

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Geografia
Programa em Pós-Graduação em Geografia

Paula Meirilane Soares De Araújo

Avaliação do relevo da Serra da Canastra a partir da análise morfooscópica de sedimentos da
bacia Hidrográfica do Rio São Francisco da nascente ao entorno (MG)

Uberlândia
Fevereiro, 2025

Paula Meirilane Soares De Araújo

Avaliação do relevo da Serra da Canastra a partir da análise morfooscópica de sedimentos da
Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco da nascente ao entorno (MG)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito parcial
para obtenção do título de mestre em Geografia.

Área de concentração: Estudos Ambientais e
Geotecnologias
Linha de pesquisa: linha 2

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos Rodrigues

Uberlândia

Fevereiro, 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A663a
2025

Araújo, Paula Meirilane Soares de.

Avaliação do relevo da Serra da Canastra a partir da análise morfoscópica de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco da nascente ao entorno (MG) [recurso eletrônico] / Paula Meirilane Soares de Araújo. - 2025.

Orientador: Silvio Carlos Rodrigues.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Geografia.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5029>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Geografia. I. Rodrigues, Silvio Carlos (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

André Carlos Francisco
Bibliotecário-Documentalista - CRB-6/3408



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia
Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1H, Sala 1H35 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-
MG, CEP 38400-902
Telefone: (34) 3239-4381/3291-6304 - www.ppgeo.ig.ufu.br - posgeo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	GEOGRAFIA				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico; Número 563, PPGGEO				
Data:	24 de fevereiro de 2025	Hora de início:	14h:00min	Hora de encerramento:	16h:09min
Matrícula do Discente:	12312GEO013				
Nome do Discente:	PAULA MEIRILANE SOARES DE ARAÚJO				
Título do Trabalho:	AVALIAÇÃO DO RELEVO DA SERRA DA CANASTRA A PARTIR DA ANÁLISE MORFOSCÓPICA DE SEDIMENTOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO DA NASCENTE AO ENTORNO (MG)				
Área de concentração:	DINÂMICAS TERRITORIAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS				
Linha de pesquisa:	ESTUDOS AMBIENTAIS E GEOTECONOLOGIAS				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Processo: 403412/2023-4 - Análise da Evolução do Relevo da área das nascentes do Rio São Francisco na Serra da Canastra e entorno				

Reuniu-se na Sala [Sala 14 - Bloco 1H], no Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOGRAFIA, assim composta: Professores Doutores: Thallita Isabela Silva Martins Nazar - UFCAT-GO; Alan Silveira - IGESC-UFU; Rildo Aparecido Costa - IGESC-UFU e Sílvia Carlos Rodrigues - IGESC-UFU orientador(a) do(a) candidato(a). A Defesa aconteceu de forma presencial.

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Sílvia Carlos Rodrigues - IGESC/UFU, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Dedico este trabalho primeiramente a mim que até então nunca havia imaginado que poderia chegar aonde cheguei e ao meu orientador Silvio Carlos Rodrigues por me mostrar o caminho certo e sempre acreditar que posso ser alguém melhor.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a minha mãe Silvana Maria Santana de Oliveira pelo apoio incondicional ao longo de toda a minha vida. Agradeço também aos meus amigos próximos por me incentivarem a lutar por dias melhores e tornarem a minha vida mais alegre.

Agradeço aos meus parceiros de laboratório de pesquisa Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos (Lages) que sempre se colocam à disposição, agradeço também ao amigo Doutorando em Geografia pelo Universidade do Minho em Portugal José Manuel Fernandes Rocha pela contribuição na proposta do Índice Morfoscópico, agradeço também ao Samuel Resende Viana por me ajudar muito durante as coletas das minhas amostras e ao Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia Luan Vitor Ramos pela doação de três amostras sedimentares.

Um agradecimento ao CNPq por viabilizar meus estudos e tornar meus sonhos mais tangíveis.

“Quando você quer alguma coisa, todo o universo conspira para que você realize seu desejo.” Paulo Coelho

RESUMO

Esta pesquisa perpassa por uma técnica laboratorial entendida também como uma prospecção mineralógica inventada por Powers em 1953 que utiliza de três análises das formas dos sedimentos (Arredondamento, Esfericidade e Litologia) chamada de Morfoscopia sedimentar. Os materiais foram coletados dentro do canal fluvial do Rio São Francisco localizado no Parque Nacional da Serra da Canastra entre três Municípios: São Roque de Minas; Piumhi e Vargem Bonita, iniciado a partir da nascente histórica até sua confluência com o Rio Samburá. A morfoscopia sedimentar assim chamada se baseia na observação e contagem dos vértices pertencentes ao corpo do detrito, isto é, para a classificação do arredondamento atenta-se para as características que passam do Muito Angular (MA); Angular (An); SubAngular (Suba); Subarredondado (Sar); Arredondado (Arr) e o Muito Arredondado (Mar), dessa forma, acontece o processo erosivo por meio de transporte desses sedimentos e portanto finda-se na esfericidade que são classificadas em alta, média e baixa. A litologia é importante nesta análise técnica para reconhecimento do tipo geológico presente em cada ponto de coleta dentro da área estudada. O objetivo deste trabalho é propor um Índice Morfoscópio a ser usado em sedimentos fluviais, baseado no uso interpolação pelo método de Krigagem. Para seleção de pontos amostrais utilizou-se de tratamento de dados do tipo MDT-HC (Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistido) e a partir deste, gerando a partir do Índice de Hack, no software QGIS. Os resultados encontrados mostram uma variação do Índice Morfoscópio de 0,38 e 0,17 para a classe granulométrica de 2,0mm. Correspondendo a verossímil classificação da forma dos grãos do seu ponto de coleta até a jusante, na qual, os mais angulares (pouco desgastados) representam no índice 0,38 e os menos angulares (muito erodido) equivalem ao índice com 0,17 de variação. Os materiais sedimentares fazem seu percurso normal de fluxo do canal por 9,64 km de distância, isso mostra que percorreram pouco para que pudessem demonstrar no Índice de Morfoscopia sedimentar um alto nível de sedimentos muito arredondados.

Palavras- chave: Morfoscopia sedimentar; Modelagem ambiental; Geomorfologia fluvial.

ABSTRACT

This research explores a laboratory technique also understood as a mineralogical prospecting method, invented by Powers in 1953, which employs three analyses of sediment shapes (Roundness, Sphericity, and Lithology), known as Sedimentary Morphoscopy. The materials were collected from the fluvial channel of the São Francisco River, located in the Serra da Canastra National Park, spanning three municipalities: São Roque de Minas, Piumhi, and Vargem Bonita, from its historical source to its confluence with the Samburá River. Sedimentary Morphoscopy is based on the observation and counting of the vertices belonging to the detrital body. Specifically, for the classification of roundness, attention is given to characteristics ranging from Very Angular (VA), Angular (A), Subangular (SA), Subrounded (SR), Rounded (R), to Very Rounded (VR). In this way, the erosive process occurs through the transport of these sediments, ultimately influencing sphericity, which is classified as high, medium, or low. Lithology plays a crucial role in this technical analysis for recognizing the geological type present at each sampling point within the study area. The objective of this study is to propose a Morphoscopic Index for use in fluvial sediments, based on interpolation using the Kriging method. Sampling point selection was conducted using data processing based on the Hydrologically Consistent Digital Terrain Model (DTM-HC) and, from this, generating results through the Hack Index using QGIS software. The results indicate a variation in the Morphoscopic Index between 0.38 and 0.17 for the 2.0 mm grain size class. This corresponds to the plausible classification of grain shape from the collection point downstream, where the more angular grains (less eroded) correspond to an index of 0.38, while the less angular (highly eroded) grains correspond to an index variation of 0.17. The sedimentary materials followed their normal flow path within the channel over a distance of 9.64 km, demonstrating that they traveled a relatively short distance to exhibit a high proportion of very rounded sediments in the Sedimentary Morphoscopy Index.

Keywords: Sedimentary morphoscopy; Environmental modeling; Fluvial geomorphology

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Escala de arredondamento e esfericidade de um sedimento, método utilizado por Powers (1953)	28
Figura 2: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco	34
Figura 3: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco de modo geral e suas mesorregiões	35
Figura 4: Mapa de Unidades Morfoestruturais.....	36
Figura 5: Geomorfologia do perímetro da área de estudo.....	37
Figura 6: Exemplo de formas do relevo Serra da Canastra: A) Vista do planalto do rio São Francisco a partir do mirante na parte alta da Cachoeira Casca D’anta; B) Campos de Murundus; C) Geocobertura hidromórfica; D) Vista da Escarpa da Serra da Canastra; E) Relevo Dissecado; F) Parte baixa da Cachoeira Casca D’anta.....	38
Figura 7: Altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.....	39
Figura 8: Mapa litológico da Área objeto de estudo.....	40
Figura 9: Geologia encontrada na Serra da Canastra: A) Afloramento rochoso com Líquen; B) Afloramento Rochoso; C) Quartzito; D) Sedimentos aluviais do canal do rio São Francisco...41	
Figura 10: Geocobertura da Serra da Canastra: A) Presença de Termiteiros nos Campos de Murunduns; B) Encosta convexa ao fundo com deposição de sedimentos; C) Materiais superficiais de origem metamórficas e sedimentares transportados pelo rio.....	42
Figura 11: Aspectos da fitofisionomia presente no Parque Nacional da Serra da Canastra: A) Campo Rupestre; B) Mata ciliar do rio São Francisco; C) Capão de Mata; D) Cerrado Ralo...44	
Figura 12: Mapa de Climatologia do Estado de Minas gerais delimitando a área de estudos... 46	
Figura 13: Fluxograma 1- Esquema da distribuição do Mapeamento Geomorfológico da área de pesquisa desde a aquisição de material para base de dados.....	48
Figura 14: Processo de marcação das coordenadas dos pontos de coletas do Software QGIS e Google Earth Pro.....	50
Figura 15: Representação da coleta dos sedimentos desta pesquisa no Rio São Francisco.....	51

