Estrada Nova.

O Subgrupo Estrada Nova apresenta seu ambiente de deposição como de transição entre marinho de águas calmas passando para um ambiente com maior energia dominado pela ação das marés no topo (SCHNEIDER et al, 1974). Essa formação é constituída por folhelho, argilito e siltito não betuminosos.

O Grupo Rosário do Sul, de ocorrência restrita a porção sul da Bacia Sedimentar do Paraná, compreende os depósitos sedimentares triássicos do Rio Grande do Sul é composto pelas formações - Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita (CPRM, 2000). Dentre essas formações, só a primeira está representada no município de São Sepé. A Formação Sanga do Cabral é formada por conglomerados intraformacionais e arenitos conglomeráticos, mal selecionados, apresentando estratificações cruzadas acanaladas e planares de pequeno a médio porte. As características texturais e estruturais dos arenitos indicam um sistema fluvial entrelaçado.

Os Depósitos Aluviais são as sequências litológicas mais recentes da área de estudo, pertencentes a Era Cenozoica do Período Holoceno. Essas litologias representam as áreas de acumulação recente da planície de inundação. São compostos por areia, cascalho e lama depositado por um sistema fluvial no leito e nas margens da drenagem, compreendendo as planícies de inundação e as áreas deltaicas, com material fino transbordado dos canais nas cheias. Na área de estudo os depósitos aluviais ocorrem associados aos canais dos rios Vacacaí, São Sepé, Santa Bárbara e aos canais dos rios afluentes, como Sanga do Trancoso, Sanga Grande, Sanga Funda e Sanga do Correntino.

6 COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DO MUNICÍPIO DE SÃO SEPÉ

A compartimentação geomorfológica do município de São Sepé levou em consideração os processos morfodinâmicos e morfogenéticos do relevo, através da análise da caracterização dos parâmetros morfológicos e morfométricos da área de estudo. Para isso, as correlações entre os elementos do meio físico foram estabelecidas, com o objetivo de definir as características de cada unidade de relevo da área de estudo.

6.1 DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS TAXONÔMICOS

O **primeiro nível taxonômico** apresenta o Domínio Morfoestrutural, em que o município de São Sepé se encontra inserido no domínio Morfoestrutural das Bacias e Coberturas Sedimentares e no Domínio Morfoestrutural dos Embasamentos em Estilos Complexos.

O domínio das Bacias Sedimentares, conforme Hermann & Rosa (1990) corresponde ao de maior extensão espacial do Estado. Equivale, em termos geológicos, à Província Paraná, que engloba litologias sedimentares de idades paleozoicas e mesozoica que afloram nas partes mais orientais, efusivas juracretácicas que representam mais da metade de sua extensão, bem como arenitos supraderrames em pequenas extensões de seus setores noroeste e sudoeste.

Quanto ao Domínio dos Embasamentos em Estilos Complexos Hermann & Rosa (1990), contextualizam que no Rio Grande do Sul, localiza-se junto à borda oriental ou imediatamente próxima, correspondendo ao núcleo de rochas pré-cambrianas do Embasamento Cristalino. São rochas, altamente metamorfizadas, falhadas e dobradas, por suas características estruturais e petrográficas, foram individualizadas e agrupadas em várias unidades litoestratigráficas, destacando-se o Complexo Canguçu, que corresponde a associações litológicas de maior ocorrência na área. Soma-se às unidades litoestratigráficas a ocorrência de suítes intrusivas graníticas. Além de depósitos sedimentares localizados, de idades carboordiviciana e terciária. A complexidade geológica evidencia-se no relevo através de uma intensa dissecação, apresentando uma heterogeneidade de tipos de modelados, compondo um único subdomínio morfoestrutural, denominado de Embasamentos do Sul.

No **segundo nível taxonômico**, são apresentados os Domínios Morfoesculturais, representado pela Depressão Periférica que se estende de leste a oeste do município e pelo Escudo Sul-rio-grandense na porção centro-sul, onde se encontra as superfícies com as maiores altitudes do município.

A Depressão Periférica do Rio Grande do Sul ou Depressão Central Gaúcha apresenta uma orientação de E-W, formada por rochas sedimentares e rochas cristalinas mais coesas. Apresenta relevo suave sem grandes variações altimétricas, constituído por uma sequência de coberturas sedimentares da Bacia do Paraná de origem Mesozoica e Quaternária.

O Escudo Sul-rio-grandense é formado por rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, de diversas idades, origens e evoluções, caracteriza-se por uma compartimentação em blocos limitados por grandes falhamentos regionais de direção NE-SW (CPRM, 1995). Apresenta relevos intensamente dissecados bem como ocorrências de áreas francamente dissecadas.

6.2 COMPARTIMENTAÇÃO DO TERCEIRO, QUARTO E QUINTO NÍVEIS TAXONÔMICOS

6.2.1 Terceiro Nível Taxonômico

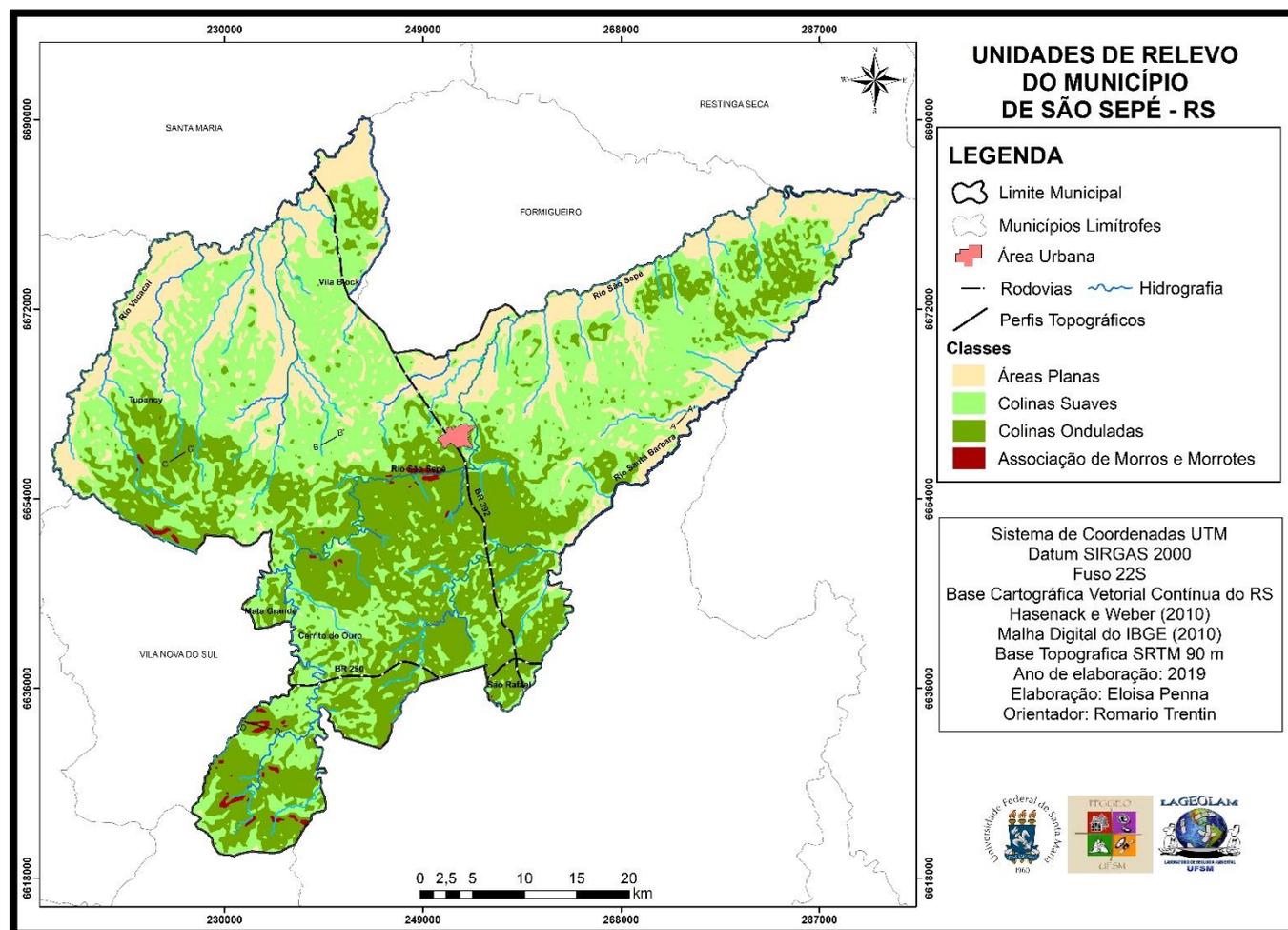
No terceiro nível taxonômico são apresentadas as Unidades de Relevo: Áreas Planas, Colinas Suaves, Colinas Onduladas e Associação de Morros e Morrotes, analisadas através das amplitudes e declividades do município, quantificadas na Tabela 9 e identificadas na Figura 17.