Figura 16: Processo de lavagem, secagem, e granulometria em laboratório.....	54
Figura 17: Análise Morfoscópica de sedimentos.....	55
Figura 18: Fluxograma 4 Técnica de Morfoscopia sedimentar a partir da classificação de Powers. 1953.....	55
figura 19: Mapa de Declividade, Curva de Nível, rugosidade e Sombreamento.....	61
Figura 20: Índice de Hack com anomalias maiores que 2.....	63
Figura 21: Mapas da litologia da área com a localização dos pontos de coleta.....	64
Figura 22: Tabela 3 de arredondamento dos sedimentos com medidas de até 2mm.....	65
Figura 23: Tabela 4 de esfericidade dos sedimentos com medidas de até 2mm.....	66
Figura 24: Tabela 5 de litologia dos sedimentos com medidas de até 2mm.....	67
Figura 25: Mapa do Índice de Morfoscopia sedimentar do canal fluvial do Rio São Francisco para uma melhor compreensão do processo natural de erosão causado pelo transporte do Rio São Francisco.....	68
Figura 26: Mapa litológico com imagens de sedimentos analisados.....	70
Figura 27: Mapa de comparação das duas bacias hidrográficas do Rio São Francisco e Rio Santo Antônio.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Amostra do interflúvio parte alta para exemplificação do cálculo do Índice Morfoscópico a partir da normalização de dados	56
Tabela 2 -	Cálculo do Índice Morfoscópico de todas as amostras analisadas com suas respectivas normalizações de dados para utilizar no Qgis	57
Tabela 3 -	Arredondamento dos sedimentos com medidas de até 2mm	65
Tabela 4 -	Esfericidade dos sedimentos com medidas de até 2mm	66
Tabela 5 -	Litologia dos sedimentos com medidas de até 2mm	67
Tabela 6 -	Cronograma mensal das atividades	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
MA	Muito angular
AN	Angular
SUBA	Subangular
SARR	Subarredondada
ARR	Arredondada
MAR	Muito arredondada
SGB	Serviço Geológico Brasileiro
PARNA	Parque Nacional da Serra da Canastra
PNMH	Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
2.JUSTIFICATIVA	16
2.1 PROBLEMÁTICA DE PESQUISA	17
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo Geral	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
4.1 Bacia Hidrográfica	19
4.2 Canais fluviais	20
4.3 Transporte de sedimentos	23
4.4 Morfoscopia sedimentar fluvial	26
4.5 Modelagem de dados fluviais	29
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	34
5.1 Relevo regional	36
5.2 Relevo da área de estudo... ..	37
5.3 Litologia e Estruturas regionais	42
5.4 Uso da Terra e características da vegetação natural do Bioma	43
5.5 Clima	45
6. METODOLOGIA	47
6.1 Trabalho de gabinete	47
a) Índice de Hack	47
6.1.2 Trabalho de campo	51
6.1.3 Trabalho de laboratório	52
6.1.4 Trabalhos de gabinete parte II	57
b) Índice Morfoscopia sedimentar	56
7. RESULTADOS	59
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERENCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa é realizada na parte do Chapadão do Diamante, localizado no Parque Nacional da Serra da Canastra, situado no sudoeste de Minas Gerais, há 350 km do Município de Uberlândia -MG. O parque contém aproximadamente 200 mil hectares, abrangendo, parte dos municípios de São Roque de Minas, Capitólio, Vargem Bonita, São João Batista do Glória, Delfinópolis e Sacramento. O perímetro da área de estudo detém cerca de aproximadamente 802 km², contendo de 93 km de percurso do rio finalizando em confluência com o Rio Samburá. O PARNA Canastra, abriga uma grande diversidade de fauna e flora além de preservar as nascentes do rio São Francisco, e do rio Santo Antônio, protege várias fitofisnomias do bioma Cerrado, como capões de mata e predomínio dos campos rupestres, sua paisagem é exuberante e o relevo é marcado por planaltos, vales dissecados pelas redes de drenagens, desaguando nas bordas da escarpa, a qual encontra-se a cachoeira Casca D'anta.

O presente trabalho é designado como quantitativo e tem por objetivo contribuir com informações pertinentes e apropriadas a proteção da área, principalmente no quesito de conservar os bens hídricos existente de forma responsável. A proposta é um estudo de caso, entretanto, esta técnica pode ser utilizada em qualquer canal fluvial, pois basicamente permite compreender as dinâmicas que envolvem os processos erosivos dentro do curso d'água.

Dentre a abrangência da Geomorfologia fluvial a morfoscopia sedimentar é uma técnica que estuda as formas de esfericidade e arredondamento de uma determinada partícula sedimentar. As estruturas tectônicas, os tipos de rochas e minerais, são alguns exemplos que atuam de forma crucial para a determinação da topografia e da morfologia da superfície terrestre, dessa forma, a abordagem interdisciplinar da Geomorfologia e Geologia, da Hidrografia propiciam uma compreensão mais ampla da evolução da paisagem, de bacias sedimentares, de estudos geotécnicos e projetos de planejamento do uso e ocupação do solo.

Autores como os Geógrafos e Geólogos: William Morris Davis, Arthur Newell Strahler, Maurice C. Powers, Francis J. Pettijohn, Kenneth S. W. Campbell, entre outros, são referências quando se trata de estudos e interpretações dos ambientes sedimentares utilizando uma abordagem quantitativa.

Tendo em vista que, a maior parte dos estudos relacionados à morfoscopia sedimentar estão sendo realizados na costa marítima brasileira, majoritariamente na região do Nordeste, por vezes utilizando lupa de precisão, ou microscópio polarizador, e outras vezes analisando cascalhos e areias grossas.

No momento presente, os autores buscam compreender a influência dos fatores pedogenéticos no desenvolvimento da paisagem e evolução das coberturas pedológicas existentes com a intenção de contribuir com a gênese dessas coberturas e à participação fluvial na sua constituição a partir da técnica de morfoscopia.

Atualmente na observação dos sedimentos marítimos, utilizando a morfoscopia alguns autores discutem como os sedimentos marítimos sofrem recuo da linha costeira e a diminuição do suprimento sedimentar, relacionando-os com as mudanças no nível do mar, mas sobretudo, com a evolução da ocupação e a dinâmica da área.

Nesse mesmo tema, outros autores abordam a partir da observação da planície costeira para a identificação de indicadores na morfologia dos depósitos sedimentares correlacionando as feições erosivas e deposicionais com as condicionantes geológicas e sedimentológicas.

A técnica de morfoscopia sedimentar também auxilia na caracterização dos aspectos físicos dos depósitos superficiais como é demonstrado na pesquisa de Santos (2020) onde, as análises granulométricas juntamente com a morfoscopia podem gerar dados quanto aos teores de areia e argila que estão presentes nas amostras de sedimentos, dessa forma, diferencia-se o que pode ser depósitos superficiais em coluviais ou apresentar evidências aluvionares.

A morfoscopia sedimentar também proporciona informações pertinentes no ramo da Arqueologia nos ambientes com vestígios de ocupação pré-históricas reconstruindo a paisagem local, baseados em correntes arqueológicas ligadas à geoarqueologia e arqueologia da paisagem utilizando amostras da área de drenagem, a partir do método de hierarquização proposto por Strahler, calculando parâmetros morfométricos relacionados à bacia, criando assim, um mapeamento geomorfológico de detalhes com base nas redes de drenagens, relevo e fotolineamentos, reconhecendo as formações superficiais para delimitar áreas de acúmulos sedimentares.

Nos estudos internacionais relacionados a morfoscopia sedimentar estão ligados às pesquisas minuciosas da arqueologia nos túmulos de ritos nos pedaços de cerâmicas, e há

também nos cursos de Engenharias, como por exemplo, nos deslizamentos de terra a partir da investigação mineralógico e físico nas encostas escarpadas propiciando estudos detalhados e assim, sugerir propostas mitigadoras para diminuir a força motriz e aumentar as forças do talude.

2. JUSTIFICATIVA

O principal motivo desta pesquisa é explicar o processo de erosão de sedimentos encontrados no canal do rio São Francisco, empregando a proposta de um Índice Morfoscópico a ser usado em sedimentos fluviais, baseado no uso interpolação pelo método de Krigagem. Para seleção de pontos amostrais utilizou-se de tratamento de dados do tipo MDT-HC (Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistido) e a partir deste, gerar o Índice de Hack, no software QGIS e sucessivamente coletar amostras de sedimentos para a construção do Índice Morfoscópico sedimentar. O ponto de partida inicia-se na nascente histórica até sua confluência com o rio Samburá. A análise de seus vértices (Morfoscopia sedimentar) é categorizado em arredondamento e esfericidade, utilizando da modelagem linear do Índice Morfoscópico, com intuito de buscar verossimilhança ao ambiente coletado como uma resposta da avaliação do relevo da Serra da Canastra.

A realização da técnica de interpolação da *Krigagem* ordinária para expressar o índice Morfoscópico de sedimentos fluviais surgiu como uma possibilidade de mostrar de forma aparente a erosão nos detritos, justificando-o conforme Yamamoto (2018), que mostra a exatidão da técnica a partir da compreensão de que se um ponto de dado coincide com o ponto a ser interpolado e, quando os pontos de dados estão distribuídos de forma regular sobre a área de estudo o mapa que contem a variância por Krigagem irá refletir a baixa variância sobre os pontos e alta variância entre os pontos de dados independente da dispersão dos pontos de dados.

Portanto, será feito a quali-quantificação dos grãos transportados dentro do canal a partir de suas formas: esfericidade, arredondamento e litologia com princípio do Índice de Hack e assim, resultando em mapeamentos geomorfológicos, finalizando com o Índice Morfoscópico sedimentar demonstrando de forma linear o processo natural de erosão que ocorre com esses grãos.

As pesquisas que perpassam pela análise da paisagem se movimentam puramente com o objetivo de se obter um melhor domínio sobre os demais aspectos do relevo e por

isso, se faz necessário a compreensão da forma e aparência, a qual se origina uma determinada feição, isto é, a morfologia, morfogênese e a morfodinâmica são algumas das variáveis intrínsecas a geomorfologia e essas variáveis têm aplicabilidade nos estudos ambientais, desse modo, são voltados para o planejamento do uso da terra.

A avaliação do relevo se baseia na descrição ora qualitativa, ora quantitativa e, neste trabalho encontra-se essas duas perspectivas, pois, o levantamento dos tipos rochosos presente no ambiente da Serra da Canastra é inerente a sua morfologia, portanto, o estudo da morfologia, morfogênese e a morfometria do canal do rio São Francisco torna esta pesquisa quali-quantitativa, usufruindo de técnicas e equipamentos que permitem a extração de dados de sensoriamento remoto resultando em um compilado de informações e mapeamentos geomorfológicos.

Um rio além de servir como base para a vida, ele tem finalidade de dá limite fronteiro entre territórios (municípios, estados e países), contando também com sua importância na exploração do turismo, dentre outras finalidades. Em visto disso, são muitos os motivos que ressaltam a importância para a realização desta pesquisa no PARNA Canastra, local que abriga uma grande variedade de animais silvestres, incluindo espécies ameaçadas de extinção, expondo também a importância do pioneirismo de destrinchar o relevo de Minas Gerais que é pouco estudada de forma minuciosa. Dessa forma, fica esclarecido que a relevante intenção do presente trabalho é contribuir na interpretação ambiental e proteger esse patrimônio natural.

2.1 Problemática de pesquisa

Partindo do pressuposto da dinâmica de um relevo dissecado, cuja causa principal são as redes de drenagens, pretende-se entender de qual maneira a morfoscopia sedimentar pode indicar os estágios de evolução e modificação do relevo presente no Parque Nacional da Serra da Canastra e como que as vias de acesso ao parque podem acarretar desvio de sedimentos erodidos por ação antrópica para o canal do Rio São Francisco podendo causar assoreamento dele?

3. OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é criar o Índice de morfoscopia sedimentar, cuja técnica provém da análise de morfoscópica que mostra as características dos sedimentos do canal do rio São Francisco e correlacioná-las com parâmetros da paisagem em função dos processos erosivos e distância, doravante sua nascente localizada no alto do rio até sua confluência com o rio Samburá. A proposta de um Índice Morfoscópico a ser usado em sedimentos fluviais será empregado com base no uso da interpolação pelo método de Krigagem, utilizando do tratamento de dados do tipo MDT-HC (Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistido) e a partir deste, gerar o Índice de Hack no software QGIS para posteriormente coletar amostras de sedimentos dentro do canal do rio São Francisco, com percurso de 92 km dentro de um perímetro com aproximadamente 210 km e sucessivamente construir o Índice Morfoscópico sedimentar, foco principal deste trabalho.

3.2 Objetivos Específicos

- 1 – Aplicar índices morfométricos (Rugosidade, Declividade, sombreamento, Hipsométricos) para compreensão do relevo da área estudada;
- 2 – Avaliar parâmetros morfoscópicos dos sedimentos do canal do Rio São Francisco;
- 3 - Propor a definição de um Índice Morfoscópico de sedimentos fluviais e aplicá-lo na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco dentro da área de estudo.
- 4 - Identificar e avaliar se os parâmetros geomorfométricos do canal do rio São Francisco ao longo da área de estudo possuem relação com os parâmetros morfoscópicos dos sedimentos ali encontrados.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Bacia Hidrográfica

As bacias hidrográficas são de extrema importância para os estudos geomorfológicos, pois é a partir de sua configuração que se pode armazenar as águas das chuvas, constituindo-se uma superfície de coleta e de transporte das cargas do leito dos canais para lagos e/ou oceanos. Respeitando todos os pontos envolvidos como dinâmicas: física, social e econômica (IBGE, 2009).

Bastos, Maia e Cordeiro (2019), descrevem a bacia hidrográfica como uma área de captação natural da chuva, convergindo o escoamento para o exutório, delimitada pelos interflúvios, de modo que, limitam a topografia da zona de abastecimento feita pelas precipitações. Os autores citam elementos importantes que fazem parte de uma bacia hidrográfica como as nascentes, rio principal, afluentes, subafluentes, cursos superior, médio e inferior, foz, dentre outros.

Toda a bacia hidrográfica é responsável pelo fornecimento detrítico aos cursos de água que em conjunto, torna-se o fenômeno natural de maior ocorrência na esculturação da rede de canais e das paisagens encontradas na superfície terrestre, (Christofolletti, 1981).

Barrella et al. (2000), caracterizam uma bacia hidrográfica como um conjunto de terras drenadas por um rio e por seus afluentes, através das precipitações essas águas podem tanto escoar superficialmente e assim formar os rios e riachos, quanto infiltrar no solo e formar as nascentes e lençóis freáticos.

Para os autores, Teodoro et al. (2007), A caracterização baseada na morfometria de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos essenciais em análise hidrológicas ou ambientais, tendo como objetivo elucidar as variáveis que estão relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional.

No trabalho de Teodoro et al. (2007), conceitua as sub bacias como áreas de drenagem dos tributários do curso d'água principal. Para as microbacias há uma série de conceitos, podendo ser caracterizada como unidades de medida, hidrológicas e ecológicas.

No Decreto nº 94.076 de 5 de março de 1987, criou o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH) e lá fica definido que microbacias como uma área drenada por um curso d'água e seu afluentes, a montante de uma determinada seção

transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada é uma área de mínima unidade espacial, cuja definição ocorre pelos canais fluviais de primeira ordem, conforme Florenzano (2008).

Ab'Saber (2003), cita que o domínio dos cerrados possui drenagens perenes para os cursos d'água principais e secundários, envolvendo desaparecimento de canais temporário quando são de menor ordem de grandeza causado pelos períodos de secas.

4.2 Canais fluviais

A princípio de tudo, é válido frisar a importância das nascentes, pois são a partir delas que os rios nascem, segundo Silva (2019), a nascente está intrinsecamente ligada a um lençol subterrâneo, pois é manifestação dele quando em superfície. Elas representam a transição da água subterrânea e a superficial, demarcando a importância hidrogeomorfológica.

Os rios são canais de escoamento concentrado da água que permitem suas transferências por gravidade, tanto gravitacional que é a força atrativa entre duas massas, quanto de fricção que corresponde ao atrito de dois corpos que se esfregam, processo que ocorre nas regiões de áreas mais altas para as mais baixas, (Florenzano, 2008).

No século XVIII que surgem ideias sobre esculturação do relevo a partir da ação dos rios e no Século XIX iniciam-se a sistematização da ciência geomorfológica, fundamentada no conceito de ciclo de erosão criado por William Morris Davis em 1899, (Fontes, 2010). Ao canal fluvial dá-se o nome de vazão, cujo volume depende do regime hidrológico da bacia hidrográfica onde canais estão inseridos, (Fontes, 2010).

Segundo a autora Florenzano (2008), a hierarquia fluvial, correspondem à uma classificação dos cursos d'água de uma bacia de primeira ordem, proposto inicialmente por Horton em 1945 e posteriormente modificado por Strahler em 1952. As microbacias seriam todas as bacias de primeira ordem e que representam as nascentes responsáveis pela perenidade do fluxo e base da bacia e, portanto, objeto de proteção.

Em relação ao regime, os rios podem ser do tipo que são drenados o ano inteiro (perene), drenar apenas nos períodos chuvosos (intermitente) e efêmero que são aqueles que drenam apenas no momento da chuva, (Bastos, Maia e Cordeiro, 2019).

Os autores Barrella et al. (2000), definem que os sistemas dos rios não são isolados e que na verdade são sistemas abertos que participam dos processos ecológicos que ocorrem nas bacias hidrográficas: longitudinal (cabeceiras e foz); lateral (calha do rio,

margem, planície aluvial); vertical (superfície e fundo); e temporal. À medida que o rio avança rio a jusante percorrendo por terrenos menos inclinados, ele vai perdendo velocidade, tornando -se mais sinuoso, profundo e volumoso. Sendo que qualquer alteração neste modelo, ocorre em função de uma alteração em suas variáveis, sejam litológicas, topológicas ou estruturais, criando o que se chama de uma anomalia de drenagem (Hack, 1973). Ao mesmo sentido, ocorre um aumento da quantidade de partículas carregadas para seu interior, tornando as águas mais turvas. Quando ocorre a diminuição da correnteza e o aumento da quantidade de partículas em suspensão permite maior sedimentação sobre o fundo, (Barrella et al., 2000)

A rede de drenagem pode ser influenciada por fatores climáticos e geológicos originando diferentes padrões tanto na drenagem quanto em sua forma e em sua densidade, (Bastos, Maia e Cordeiro (2019).

O índice de Hack (1973), é a relação da declividade (altimetria entre a cota superior e inferior do canal) versus a extensão total de um canal, de forma longitudinal proporcionando a comparação entre os canais de ordem e portes diferentes. Portanto, Hack formula seus cálculos a partir da:

$$SL_{total} = \Delta h / \ln L \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

SL_{total} = É a extensão total de um rio;

Δh é a diferença altimétrica;

$\ln L$ é o logaritmo da extensão total do curso d'água.