Tabela 9 - Quantificação das formas de relevo.

Classes	Área (km²)	Área (%)	Representação
Áreas Planas	512,59	23,27	
Colinas Suaves	973,48	44,20	
Colinas Onduladas	705,98	32,06	
Associação de Morros e Morrotes	10,59	0,47	
Total	2.202,64	100	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 17- Distribuição das unidades de relevo no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As unidades de relevo das Áreas Planas (Figura 18) apresentam declividades inferiores a 2% e ocorre em altitudes inferiores a 100 metros. Localizam-se associadas as planícies de inundação principalmente na porção norte do município, junto dos principais afluentes dos rios Vacacaí, São Sepé e Santa Bárbara.

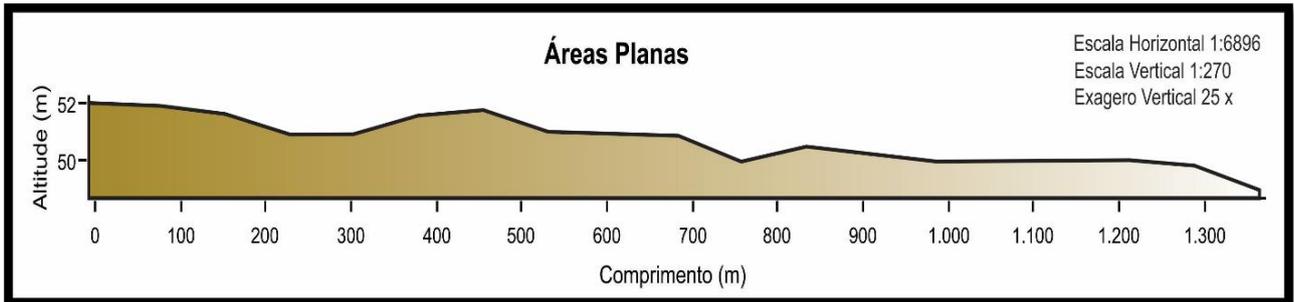
Figura 18 - Imagem que ilustra a Unidade de Relevo Áreas Planas.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

Por apresentar baixa variação altimétrica (Figura 19), essas unidades favorecem os processos de sedimentação ao longo do canal fluvial. As litologias são constituídas por depósitos aluviais e ocupam uma área de 512 km², representando 23,27% da área de estudo.

Figura 19 - Perfil topográfico A-A'.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

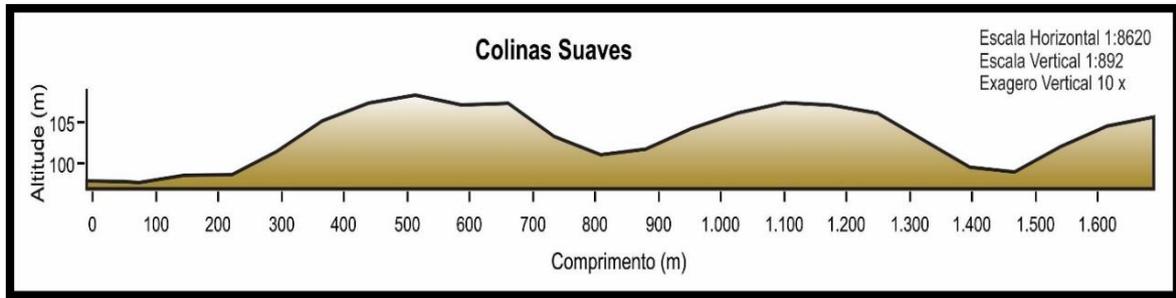
As unidades de relevo das Colinas Suaves (Figura 20) ocupam uma área de 973,48 km², representando 44,20% da área total. Essa é a unidade com maior expressividade no município e caracteriza-se por apresentar relevo suavemente ondulado com declividades entre 2 - 5% (Figura 21). Distribui-se em toda a extensão do município, nas altitudes entre 60 e 200 metros e amplitudes altimétricas menores que 100 metros.

Figura 20 - Imagem que ilustra a Unidade de Relevo Colinas Suaves.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

Figura 21 - Perfil topográfico B-B'.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As unidades de relevo das Colinas Onduladas (Figura 22) representam 32,06% do total da área de estudo, abrangendo uma área de 705,98 km². Essa unidade se estende com maior abrangência nas porções leste, oeste centro e sul, com declividades variando de 5 -15%.

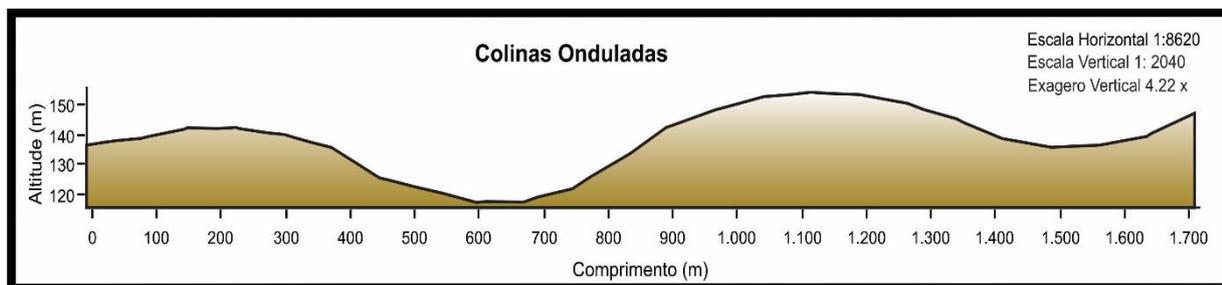
Figura 22 - Imagem que ilustra a Unidade de Colinas Onduladas com Morrote ao fundo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

A Figura 23 apresenta uma visualização dessa unidade que se caracteriza por estar localizada no município em altitudes superiores a 100 metros.

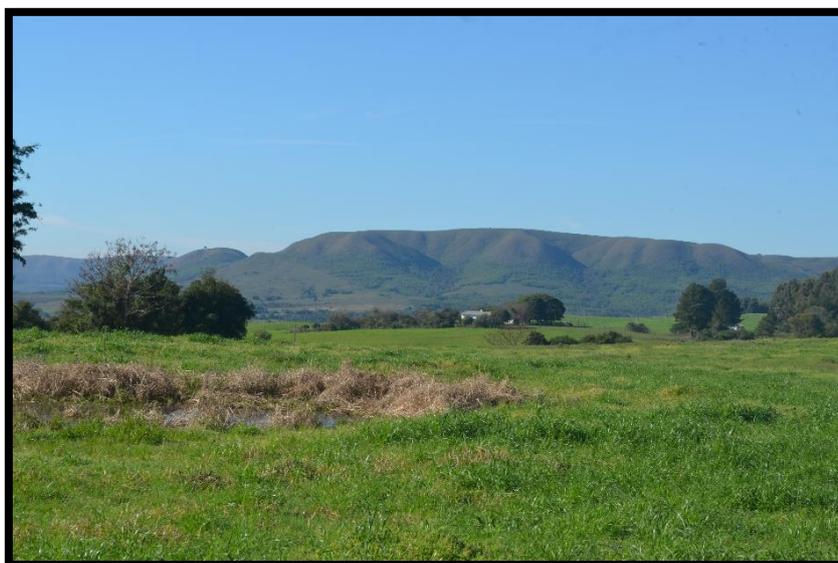
Figura 23 - Perfil topográfico C-C'.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As unidades de relevo da Associação de Morros e Morrotes (Figura 24) representam 0,47% do total da área de estudo, sendo assim a classe menos expressiva no município. São as áreas mais elevadas que se encontram principalmente na porção sul do município associada ao Escudo Sul-rio-grandense. Caracteriza-se por apresentar altitudes entre 120 e 380 metros e declividades maiores que 15%.