A partir dessa fórmula mencionada anteriormente pode-se considerar o perfil longitudinal do curso d'água e, portanto, um novo cálculo para detecção de anomalias dentro do canal utilizando esse modelo matemático que pode ser expresso como:

$$SL_{trecho} = \Delta h / \Delta l * L \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

SL_{trecho} é a extensão total de um rio;

Δh é a diferença altimétrica;

Δl é a projeção horizontal da extensão;

O intuito de Hack (1973), é chegar na compreensão de trecho anômalos, se obtiverem valores maiores que 2. Categorizando tais anomalias em duas ordens: anomalia de 1ª ordem são os que dão valores iguais ou maiores que 10 e as anomalias de 2º grau são os índices que têm limiares entre 2 e 10. Tais valores que resultaram demonstram as mudanças na litologia, quebras abruptas de declives como por exemplo as cachoeiras.

Hack (1957), em seus estudos de perfil longitudinal e o tamanho das partículas sedimentares em províncias e planícies costeiras com diferentes tipos geológicos relata que para uma dada área de drenagem a inclinação do canal é diretamente proporcional a uma função de potência do tamanho dos fragmentos de rocha no leito, e para um dado tamanho de material do leito a inclinação do canal é inversamente proporcional a uma função de potência da área de drenagem. Isto é, a inclinação de um curso d'água está ligado a quantidade de energia de um fragmento rochoso em seu leito, e para o material que existe no curso d'água a inclinação é inversa.

O perfil longitudinal de um canal expõe a relação entre a altimetria e o seu comprimento dos pontos desde a nascente até a foz. Este perfil é tipicamente côncavo, considerando seus processos de erosão, transporte e deposição, (Florenzano, 2008).

Para os autores Monteiro e Souza (2016), o perfil longitudinal serve em suma importância para investigar comportamentos do rio de sua nascente até sua foz e compreender as possíveis anomalias que são instaladas no canal fluvial, apresentando a morfologia com decaimento de altimetria sob forma exponencial, com declividade maiores a montante e gradativamente menores à jusante.

Considerando a definição dos autores Bastos, Maia e Cordeiro (2019), um sistema fluvial que porta vários tamanhos e diversos cursos d'águas, os quais, divergem para um único canal principal e se conectam, isso resulta na formação de uma rede de drenagem que pode ser um modelador da superfície terrestre, onde, através de um sistema complexo de rede de drenagem, pode dissecar o relevo e gerar novas superfícies de aplainamento, erodindo e transportando sedimentos.

Continuando na lógica de definições dos sistemas fluviais por Bastos, Maia e Cordeiro (2019), esses sistemas possuem várias interferências por fatores como o volume de água, os tipos de sedimentos, variáveis relativas às suas geometrias, gradiente topográfico, e ao tipo de uso e cobertura da terra que resultam na dinâmica dos processos de erosão, deposição e transporte afetando toda a região onde a bacia hidrográfica se desenvolve.

O autor Silva (2019), retrata a Serra da canastra como uma divisor de águas, essa região contém quatro diferentes bacias hidrológicas: a do rio São Francisco; a do rio Grande; do rio Paranaíba e a bacia do rio Santo Antonio, canais que dão origem a rios que drenam em direção a três biomas, o cerrado, caatinga e mata atlântica. Configurada por rede de drenagens de grande densidades e canais de pequena extensão que são condicionados pela estrutura geológica, fortemente afetadas por lineamentos estruturais, (Souza e Rodrigues, 2014; Nazar e Rodrigues, 2022).

4.3 Transporte de sedimentos

A análise sedimentológica que é realizada nesta pesquisa, perpassa pelo transporte de sedimentos de carga de fundo, esse processo físico compreende-se que é o material detrítico maior que o da carga suspensa e diferente da carga solúvel, esse material é transportado no fundo do canal em uma velocidade inferior á do fluxo de água e por meio de movimentos intermitente e breves, são transportadas por rolamento, arraste ou saltação, sendo que, não conseguem se manter em suspensão, de acordo com (Stevaux e Latrubesse, 2017).

O transporte de sedimentos nos canais fluviais é explicado pela relação entre a capacidade do escoamento de carregamento e a força que se faz necessária para deslocar as partículas sólidas, onde os escoamentos turbulentos têm alta capacidade de carregamento de sedimentos, e a partir do momento em que a velocidade diminui, o transporte seleciona entre sedimentos finos e grossos, portanto esse processo de carregamento dependem da granulometria do material, conforme os autores, (Stevaux e Latrubesse, 2017).

Para Montanher e Morais (2021), a declividade de canais fluviais é um fator a ser considerado devido sua importância na compreensão da morfologia, estrutura, dinâmica e evolução da paisagem fluvial, e por isso, sendo uma chave para a interpretação dos processos e formas de um sistema fluvial. O autor explica que os canais fluviais possuem algumas variações geométricas tridimensionais que se caracterizam por seus limites planimétricos, onde, a declividade é a taxa de variação de altitude entre dois pontos e que podem ser medidas ao longo do eixo de um perfil longitudinal.

As equações que serão mostradas logo a frente são provindas e melhoradas por Hack (1957), geólogo e geomorfólogo americano, em seus estudos para estabelecer o conceito de equilíbrio dinâmico em paisagens. Ele aplicou equações logarítmica em 100

locais para compreender o processo de desgastes dos materiais geológicos a partir de um canal fluvial em um perfil de jusante para montante.

Segundo a autora Florenzano (2008), o rio é o agente modelador do relevo, ele tem poder de erodir seus canais verticalmente, aprofundando o talvegue ou lateralmente alagando o canal, como foi mencionado anteriormente, esta pesquisa se propõe a partir da análise de erosão dos sedimentos, onde, a potência do agente modelador pode ser definida como sua capacidade de realizar erosão por transporte de sedimentos, o qual, essa tal potência *Stream Power* (modelo matemático de corte de um *rio stream-power* (SPM) que é utilizado para compreensão da evolução morfológica de rios ao longo de escalas de tempo geológico. Segundo o autor esse modelo matemático pode ser expresso como:

$$\Omega = \rho g Q s \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

Ω - potência do rio por unidade de comprimento do canal;

P - Densidade da água;

g - aceleração da gravidade;

Q - Descarga;

S – Declividade do canal.

Florenzano (2008) conclui que a potência de um rio aumenta com a vazão (descarga), a declividade do canal e a densidade da água. E toda carga do rio que é o produto do desgaste erosivo, pode ser classificado genericamente em 3 categorias dissolvido, em suspensão e do leito. Nesse trabalho serão trabalhados os materiais considerados de leito, os quais, são materiais transportados por rolamento ou saltação no fundo do canal ou por saltos, isto é, sedimentos do tipo cascalhos e areias grossas.

A dinâmica do escoamento fluvial conta com a influência da força do fluido sobre as partículas, assim conta Christofolletti, que, a força necessária para carregar uma partícula é chamada de força de cisalhamento e a velocidade na qual essa força atua sobre determinada declividade corresponde à velocidade de erosão. Portanto, a força do cisalhamento é fundamental para dar movimento de partículas pequenas, enquanto, a velocidade do fluxo é importante para o carregamento de sedimentos maiores, (Christofolletti, 1981).

A erosão fluvial é realizada através dos processos de corrosão, corrasão e cavitação, (Bastos, Maia e Cordeiro, 2019), sendo que o processo de corrasão é o tema abordado nesta pesquisa correspondendo à um processo físico. A corrasão é um processo que desgasta por atrito mecânico entre as partículas transportadas pela água, (Bastos, Maia e Cordeiro, 2019).

Florenzano (2008), exemplifica em equação que a energia cinética da correnteza dá capacidade ao rio de erodir e transportar o material de montante para jusante, que pode ser expressa por:

$$E_k = (mCRs)/2 \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que:

E_k – Energia cinética;

m – Massa d'água;

C – Forças gravitacionais e friccionais;

R – Raio hidráulico, representa a profundidade do canal;

s – Gradiente da superfície da água.

Esta equação elucida a energia cinética da corrente que é diretamente proporcional ao produto do raio hidráulico R pelo gradiente da superfície da água, significando que quanto mais profundo e rápido seja um rio, maior seu poder de erosão.

Continuando com o pensamento de Florenzano (2008), toda a capacidade que um rio tem de transportar sedimentos depende da corrente e da granulometria da carga erodida e é por isso que para os sedimentos que foram coletados no rio São Francisco para a realização deste presente trabalho, teve que ser levado para análise laboratorial realizando a granulometria por peneiramento.

Araújo (2017), em sua pesquisa sobre Evolução dos Canais Fluviais: Morfometria e Sedimentologia na Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, Serra da Canastra – MG, utilizando o índice de Hack, reafirmando a existência da relação entre os índices morfométricos e a resposta do canal em relação às mudanças litológicas e estruturais. A autora relata também que foi observado o forte controle da área estruturalmente da Faixa Brasília impondo o comportamento dos canais principalmente em rupturas de mudanças de direcionamento dos mesmos e neste sentido ela percebeu a resposta dos canais nos

índices de simetria e assimetria dos canais e nas áreas de mudanças entre os trechos em equilíbrio e setores anômalos.

É possível perceber a susceptibilidade de assoreamento de um canal através da potência de transferencia de sedimentos do canal fluvial como é exposto por (Zancopé, Gonçalves e Bayer, 2015), eles relatam que no trecho do médio curso do rio Araguaia entre as cidades de Goianas de Aragarças e Luiz Alves, teve um aumento de 31% da carga de fundo no período de 1995 a 1998 e esta carga passou para 6,6 milhões de toneladas de sedimentos em 1965 e em 1998 aumentou para 8,8 milhões. O aumento da carga de leito acontece possivelmente pelo desmatamento do Cerrado e, às práticas agrícolas não conservacionistas, pois esses fatores intensificam os processos erosivos nas vertentes e depositando uma grande quantidade de detritos nos afluentes do alto curso e transportados para o médio curso.

Bayer e Zancopé (2014), em seus estudos em ambientes sedimentares da planície aluvial do rio Araguaia classificaram os materiais analisados em grupos, determinados pelas propriedades físicas e pelo arranjo espacial, onde, a fácies sedimentar é constituída por unidades básicas de análise e definida por sedimentos uniformes que refletem a condição similar de deposição ou o conjunto de características específicas de uma rocha sedimentar ou de um sedimento que relatam os processos de transporte, deposição de determinado ambiente ou bacia que ligam os estudos de um sistema deposicional.

Os estudos de sedimentos aluviais do rio Araguaia realizado por (Bayer e Zancopé, 2014), demonstraram que o canal está sob fase ativa de sedimentação, armazena materiais arenosos. A dinâmica dos sedimentos afeta a morfologia do canal, tendendo a redução da sinuosidade, assoreamento dos canais secundários e de aumento da presença de barras centrais e ilhas menores, transição de padrão de multicanais para entrelaçados.

4.4 Morfoscopia sedimentar fluvial

Segundo os autores Bastos, Maia e Cordeiro (2019), a deposição de carga detrítica feita pelos rios acontece quando ele perde a sua capacidade energética, que também pode ser causada pela redução do declive. As principais se destacam os deltas e as planícies aluviais.

Há algumas argumentações plausíveis sobre a importância das análises granulométricas técnica que disponibiliza informações pertinentes para uma descrição precisa do sedimento; a distribuição granulométrica pode ser atributo de um sedimento o qual foi depositado em um local estabelecido; há possibilidade de reconhecimento dos

processos erosivos atuante durante a sedimentação e obtenção de parâmetros como permeabilidade e modificações dos sedimentos (Suguio, 1980).

A morfoscopia sedimentar é uma técnica que estuda as formas de esfericidade e arredondamento de uma determinada partícula sedimentar. Por consequência, esta técnica torna-se um atributo auxiliar, muito utilizado para esclarecer dúvidas pertinentes sobre os processos erosivos atuante durante o processo de erosão. As particularidades de um ambiente, determinam aspectos gerais dos sedimentos acumulados em uma unidade geomórfica. Dessa forma, tais aspectos gerais sugerem obtenção genética, relacionando o sedimento ao ambiente de origem (Mendes, 1984).

As formas de uma rocha sedimentar estão relacionadas a feições bem maiores e se pode fazer uma melhor análise em afloramentos que em laboratórios (Suguio, 1980). O modo de transporte produz como resultado, depósitos distintos, portanto em vários parâmetros o transporte afeta a sedimentação. A vista disso, os sedimentos bem selecionados foram sujeitados à ação prolongada da água, os sedimentos mal selecionados sofreram pouco transporte, isto é, estavam próximos de sua fonte de origem (Suguio, 1980).

Tudo indica que o termo arredondamento foi criado por Wentworth (1919), pois ele calculou a forma do raio de curvatura de aresta mais aguda e o diâmetro da partícula, remetendo à forma das curvaturas de um grão (Suguio, 1980).

Esse processo de transporte dos grãos modelam os sedimentos gerando algumas alterações físicas que permitem sua classificação em arredondamento (do mais angular para o mais arredondado). Segundo Russel e Tayllor (1937a, b) apud Suguio (1980) há cinco classificações que determinam o arredondamento de uma partícula sedimentar: Muito angular, angular, sub angular, sub arredondada, arredondada e bem arredondada, (Suguio, 1980).

A parte classificatória de esfericidade (o quão circular é uma partícula) que vai aumentando através da ação contínua do transporte, é analisada a partir de três classes: alta esfericidade, média esfericidade e baixa esfericidade (Powers, 1953). O grau de “redondeza” de um sedimento corresponde a uma propriedade física, portanto, deve ser descrita. Para medir a circularidade de uma partícula depende das análises das bordas e dos cantos independentemente da forma (Powers, 1953). Os autores sobrepuseram partículas em cinco classes comparando com fotografias, método criado por Wadel (Powers, 1953 apud Russel e Taylor, 1937).

Os limites das partículas sedimentares não foram classificados de forma meticulosa. As médias aritméticas dos intervalos foram usadas como ponto mediano, não fornecendo subdivisões menores que são importantes nos valores mais baixos. Portanto a diferença de esfericidade é visível quando os valores de redondeza de um grão são mais baixos, (Powers, 1953).

A comparação dos ângulos a partir das características de uma partícula tridimensional é de fácil observação sob microscópio, com foco através da espessura do sedimento (Powers, 1953). Para determinar o grau de redondeza de uma partícula e classificá-la é necessário comparar o grão com as classes da fotografia, este método é comumente usados em trabalhos laboratoriais, isto posto, considera-se tão preciso quanto outros métodos (Powers, 1953). Nesse caso, foi utilizado como guia a ilustração abaixo (Figura 1) para classificar os sedimentos colhidos nos canais da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco.

Figura 1 - Escala de arredondamento e esfericidade de um sedimento, método utilizado por Powers



Fonte: Powers (1953).

Para Christofolletti (1981), o material mais grosseiro é a areia, que pode facilmente ser posta em suspensão. As praias arenosas possuem uma importância econômica muito grande, tais como o turismo e o lazer da população, como também sua alta dinâmica sedimentar e morfológica, que é responsável pelo amortecimento desse que protege a região costeira. (QUIMANO et al., 2013, v. 23, p. 13)

4.5 Modelagem de dados fluviais

Chorley e Haggett (1974), explicam que um modelo não é meramente só uma função organizacional a respeito dos dados, mas também permite a extração da quantidade máxima de informações dos dados.

Um modelo pode ser uma teoria, uma lei, uma hipótese ou uma ideia estruturada, pode ser também uma função, uma relação ou uma equação e pode ser uma síntese de dados, mas o mais importante do ponto de vista geográfico, a inclusão de argumentos sobre o mundo real por meio das translações no espaço (modelos espaciais) ou no tempo (modelos históricos), afirma os autores Chorley e Haggett (1974). Eles alegam que um modelo é uma estruturação simplificada da realidade que apresenta supostamente características ou relações sobre forma generalizada, os autores falam que os modelados são aproximações altamente subjetivas no sentido de não incluírem todas as observações e medições associadas, ocultam detalhes secundários. Significando que os modelos têm graus variáveis de probabilidade e um alcance limitado de condições sobre as quais se aplicam.

Para Chorley e Haggett (1974), os modelados são distintos da realidade no que tange a aproximação dela, e que um modelo tem de ser simples para a manipulação e compreensão dos usuários, representativo no alcance total das implicações que possa ter, apesar da complexidade de representar o sistema em estudo com precisão.

Todavia, todos os modelos têm necessidade de aperfeiçoamento constante e enquanto forem surgindo novas informações ou perspectivas da realidade comparado ao que foi estruturalmente condizente, provavelmente estes aperfeiçoamentos devam implicar na construção de mais um novo modelo, (Chorley e Haggett, 1974).

Cristofolletti (1999) em seu livro sobre Modelagem de sistemas ambientais expõe que a análise morfológica é constituída por um conjunto de procedimentos que caracterizam os aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais, onde, esses sistemas ambientais procuram estabelecer indicadores relacionados com a forma, arranjo estrutural e composição que integram seus elementos. Podendo estabelecer

valores para as variáveis descritivas dos elementos de um determinado sistema, também há predominância no uso dos modelos conceituais e numéricos. O autor diz que esses modelos de sistemas são expressos geralmente sob a forma de diagramas ou por expressões matemáticas.

Continuando com o pensamento de Cristofolleti (1999), para a identificação de um sistema, consiste em uma proposta de definição do mesmo e de forma precisa. Permitindo assim, operações em que estabeleça critérios para se distinguir o que é e o que pertence ao sistema apropriando-se de fontes como documentos cartográficos, aerofotografias, sensoriamento remoto e trabalhos de campo. Portanto, a identificação e a qualificação dos sistemas são etapas que precedem a quantificação. E a mensuração só pode ser aplicada depois que os elementos e as relações do sistema tenham sido claramente definidos.

Segundo Cristofolleti (1999), ao utilizar bacia hidrográfica como exemplo em suas explicações de definições de um sistema, ele acredita que é válido a observação de que a bacia hidrográfica é composta por vertentes e redes de canais fluviais, e com base nas definições do que é uma bacia hidrográfica e o que é um canal fluvial, deve-se estabelecer as delimitações dos elementos em suas distribuições espaciais, e no interior do sistema especificado. A outra etapa de qualificação é estabelecendo as variáveis relevantes a cada um dos elementos com intuito de realizar mensurações e obtenções de dados contando também com a parte que distingue cada uma delas. Por exemplo, um canal fluvial é um canal por onde se processa o escoamento das águas que é diferente de escoamento fluvial de escoamento superficial.

Os procedimentos de análises dos dados são feitos pela estatística, pois a mensuração realizada sobre as variáveis descritivas dos elementos fornece muitas informações que necessitam de serem analisadas para se compreender as questões relacionadas com a correlação, comportamentos lineares, causalidade e dependência entre elas, explica (Cristofolleti, 1999).

Os exemplos de modelos para a análise morfológica de sistemas apresentam gradação de cores em suas configurações e diversidade em seus objetivos, relata Cristofolleti (1999), pois a sintonia encontra-se vinculada aos objetivos estabelecidos na pesquisa.

Para Cristofolleti (1999), a construção de modelos está presente no desenvolvimento geomorfológico desde os seus primórdios, o autor utiliza como exemplo disso, os blocos de diagramas feito por Martonne (1951) que ilustra a formações de vales

anticlinais de relevo jurassiano. E que há uma vasta gama de categorias de modelados para análise das formas de relevo.