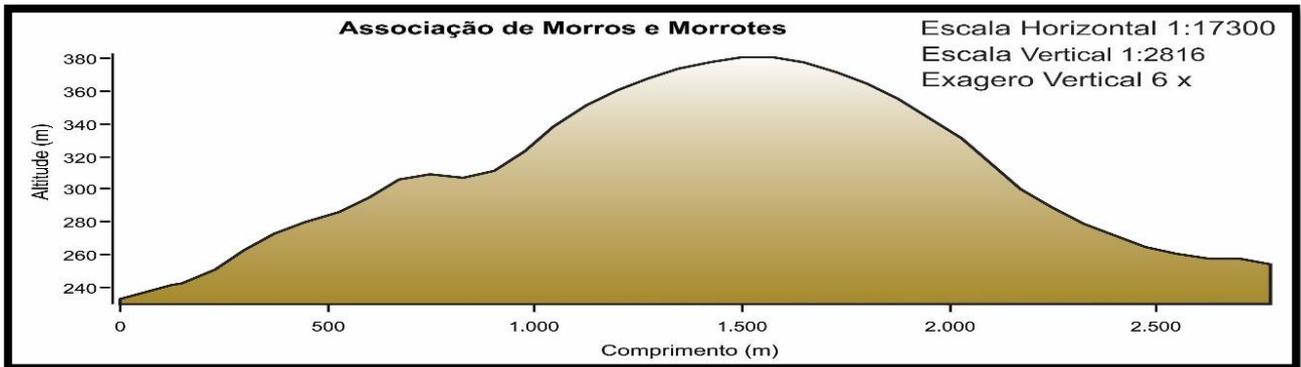
Figura 24 - Imagem que ilustra a Unidade de Associação de Morros e Morrotes.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

A Figura 25 representa um perfil topográfico traçado na região do Escudo Sul-riograndense com o objetivo de demonstrar o comportamento dessa unidade de relevo na área de estudo.

Figura 25 - Perfil topográfico D-D'.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

6.2.2 Quarto Nível Taxonômico

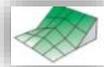
No quarto nível taxonômico são definidos os dez principais elementos de relevo presentes na área de estudo, a partir dos *geomorphons* e identificados por: Plano, Pico, Crista, Ressalto, Crista Secundária, Encosta, Escavado, Base de Encosta, Vale e Fosso. A quantificação de ocorrência de cada um dos elementos de relevo está representada na Tabela 10 e podem ser visualizadas na Figura 26.

Tabela 10 - Quantificação e representação dos elementos de relevo.

Unidade	Área (km ²)	Área (%)	Representação
Plano	396,09	18,43	
Pico	31,86	1,48	

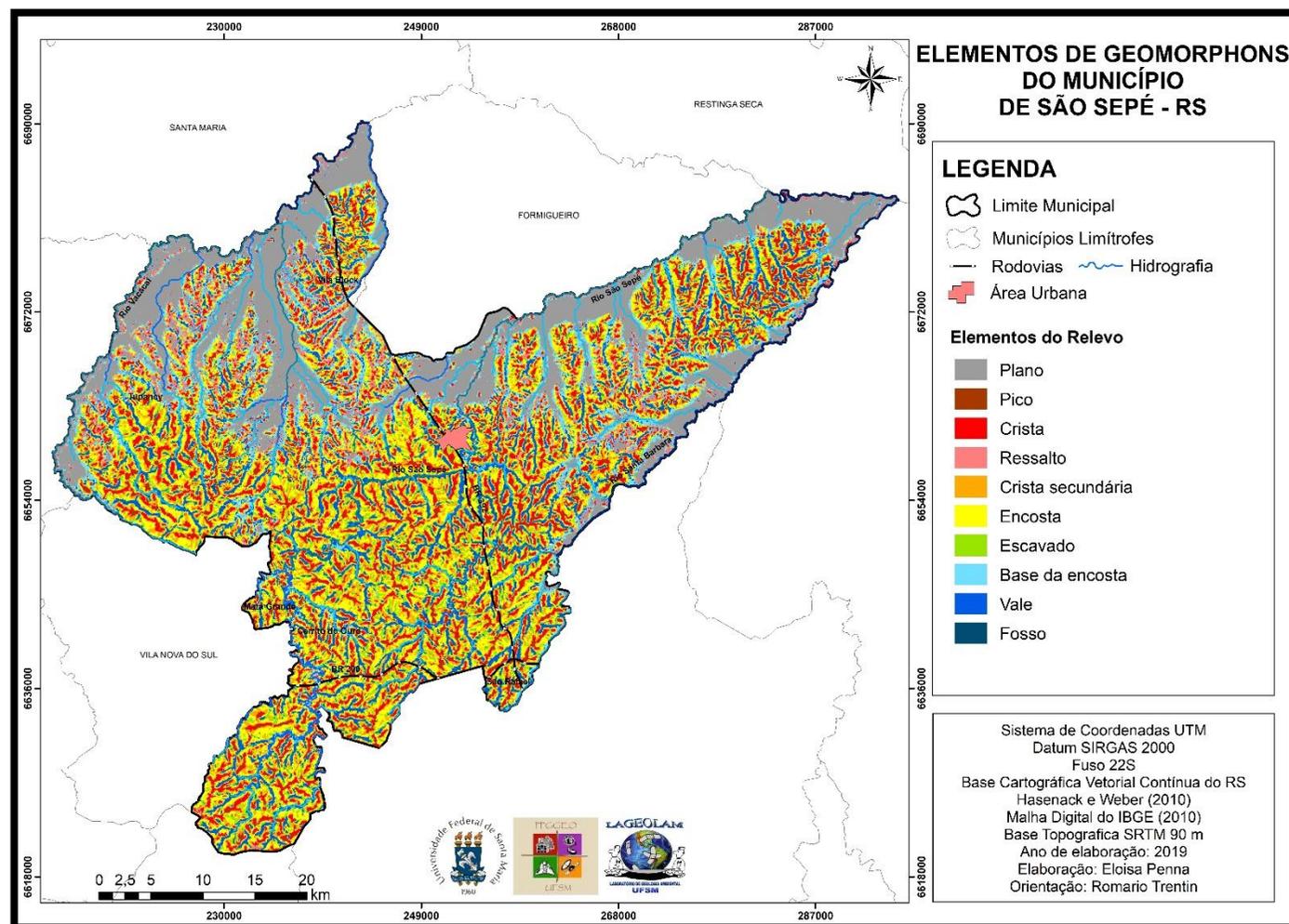
(continua)

(conclusão)

Crista	280,29	13,04	
Ressalto	99,65	4,63	
Crista secundária	238,02	11,07	
Encosta	445,72	20,74	
Escavado	191,03	8,89	
Base de encosta	171,82	7,99	
Vale	285,51	13,28	
Fosso	8,62	0,40	

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Figura 26 - Distribuição dos elementos de Geomorphons no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Os elementos de relevo ocorrem em toda área do município, sendo que o elemento definido como Encostas são os predominantes, com 20,74% do total. Caracterizam-se pela associação com a unidade de Colinas Suaves que ocupam grande parte da porção do município, representando as vertentes destas colinas.

Os elementos do tipo Plano ocupam 18,43% do total da área de estudo, sendo assim, o segundo mais expressivo. Estes elementos, apesar de ocorrer por todo o município, destacam grandes continuidades de áreas nas porções norte associadas as Áreas Planas das planícies de inundação dos rios principais.