As características morfológicas de um sistema são as respostas às atividades dos processos e à dinâmica do sistema maior no qual se encontra inserido, relata, Cristofolleti (1999), onde, a morfologia e as características da geometria de um canal fluvial estão inter-relacionadas, mas também dependem de diversos fatores controlantes como o clima, litologia, solos, topografia, uso da terra e vegetação.

Os modelados que visam a funcionalidade dos sistemas, buscam por enfatizar os fluxos de matéria e energia, as características dos processos atuantes e os mecanismos de retroalimentação, como também a interação entre a morfologia e a dinâmica dos sistemas a fim de salientar o entrosamento entre formas e processos, conforme as orientações de (Cristofolleti, 1999).

Os modelos que descrevem os processos erosivos são a partir da análise da erosão dos solos com base na ação dos processos hidrológicos apresentam uma ampla variedade de opções, pois há uma diversidade de modelados sobre bacias hidrográficas que simulam a hidrologia e os processos erosivos, tais como: Creams, Answers, AGNPS, kinos, Eurosem, Wepp e Lisem, exemplifica o autor (Cristofolleti, 1999).

Os fluxos de sedimentos constituem aspectos expressando a funcionalidade hidrológica e o comportamento do processo erosivo nas bacias hidrográficas. Processos mecânicos de erosão, transporte e sedimentação encontram-se explicitamente modelizados desde os estudos realizados por Surrell (1841), sobre as torrentes alpinas, identificando o predomínio da erosão no alto curso, o transporte no médio curso e a deposição no baixo curso. Outro exemplo é o modelo de Hjulstrom (1953), que mostram as curvas que considera os processos de erosão, transporte e deposição em função das relações entre velocidade do fluxo e granulometria dos sedimentos, conforme relata o autor (Cristofolleti, 1999).

As atividades antrópicas estão interferindo sobre as características do ciclo hidrológico em muitos locais e bacias de drenagem, esses impactos são de diferentes categorias, ocasionadas por ações deliberadas ou inadvertidas, afetando a quantidade e a qualidade das águas e biotas aquáticas. Represas para proteção contra cheias, produção de energia elétrica e navegação causam mudanças na distribuição espacial e temporal dos fluxos fluviais, repercutindo na evaporação e na infiltração de áreas próximas ao leito dos rios e na biota circunvizinha e também os impactos sobre o aumento ou diminuição na

infiltração fluvial para os aquíferos subterrâneos são de alta relevância, relata (Cristofolleti, 1999).

Cristofolleti (1999), relata que apesar das muitas incertezas que envolvem no estabelecimento das relações básicas na modelagem em geomorfologia, os modelos matemáticos são instrumentos efetivos em propiciar estimativas quantificadas.

Ao iniciar uma pesquisa é necessário conter um leque de leituras que abordam temas correlativos, trabalhos pré-existent, fazer revisão cartográfica e metodológica, montagem do banco de dados, escolher o Software para produção de mapas, fazer vistoria, coletar as amostras e trabalhá-las em laboratório serão os passos dados para dar vida a esta pesquisa como para qualquer outra. O esquema logo a seguir norteará o processo de aquisição dos materiais para a base de dados em ambiente SIG para assim chegar a uma conclusão sobre Geomorfologia presente na área estudada.

Os autores (Moraes, et al 2022) utilizam análise de dados para quantificar o uso da Álgebra de mapas para o mapeamento geomorfológico durante os últimos 11 anos na RGB (Revista Brasileira de Geomorfologia). O artigo relata que a área mais produtiva são as de vertentes em evolução regional do relevo, em seguida para Geomorfologia Aplicada e com destaque para as áreas de Geomorfologia Fluvial, Costeira e Submarinas, em compensação a Geomorfologia de ambientes cársticos não aparece nos gráficos. Fortalecendo a relação da importância do Geoprocessamento para a geomorfologia, conseguindo responder algumas questões da geomorfologia.

Blaschke (2009), expõe alguns motivos positivos para a utilização do SIG em planejamentos mais complexos como ferramenta primordial na análise da paisagem: detecção; avaliação; planejamento da paisagem; descrição e análise da estrutura; análise de uso do solo; modelagem da paisagem.

Os procedimentos para a elaboração dos modelos digitais do terreno (MDT) constituem categoria que rapidamente se difundiu no campo da modelagem, esses modelos representam as nuances configurativas do modelado topográfico na perspectiva tridimensional, em função de um conjunto de coordenadas de pontos distribuídos no terreno. Quando a característica modelada por meio do MDT refere-se às nuances da topografia, utilizando os valores altimétricos, designa-se como modelos digitais de elevação (MDE), conforme diz o autor (Cristofolleti, 1999).

Para Souza e Rodrigues (2014), é necessário utilizar informações precisas do terreno a partir dos estudos de relevo e para este sentido há técnicas com maior exatidão

com o real, o mapeamento morfométrico possibilita, assim como SIG, Sensoriamento Remoto e MDE (Modelo Digital de Elevação).

Segundo Yamamoto (2002), Krigagem é o nome padrão dado ao conjunto de técnicas de regressão linear generalizada para minimizar uma variância de estimativa definida a partir de um modelo de covariância anterior, a Krigagem com média estimada recebe o nome de Krigagem ordinária.

William (2024), explica que a análise de variabilidade espacial de dados é uma técnica para solucionar problemas de várias áreas do conhecimento e que ela é indispensável na área de ciências agrária por adoção da agricultura de precisão e digital, pois utiliza programas de interpolação de dados e geração de zonas de manejo em computador de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

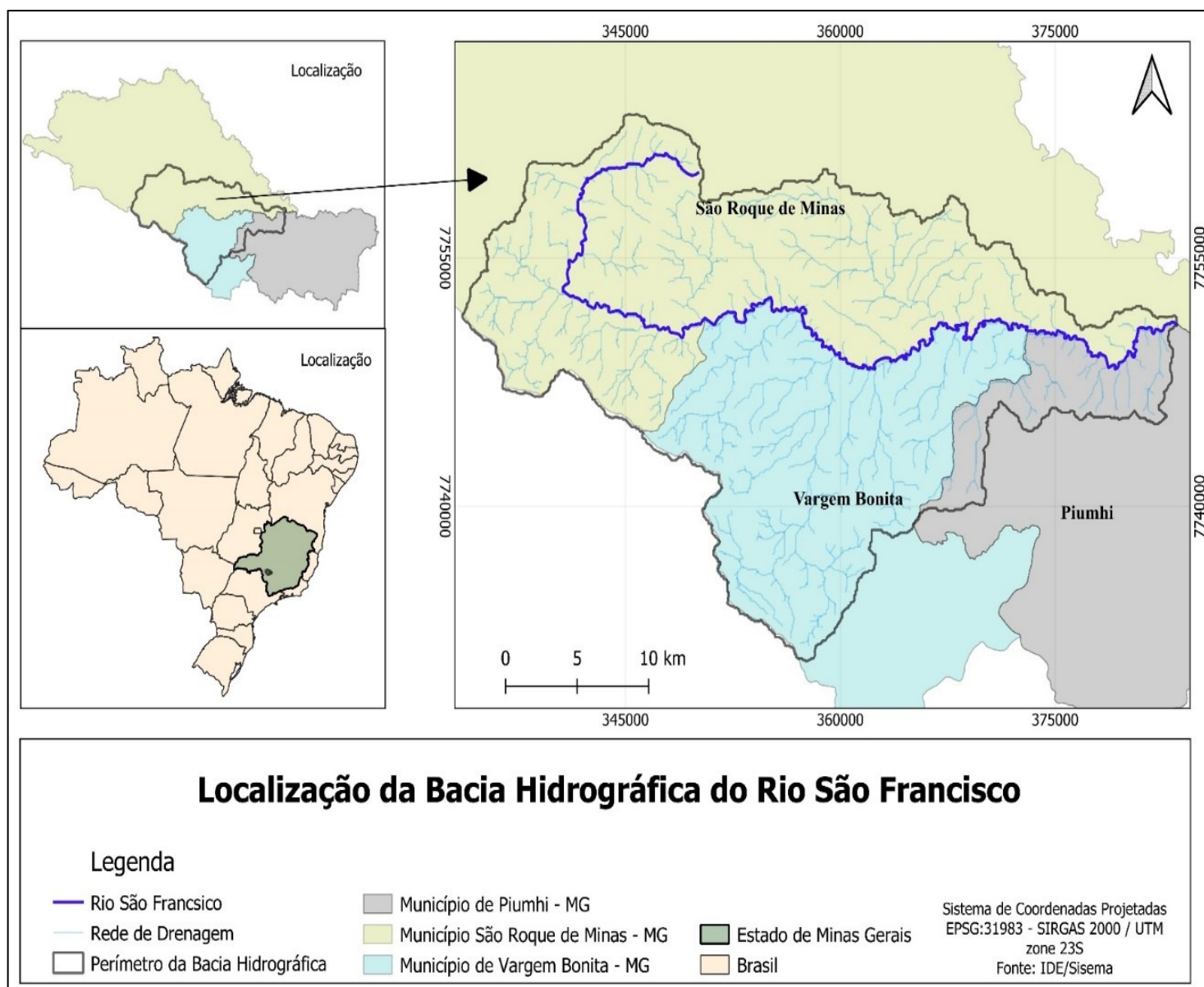
O programa utilizado para análise de dados a partir da modelagem linear desta pesquisa foi o Smart-Map, um plugin desenvolvido para programa de computador Qgis, ferramenta gratuita de código aberto e muito intuitiva que interpola dados com base na Krigagem ordinária (técnica estatística) de aprendizado de máquinas e identificação de zonas de manejo por técnica de análise de agrupamento usando algoritmo Fuzzy K-means (cria aglomerados homogêneos de objetos descrito por um conjunto de variáveis quantitativas, sejam elas próximas ou sobrepostas), conforme diz o autor (William, 2024).

O Plugin Smart-Map que interpola dados utilizando o método de Krigagem ordinária para gerar zonas de gerenciamento, permite importar dados de uma camada Qgis gerando semivariogramas experimental e semivariogramas teóricos dos tipos linear, esférico, exponencial e Gaussiano, Segundo (Pererira et al, 2024).

5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, desde sua nascente histórica, localizada no Chapadão do Diamante do Município de São Roque de Minas, percorrendo os Municípios de Vargem Bonita, e Piumhi, tendo seu final em sua confluência com o Rio Samburá. A área de estudo abrange uma área total de 802 km², (Figura 2). O Parque Nacional da Serra da Canastra se enquadra na categoria de proteção integral e seu perímetro corresponde a 799.173 km.

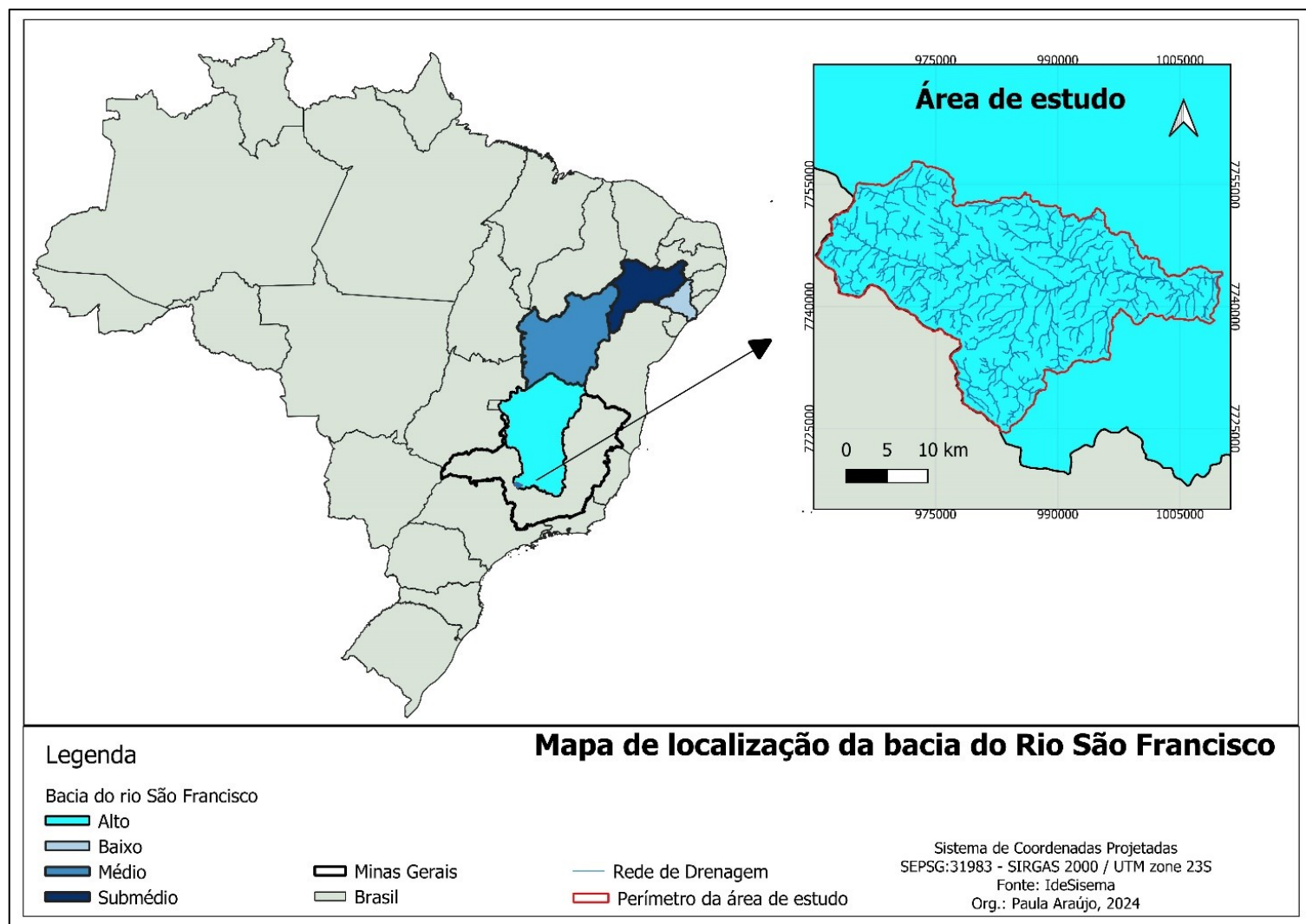
Figura 2: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.



Fonte: Autora, Araújo, P. M. S., 2023.

Para uma melhor perspectiva, fica representado no mapa logo a seguir a bacia hidrográfica do rio São Francisco de forma integral, entretanto, a seta de indicação da área de estudo corresponde à bacia hidrográfica estudada que contém cerca de 802 km², ou seja, a área de estudo corresponde a uma parcela micro do total da bacia do Rio São Francisco e está localizada no alto São Francisco, conforme mostra na figura 3.

Figura 3: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco de modo geral e suas mesorregiões.



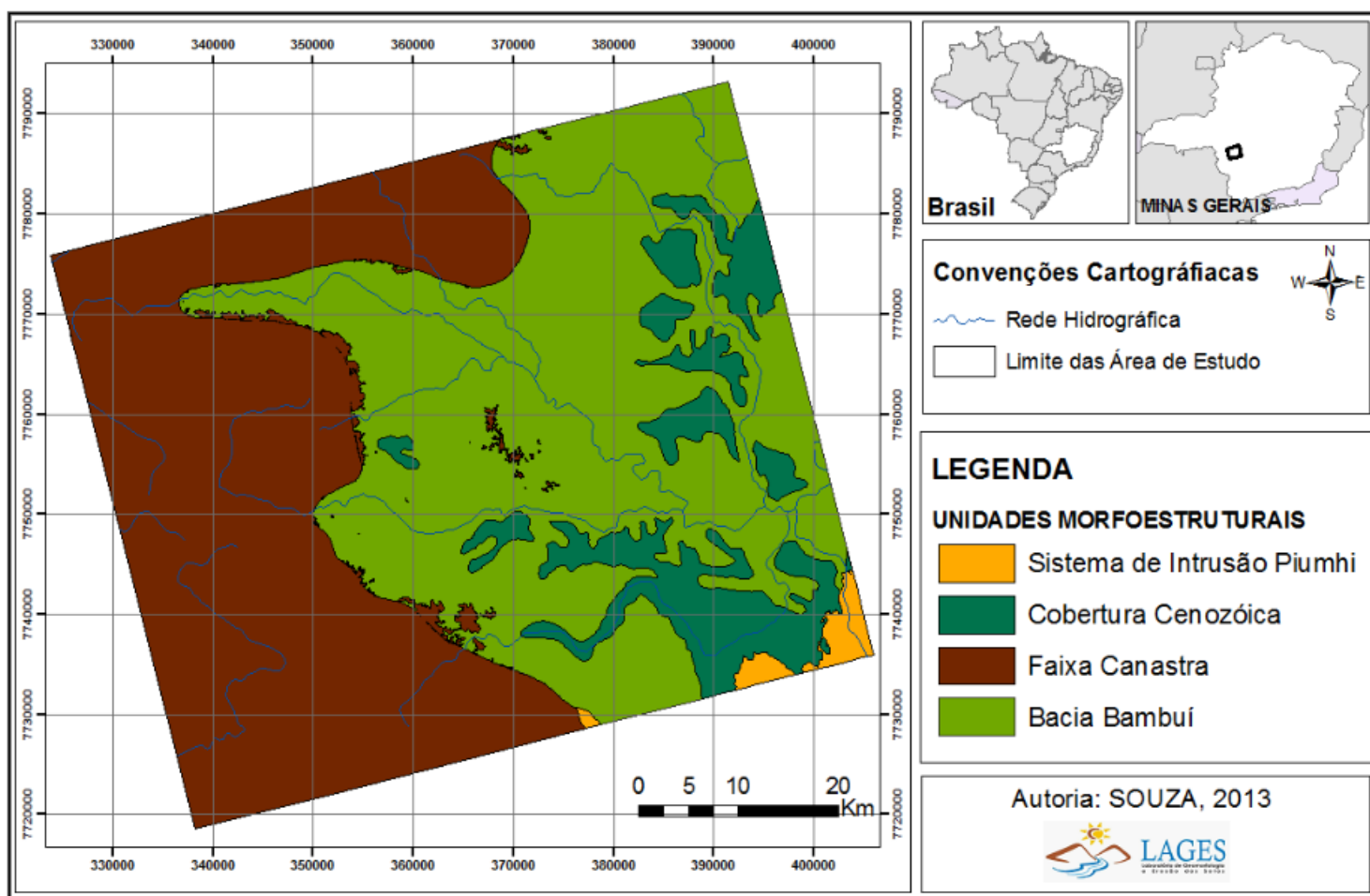
Fonte: Autora, Araújo, P. M. S., 2024.

5.1 Relevo regional

A região está localizada sobre duas estruturas geológicas o Cráton do São Francisco e a Faixa Brasília segundo os autores Souza e Rodrigues (2014). A partir do cruzamento dos dados geoestruturais e topográficos os autores constataram que a Serra da Canastra contém quatro unidades Morfoestruturais: Faixa Canastra; Sistema de Intrusão Piumhi; Cobertura Cenozoica e Bacia Bambuí. A partir disso, determinaram oito morfoesculturas.

As primeiras tentativas de elaboração de uma classificação e mapeamento do relevo da área de estudo em escala regional foram realizadas por Souza e Rodrigues (2014), estes autores propuseram a compartimentação geomorfológica da região da Serra da Canastra e entorno numa escala de 1: 250.000, utilizando-se dos conceitos de unidades Morfoestruturais e morfoesculturas (Figura 4).