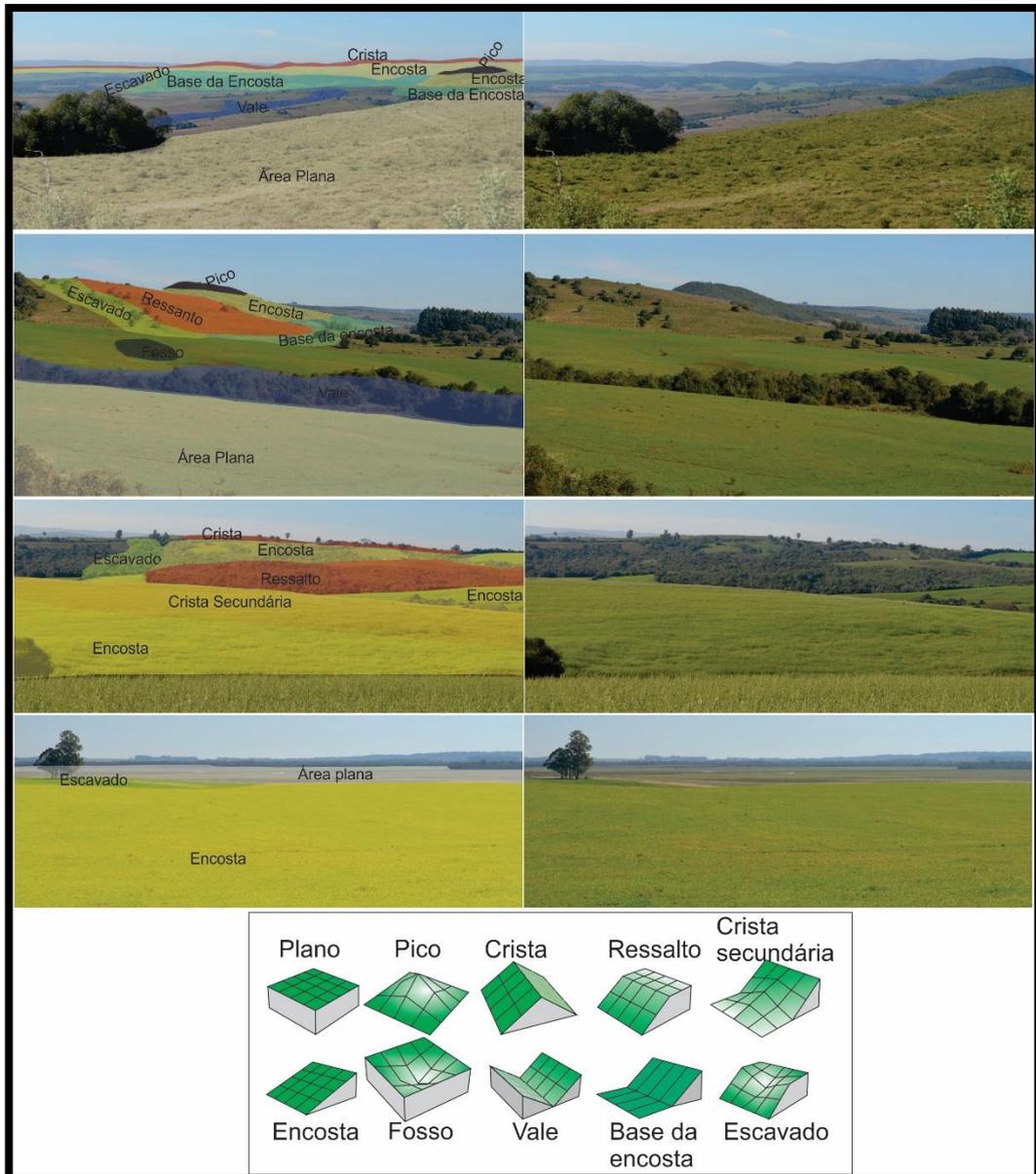
Os elementos do tipo Vale são o que ocorrem em terceira maior área, ocupando 13,28% da área. Estes se associam bastante com os elementos do tipo Base da Encosta com 7,99% da área e juntos definem precisamente as planícies de inundação dos canais de drenagens internas do município.

Os elementos do tipo Cristas; Cristas Secundárias e Pico representam, respectivamente, 13,04%; 11,07% e 1,48% da área de estudo e também apresentam grande associação, pois juntos compreendem as áreas de divisores de água, tanto das grandes bacias, como das sub-bacias e dos canais de drenagens.

Quanto aos demais elementos de relevo, os mesmos não apresentam grande representatividade e associações. Em contrapartida, os elementos do tipo Escavado, que representam 8,89% da área, indicam áreas convergentes do relevo, geralmente associados a canais de drenagem na meia encosta. Os Ressaltos, por sua vez, representam 4,63% da área e geralmente caracterizam a porção superior das vertentes, as quais apresentam um caráter mais plano. Já os Fossos, com a menor área, apenas 0,40%, indicam áreas rebaixadas em relação ao entorno, o que não é um elemento característico do relevo no município de São Sepé.

A Figura 27 apresenta uma prancha de fotografias realizadas com base em levantamento de campo onde foram identificados os principais elementos de relevo presentes nas mesmas.

Figura 27 - Visualização e representação dos principais elementos de relevo.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

6.2.3 Quinto Nível Taxonômico

No quinto nível taxonômico são avaliados os padrões das formas das vertentes através das unidades geomorfométricas. Dessa forma, o município de São Sepé apresenta as cotas altimétricas menores que 120 metros do centro ao norte do município junto a planície de inundação dos principais rios (Vacacaí, São Sepé e Santa Bárbara), e as cotas altimétricas maiores que 120 metros do centro ao sul do

município junto a nascente do rio São Sepé associada a porção do Escudo Sul-riograndense.

A declividade é um dos atributos mais utilizados para a caracterização do relevo, uma vez que é considerado um dos mais importantes atributos topográficos primários que controlam os processos pedogenéticos. As declividades acima de 5% indicam o limite de ocorrência predominante de processos morfogenéticos erosivos e ocupam uma área de 1.134,39 km², enquanto as declividades abaixo de 5% marcam o limite de ocorrência predominante dos processos morfogenéticos atuantes (deposição), com uma área de 1.068,25 km².

O plano de curvatura se refere ao caráter divergente ou convergente dos fluxos de matéria e energia nas vertentes, em projeção horizontal. Essa característica está relacionada ao acúmulo de umidade e a concentração de água no ambiente. Para esse estudo foram considerados os planos de curvatura de caráter divergente com 936,30 km² de área e, convergente com 1.266,34 km² de área no município de São Sepé.

Já o perfil de curvatura se refere a forma da vertente na posição vertical. Essa variável está relacionada ao processo de aceleração ou desaceleração do fluxo de água sobre o terreno e, assim, influência na erosão do solo. Para esse estudo, foram considerados os perfis de curvatura de caráter côncavo, que ocupa 1.037,28 km² de área e, convexo com 1.165,36 km² de área.

De acordo com os parâmetros descritos, foram estabelecidas doze unidades de geomorfométricas, descritas a seguir e representadas na Tabela 11.

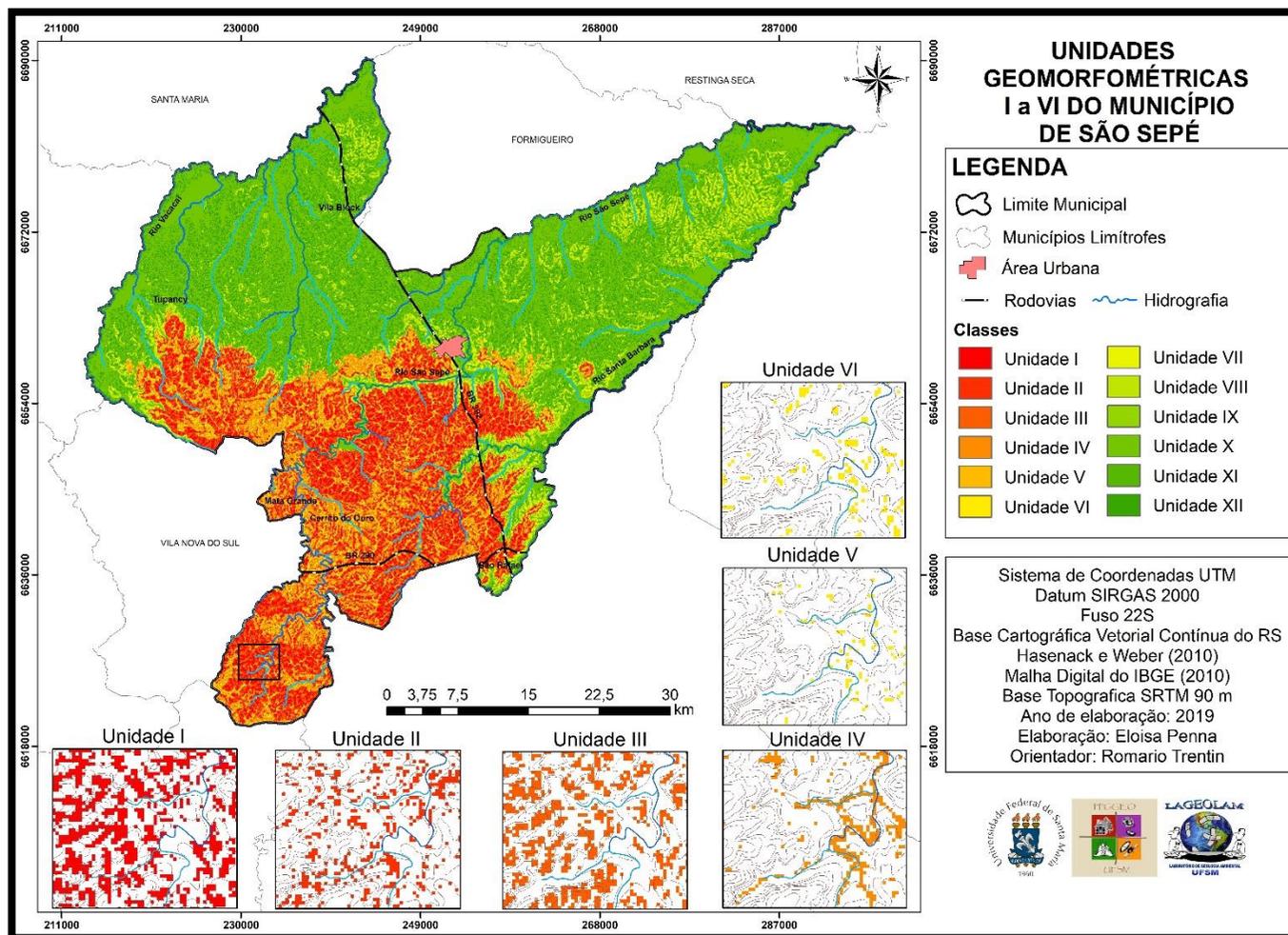
Tabela 11 - Quantificação das unidades geomorfométricas no município de São Sepé.

Unidade	Altitude	Declividade	Plano	Perfil	Área (km ²)	Área (%)
I	> Média	>5%	Convergente	Côncavo e Convexo	220,2	9,99
II	> Média	>5%	Divergente	Côncavo	83,36	3,78
III	> Média	>5%	Divergente	Convexo	170,13	7,72
IV	> Média	<5%	Convergente	Côncavo e Convexo	180,62	8,19
V	> Média	<5%	Divergente	Côncavo	45,02	2,04
VI	> Média	<5%	Divergente	Convexo	112,15	5,09
VII	< Média	>5%	Convergente	Côncavo e Convexo	99,09	4,49
VIII	< Média	>5%	Divergente	Côncavo	53,90	2,44
IX	< Média	>5%	Divergente	Convexo	73,04	3,31
X	< Média	<5%	Convergente	Côncavo e Convexo	766,08	34,77
XI	< Média	<5%	Divergente	Côncavo	118,83	5,39
XII	< Média	<5%	Divergente	Convexo	279,93	12,71

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

As seis primeiras unidades geomorfométricas encontradas no município de São Sepé (I, II, III, IV, V e VI) correspondem as altitudes superiores à média do município (120 metros), conforme mostra a Figura 28.

Figura 28 - Distribuição das unidades geomorfométricas I a VI no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A unidade I ocupa uma área de aproximadamente 220,20 km², representando 10% do total da área do município de São Sepé. Predominam os processos morfogenéticos de erosão devido as suas declividades serem superiores a 5% e a maior concentração da água devido ao plano de curvatura ser convergente.

A unidade II cobre uma área de aproximadamente 83,36 km², próximo a 3,78% do município. Apresenta altitudes maiores que a média e declividade superior à 5%. Além disso, possui plano divergente e perfil côncavo, o que atenua os processos erosivos, fazendo com que a água seja dissipada com menor velocidade.

A unidade III possui uma área de aproximadamente 170,13 km², totalizando 7,72% do território. Caracteriza-se por apresentar altitudes maiores que a média e declividade superior a 5%, com plano divergente. Esses fatores caracterizam a dispersão da água e perfil convexo, que aumenta a velocidade do fluxo da água, podendo assim, levar a ocorrência de processos erosivos acentuados.

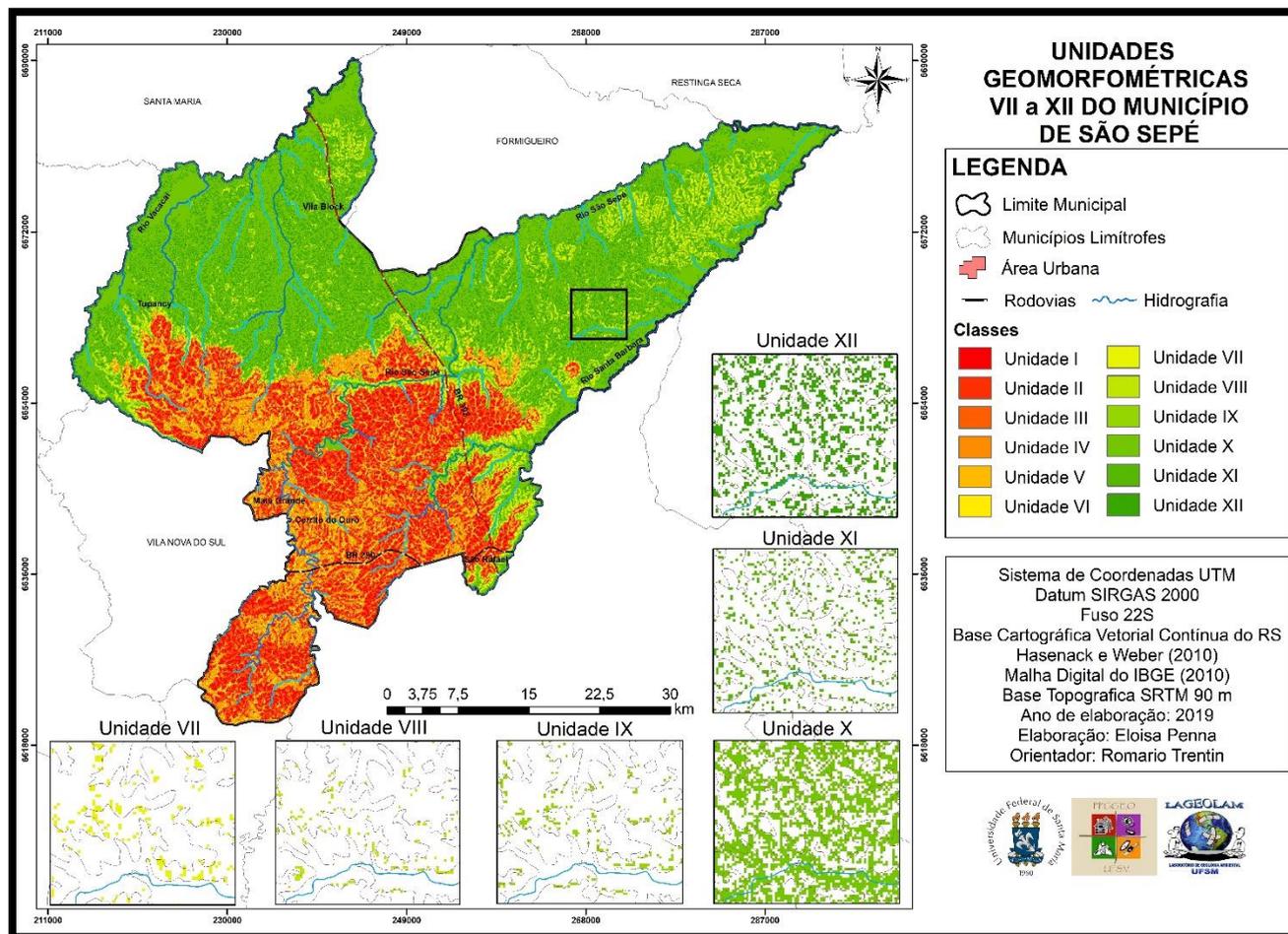
A unidade IV possui uma área de aproximadamente 180,62 km², equivalente a 8,19% da área de São Sepé. Apresenta altitudes maiores que a média e declividades inferiores a 5% e plano de curvatura convergente. O perfil pode ser tanto côncavo como convexo.

A unidade V cobre aproximadamente 45,02 km², correspondendo a 2,04% da área do município. Esta unidade mesmo apresentando declividade inferior a 5% e perfil côncavo, provavelmente não identificará processos de acumulação devido ao plano de curvatura ser divergente.

A unidade VI possui aproximadamente 112,15 km² de área, totalizando 5,09% do território. Apesar de possuir plano divergente e perfil convexo, que aumenta a energia do fluxo, os processos erosivos não ocorrem de forma acentuada em razão de sua declividade ser inferior a 5%.

As seis últimas unidades encontradas no município de São Sepé (VII, VIII, IX, X, XI e XII) correspondem as altitudes inferiores à média do município (120 metros) e estão representadas na Figura 29.

Figura 29 - Distribuição das unidades geomorfométricas VII a XII no município de São Sepé.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A unidade VII apresenta declividades superiores a 5% e plano de curvatura convergente, podendo gerar canais de concentração de água e favorecendo os processos morfogenéticos de erosão. Essa unidade possui uma área aproximada de 99,09 km², equivalente a 4,49% da área total e apresenta perfil que pode ser tanto côncavo como convexo.

Representando aproximadamente 53,9 km² da área do município (2,44%), a unidade VIII é caracterizada por plano divergente e perfil côncavo, podendo ocorrer processos erosivos devido a declividade ser superior a 5%.

A unidade IX cobre uma área de aproximadamente 73,04 km² e representa 3,31% do total da área do município de São Sepé. Devido as declividades serem superior a 5%, associada ao aumento de energia e dissipação do fluxo de água decorrente do perfil convexo e do plano divergente, pode vir a ocorrer processos morfogenéticos de erosão.

A unidade X é a com maior representatividade no município, com área de aproximadamente 766,18 km², equivalente a 34,77% da área total. Ocorre principalmente nas áreas próximas as drenagens, com declividades inferiores a 5%, apresenta plano convergente, fazendo com que ocorra maior concentração de fluxo de água na base da vertente. Apresenta perfil de curvatura que pode ser tanto côncavo como convexo.

A unidade XI possui uma área aproximada de 118,97 km², equivalente a 5,39% do território municipal. Apresenta declividades menores que 5% e altitudes inferiores à média. Com plano divergente e perfil côncavo, caracteriza-se pela diminuição da energia do fluxo.

Com aproximadamente 279,98 km² (12,71%), a unidade XII apresenta declividades inferiores a 5%. Caracteriza-se pela dispersão dos fluxos devido ao plano de curvatura divergente.

A Figura 30 apresenta uma prancha de fotografias levantadas em trabalhos de campo onde foram identificadas as principais unidades de vertentes presentes nas mesmas.

Figura 30 - Fotografias com a identificação das principais unidades de vertentes.



Fonte: Trabalho de campo realizado em julho de 2019.

6.2.4 Relações dos Níveis Taxonômicos do município de São Sepé

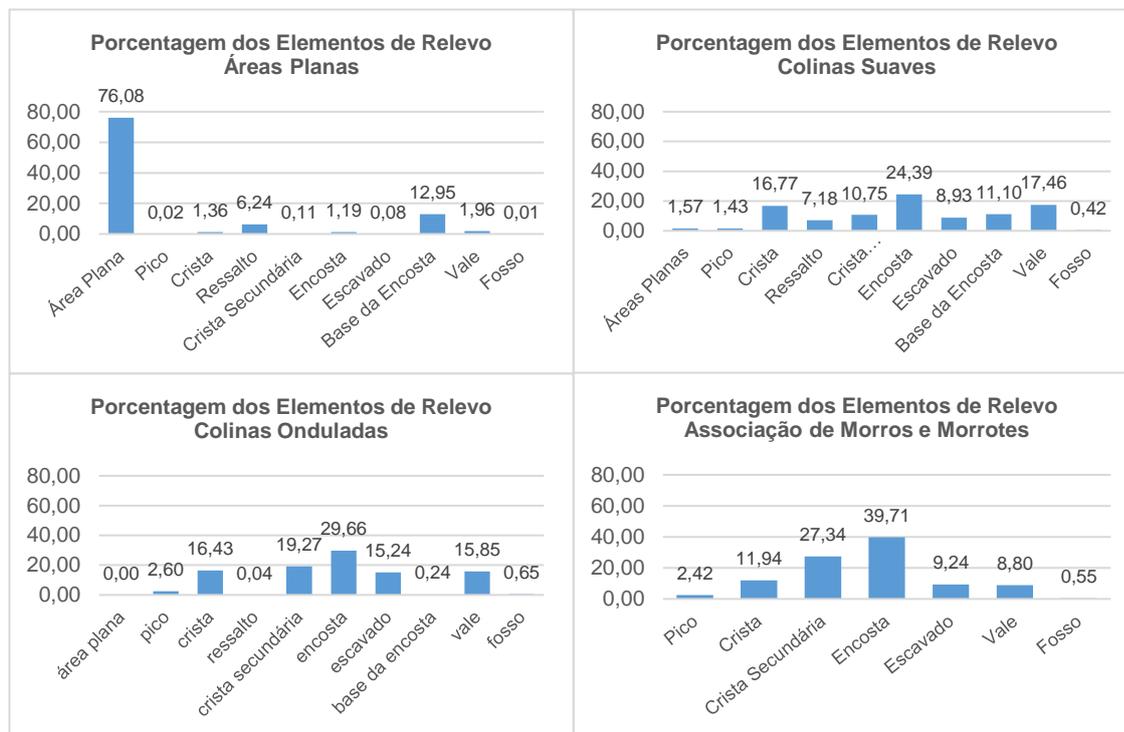
Através da definição do terceiro, quarto e quinto nível taxonômico do relevo do município de São Sepé, foi possível determinar as relações existentes entre os diferentes níveis. Partindo-se da relação existente entre o terceiro e quarto nível, foi possível identificar os principais elementos de relevo presentes em cada uma das unidades de relevo.

Nas unidades de relevo classificadas como Áreas Planas, percebeu-se que predominam os elementos de *geomorphons* Planos com área total de 390,06 km², o que representa 76,08% da área total e define a boa representatividade entre os diferentes níveis, pois ambos representam superfícies planas em áreas distintas. Além desses elementos é possível identificar 12,95% de elementos de relevo de Base da Encosta, que se associam as áreas limítrofes das unidades Áreas Planas.

Nas unidades de relevo das Colinas Suaves ocorre uma maior diversidade de elementos de *geomorphons*, sendo predominante os elementos de relevo de Encostas com 24,39%, seguidos dos elementos Vale (17,46%) e Crista (16,77%). Nas Colinas Onduladas ocorrem uma maior distribuição dos elementos de relevo com a predominância de Encostas (29,66%), Crista Secundária (19,27%), Crista (16,43%), Vale (15,85%) e Escavado (15,24%).

Na Associação de Morros e Morrotes, os elementos de relevo que predominam são Encostas (39,71%) e Cristas Secundárias (27,34%). A Figura 31 apresenta a relação dos elementos de relevo em cada uma das quatro unidades de relevo presentes no município de São Sepé.

Figura 31 - Distribuição dos elementos de relevo em relação as unidades de relevo.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Quanto a relação das formas de vertentes com as unidades de relevo do município de São Sepé, constatou-se que nas unidades de relevo das Áreas Planas, as vertentes predominantes estão associadas aos canais de drenagens e vertentes concentradoras de fluxos, definida pela Unidade X (75,83%) com plano de curvatura convergente.

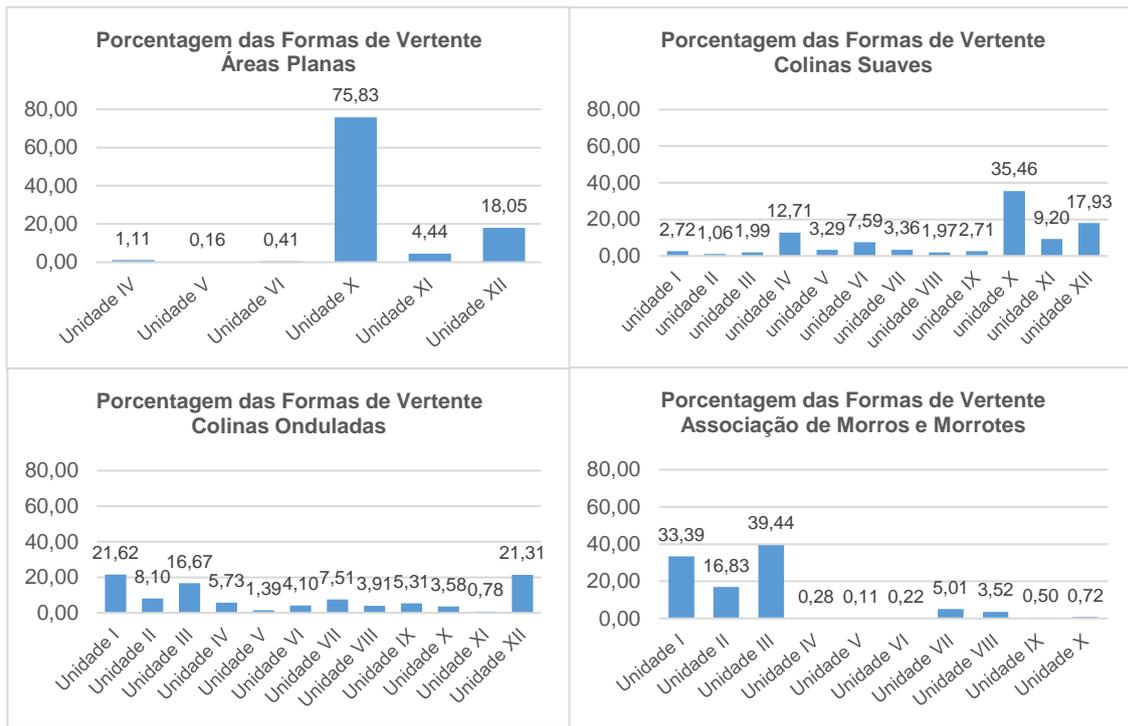
Nas unidades de relevo das Colinas Suaves predominam as vertentes representadas pela Unidade X (35,46%) com perfil côncavo ou convexo e plano convergente, Unidade XII (17,93%) com perfil convexo e plano divergente e a Unidade IV (12,71%) com perfil côncavo ou convexo e plano convergente.

No relevo caracterizado pelas Colinas Onduladas as vertentes predominantes são a Unidade I (21,62%) com declividades maiores que 5% e perfil côncavo ou convexo com plano convergente, a Unidade XII (21,31%) com declividades menores que 5% e perfil convexo com plano divergente e a Unidade III (16,67%) com declividade maior que 5%, plano de curvatura divergente e perfil de curvatura convexo.

Por fim, na unidade de relevo definida pela Associação de Morros e Morrotes predomina as vertentes da Unidade III e I, com 39,44% e 33,39% respectivamente, com

declividades maiores que 5% e perfil convexo com plano divergente (Unidade III) e perfil côncavo ou convexo com plano convergente (Unidade I). A Figura 32 apresenta a relação das formas das vertentes em cada uma das quatro formas de relevo presentes no município de São Sepé.

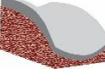
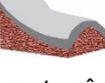
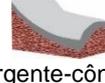
Figura 32 - Distribuição das formas das vertentes em relação as unidades de relevo.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A síntese dos três níveis de classificação do relevo, identificados por unidades de relevo, elementos do relevo (*geomorphons*) e forma das vertentes (unidades geomorfométricas) definidos para o município de São Sepé é representado na Figura 33.

Figura 33 - Síntese da classificação do relevo no município de São Sepé.

Unidades de Relevo	Principais Elementos de Relevo	Principais Formas de Vertentes
 <p>Áreas Planas</p>	 <p>Áreas Planas</p>	 <p>Convergente-convexo</p>  <p>Convergente-côncavo</p>
 <p>Colinas Suaves</p>	 <p>Encosta</p>  <p>vale</p>  <p>Crista</p>	 <p>Convergente-côncavo</p>  <p>Convergente-convexo</p>  <p>Divergente-côncavo</p>
 <p>Colinas Onduladas</p>	 <p>Encosta</p>  <p>Crista Secundária</p>  <p>Crista</p>  <p>Vale</p>  <p>Escavado</p>	 <p>Convergente-convexo</p>  <p>Convergente-côncavo</p>  <p>Divergente-côncavo</p>
 <p>Associação de Morros e Morrotes</p>	 <p>Encosta</p>  <p>Crista Secundária</p>	 <p>convergente-convexo</p>  <p>Convergente-côncavo</p>  <p>Divergente-côncavo</p>

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa buscou, por meio da metodologia de mapeamentos com uso de SIG, definir a compartimentação do relevo no município de São Sepé através do mapeamento geomorfológico ao usar as unidades de relevo, os elementos de relevo (*geomorphons*) e as formas das vertentes (unidades geomorfométricas).

O conhecimento do meio físico em nível municipal é de fundamental importância para o planejamento das ações a serem implantadas. Dessa forma, a compartimentação geomorfológica contribui para a compreensão da configuração do relevo, se tornando um elemento norteador no planejamento e gestão do território.

A partir do levantamento de informações e caracterização do meio físico no município de São Sepé, foi possível estabelecer três níveis taxonômicos para a análise do relevo. Em relação ao terceiro nível taxonômico, foram definidas quatro unidades de relevo: Áreas Planas, Colinas Suaves, Colinas Onduladas e Associação de Morros e Morrotes. Vale ressaltar que a unidade das Colinas Suaves possui a maior expressividade no município e se caracteriza por apresentar relevo suavemente ondulado com declividades entre 2-5% e altitudes entre 60 e 200 metros.

No quarto nível taxonômico, os dez principais elementos de *geomorphons* presentes na área de estudo foram definidos, predominando os elementos de Encostas que se caracterizam pela associação com as unidades de Colinas Suaves.

No quinto nível taxonômico os padrões de formas das vertentes foram avaliados através das unidades geomorfométricas, com destaque para a Unidade X que ocorre principalmente próximas as drenagens. Apresenta plano de curvatura convergente, fazendo com que ocorra maior concentração de fluxo de água na base da vertente.

Através da relação existente entre o terceiro e quarto nível, foi possível identificar os principais elementos presentes em cada uma das unidades de relevo. Nesse sentido, nas unidades das Áreas Planas, os elementos de relevo de Área Plana predominam. Nas Colinas Suaves, Colinas Onduladas e Associação de Morros e Morrotes, os elementos de Encostas predominam.

Em relação as formas das vertentes com as unidades de relevo, nas unidades das Áreas Planas e nas Colinas Suaves, as vertentes definidas pela Unidade X com plano de curvatura convergente e perfil podendo ser côncavo ou convexo predominam. Nas Colinas Onduladas as vertentes da Unidade I predominam, em que a maior concentração de água se apresenta devido ao plano de curvatura ser convergente. Na Associação de Morros e

Morrotes, o destaque recai sobre as vertentes da Unidade III com plano divergente, caracterizando a dispersão da água e perfil convexo que pode levar a ocorrência de processos erosivos acentuados.

A concretização dos objetivos específicos, por meio das informações extraídas dos mapas de relevo, contribui para o entendimento das características morfológicas, facilitando a compreensão da gênese das formas de relevo observadas, auxiliando na estruturação do mapeamento geomorfológico do município.

Considera-se satisfatória a aplicação da metodologia para o mapeamento do relevo, pois foi possível elaborar uma compartimentação geomorfológica representativa para a área de estudo. Evidentemente, algumas linhas de investigação necessitam de maiores desenvolvimentos sendo necessária novos estudos na área, como por exemplo o de uso e ocupação da terra atrelada as unidades de relevo. De qualquer forma, torna-se evidente que o uso da cartografia geomorfológica, as técnicas utilizadas com emprego de SIGs e os trabalhos de campos, forneceram subsídios necessários para a compartimentação geomorfológica do município.

Dessa forma, o conhecimento gerado na área de estudo é uma contribuição que pode ser utilizado como orientação ao planejamento físico-territorial do município, assim como nos setores educacionais, pois três níveis de mapeamento geomorfológico são apresentados, os quais vão desde as unidades de relevo até a forma das vertentes.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- BARBOSA, G. V.; SILVA, T. C.; NATALI FILHO, T; DEL'ARCO, D. M.; COSTA, R. C. R. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RadamBrasil. **Boletim Técnico**, Série Geomorfologia. Salvador n. 1, p. 187, 1984.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Rio de Janeiro, Editora Vozes, 1973, 351p.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. Tradução Olga Cruz. **Raega – o Espaço Geográfico em análise**. Curitiba, v. 8, p. 141-152, 2004. Disponível em: < <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389/2718>>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- BORBA, A. W. **Evolução geológica da “Bacia do Camaquã” (Neoproterozóico e Paleozóico inferior do Escudo Sul-rio-grandense, RS, Brasil): uma visão com base na integração de ferramentas de estratigrafia, petrografia e geologia isotópica**. 2006. 121f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- BORGES, M. E. S. **Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Rio Preto e sua relação com o uso agrícola**. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- CABRAL, T. L. **Zoneamento e Mapeamento Geoambiental do município de Sorriso-MT**. 2014. 131p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.; MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996. 197p.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 11 nov. 2017.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1995.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. Livro Digital 2005. Disponível em: <<https://geografiaambiental.files.wordpress.com/2010/12/geomorfologia.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2017.
- COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Passo do Salsinho SH.22-Y-A-I-4**, Escala 1:250.000. Brasília, 1995, 352p.

COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Cachoeira do Sul - SH.22-Y-A**, Escala 1:250.000. Brasília, 2000, 147p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia: introdução**. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1979.106p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.188p.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. São Paulo: Bertrand Brasil, 1994. p. 415-436.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236p.

CUNHA, C.M.L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. 128 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas**. 2009. 230p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DIAS, D. F. **Zoneamento Geoambiental Aplicado ao Estudo das Potencialidades e Suscetibilidade Ambientais e de Uso e Ocupação de Rosário do Sul/RS**. 2017. 184f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

DOMINGOS, C. S. **Geoprocessamento na escolha de sistemas ambientais para aterros sanitários na região metropolitana de Fortaleza – CE**. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo. Oficina de textos, 2008.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o Ambiente Urbano: Um estudo com ênfase na Geomorfologia Urbana. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.16, p. 76-80, 2005. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47287/51023>>. Acesso em: 13 dez. 2017.

FLORES, D. M. **Análise Geomorfológica da Bacia do Ribeirão Balainho-Suzano/SP**. 2012. 139f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

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

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-RS. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, v.1, n. 25, p. 183-199,

2014. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/10030/9928>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

GUERRA, A. T., **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 464 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23450.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

GREGORY, K. J. **A natureza da geografia física**. São Paulo: Bertrand Brasil, 1992. 367p.

HAMADA, E.; GONÇALVES, R. R. V. **Introdução ao Geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMA/7489/1/documentos_67.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2018.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio Grande do Sul**. Série Geoprocessamento, Porto Alegre: Centro de Ecologia da UFRGS, 2010. 1 DVD.

HERMANN, M. L. P, ROSA, R. **Relevo**. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geografia do Brasil: Região Sul. Rio de Janeiro: 1990. p. 59-83

HUGGETT, R. J. Soil Landscape Systems: A model of soil Genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 1-22, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal do ano de 2010**. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@ - Município de São Sepé**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br.br/>>. Acesso em: 12 set. 2017.

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

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. F. Example-Based Retrieval of Alike Land-Cover Scenes From NLCD2006 Database, **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters** 10(1). 2013, pp. 155-159.

KASPER, H. **O Processo de Pensamento Sistêmico: um estudo das principais abordagens a partir de um quadro de referência proposto**. 2000. 308f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

KOHLER, H. C. A escala na análise geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2001. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/5/3>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

LUPINACCI, C. M.; MENDES, I. A.; SANCHEZ M. S. A Cartografia do Relevo: uma análise comparativa de técnicas de gestão ambiental. **Revista Brasileira de**

Geomorfologia, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2003. Disponível em:
<<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/15/13>>. Acesso em: 03 fev. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:
<<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

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, pp. 409-440, 2007.

MARQUES NETO, R. A Abordagem Sistêmica e os Estudos Geomorfológicos: algumas interpretações e possibilidades de aplicação. **Geografia**. Londrina, v. 17, n. 02, p. 67-87, 2008. Disponível em:
<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/2354/2175>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

MELO, D. R. **Evolução das Veredas sob Impactos Ambientais nos Geossistemas Planaltos de Buritizeiro/MG**. 2008. 341f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MENESES, P. R. e ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq e UNB, 2012.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: A história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000. 127p.

MOREIRA, A. C.; PEREIRA, A. M.; CAVALHEIRO, M. L. D. Caracterização geoelétrica do Gabro Santa Catarina, São Sepé (RS). **Pesquisa em Geociências**, Porto Alegre, v. 41, p. 15-24, 2014. Disponível em:
<<https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/78029/44633>>. Acesso em: 23 fev. 2018.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. 2009. 112 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NAIME, R. H.; NARDI, L. V. S. O Granito da Ramada, porção oeste do escudo Sul Rio-grandense: geologia, petrologia e geoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, Porto Alegre, v. 21, p. 266-274, 1991. Disponível em:
<<http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11768/11305>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

PENTEADO, A. F. **Mapeamento e Análise Geomorfológicas como subsídio para identificação e caracterização de terras inundáveis. Estudo de caso da Bacia Hidrográfica do rio dos Sinos – RS**. 2011. 339 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PELOSI, A. P. M. R. **Evolução Paleogeográfica do grupo Maricá, Neoproterozóico pré-600 Ma do Rio Grande do Sul.** 2005. 165f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PIROLI, E.L. **Introdução ao Geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp, Campus de Ourinhos, 2010.

PILACHEVSKY, T. **Zoneamento Geoambiental do Município de São João da Boa Vista/SP.** 2013. 106p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, através do uso de Geomorphons obtidos em classificação topográfica automatizada. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 17, 2016.

RODRIGUES, C. A Teoria Geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v. 14, p. 69-77, 2001. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47314/51050>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento.** São Paulo: Editora Contexto, 1990. 88p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47108/50829>>. Acesso em: 05 jan. 2018.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** 7 ed. São Paulo: Editora Contexto, 2003.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídio para planejamento ambiental.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento.** 2013. Disponível em:<http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rrosa.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2018.

SANTOS, E. L.; BECKEL, J.; MACEDO, P. M.; FILHO, F. G.; CHABAN, N. D. Divisão litoestratigráfica do Eo-Cambriano – Pré-Cambriano Superior do Escudo Sul Riograndense. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOMORFOLOGIA, 1978, Recife/PE. **Anais...** Recife/PE, 1978.

SARTORI, P. L. P. **Petrologia do complexo granítico de São Sepé, RS.** 1978. 211f. Tese (Doutorado em Mineralogia e Petrologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1978.

SILVA, I. B. D.; JORDÃO, B. G. F. Geotecnologias como recursos didáticos em apoio ao ensino de cartografia nas aulas de geografia do ensino básico. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 53, p. 150-163, 2015. Disponível em:

<<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/27157>>. Acesso em: 23 jul. 2018.

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. In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória/ES. **Anais...** Vitória/ES: Universidade Federal do Espírito Santo, 2013.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, C. T.; MANTOVANI, L. E.; ANJOS, A. R. M. dos.; OKA-FIORI, C. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 317-329, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/11517/8108>>. Acesso em: 28 jul. 2018.

SOUZA, J. C. O. **Identificação de Geossistemas e sua aplicação no estudo ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio São Miguel – Alagoas**. 2013. 213f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2013, Recife, 2013.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology an introduction to the study of landforms**. England: British Library Cataloguing in Publication Data, 1997. 535p.

SCHIRMER, G. J. **Zoneamento Geoambiental da Quarta Colônia – Rio Grande do Sul**. 2015. 253f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SCHNEIDER, R. L. et al. Revisão estratigrafia da Bacia do Paraná. In: 28º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1974, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre/RS: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974.

TRENTIN, R. **Mapeamento Geomorfológico e Caracterização Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil**. 2011. 215f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE/SUPREN, 1977. 97p.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 out. 2017.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n3/v7n3a22.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

VALERIANO, M. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista**

Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 17-29, 2003. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/17/15>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica. **Geografia**, Rio Claro, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

WILDNER, W. et al. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. CPRM: Serviço Geológico do Brasil, Escala 1:750.000 Porto Alegre, 2006.

XAVIER DA SILVA, J. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Rio de Janeiro: Editora Jorge Xavier da Silva, 2001. 228p.