Figura 4: Mapa de Unidades Morfoestruturais.



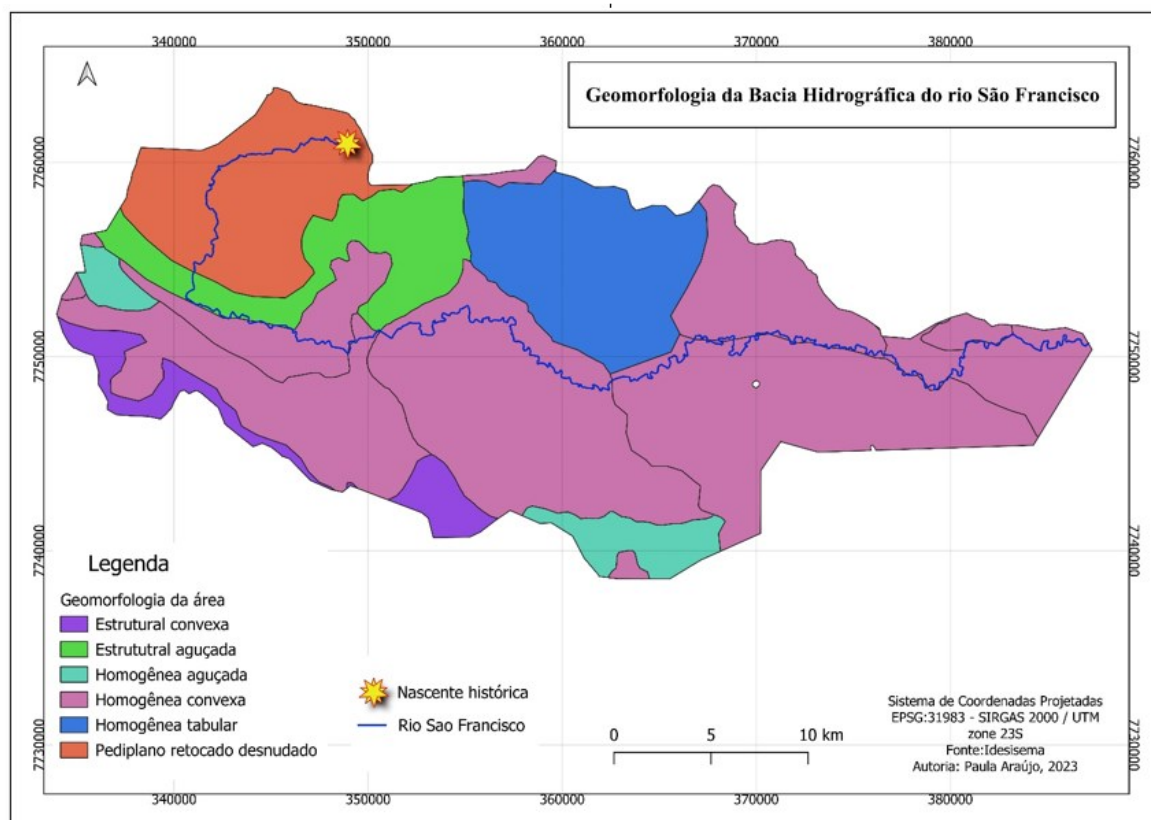
Fonte: Souza e Rodrigues (2014).

5.2 Relevo da área de estudo

O perímetro da bacia hidrográfica estudada é formado por estruturas do tipo pediplano localizado na parte alta da nascente (cor vermelha no mapa), sua formação está compreendida como Neoproterozóico formado entre há 1000 milhões de anos e 541 milhões de anos, aproximadamente, (Figura 5). A área denominada de homogênea tabular (cor azul), equivale á uma região com média rede de drenagem, entretanto é considerado um relevo dissecado, com depressões do alto rio São Francisco.

A região de relevo escarpado (cor verde no mapa), corresponde a um relevo estrutural aguçado, constitui-se como um relevo altamente dissecado por agentes erosivos e marcado por um declive acentuado. A parte considerado estrutural convexa e homogênea convexa (cores roxas), são constituídas por uma paisagem de depressão do alto-médio rio São Francisco e planaltos da Canastra bem dissecado pelas redes de drenagens, abarcando parte do Chapadão da Babilônia pedaço do Parque da Canastra que é permitido uso e ocupação do solo para o agronegócio e turismo.

Figura 5: Geomorfologia do perímetro da área de estudo.



Fonte: Autora, Araújo, P. M. S., 2024.

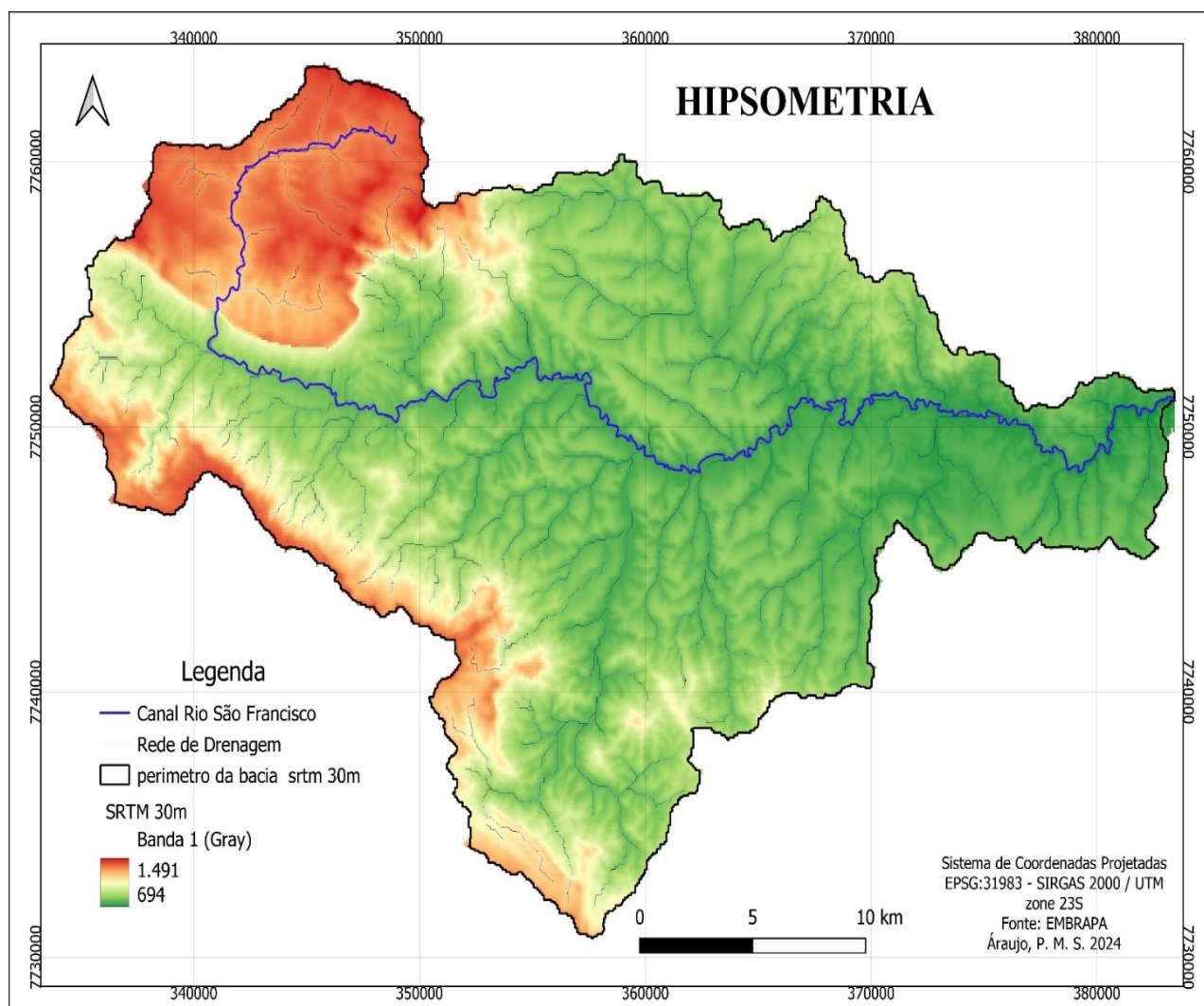
Os autores Nazar e Rodrigues (2020) chegaram a concluir que o Parque da Serra da Canastra é representada por classes de relevo suavemente dissecado a fortemente dissecado, relevo aplainado, relevo em cristas quartzíticas e escarpas estruturais. Exemplos de formas de relevo da área de estudo são visualizadas na Figura 6.

Figura 6: Exemplo de formas do relevo Serra da Canastra: A) Vista do planalto do rio São Francisco a partir do mirante na parte alta da Cachoeira Casca D'anta; B) Campos de Murundus; C) Geocobertura hidromórfica; D) Vista da Escarpa da Serra da Canastra; E) Relevo Dissecado; F) Parte baixa da Cachoeira Casca D'anta.



A hipsometria (Figura 7), da área de estudo compreende no Modelo Digital de Elevação valores entre 694 e 1491m, Figura 6, onde observa-se claramente a divisão da topografia delimitada por uma escarpa de aproximadamente 300 metros. Acima desta escarpa encontram-se a Serra da Canastra, com suas superfícies do Chapadão do Diamante a norte, sempre com altitudes acima de 1200 metros, onde está a nascente do rio São Francisco e do Chapadão da Babilônia a sul, que delimita a área de estudo. Nos segmentos abaixo da escarpa, encontram-se o Planalto do Alto São Francisco, onde a rede de drenagem afluyente do rio conforma topografia abaixo dos 1000 metros de altitude (Rodrigues, Augustin e Nazar, 2023).

Figura 7: Altimetria da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

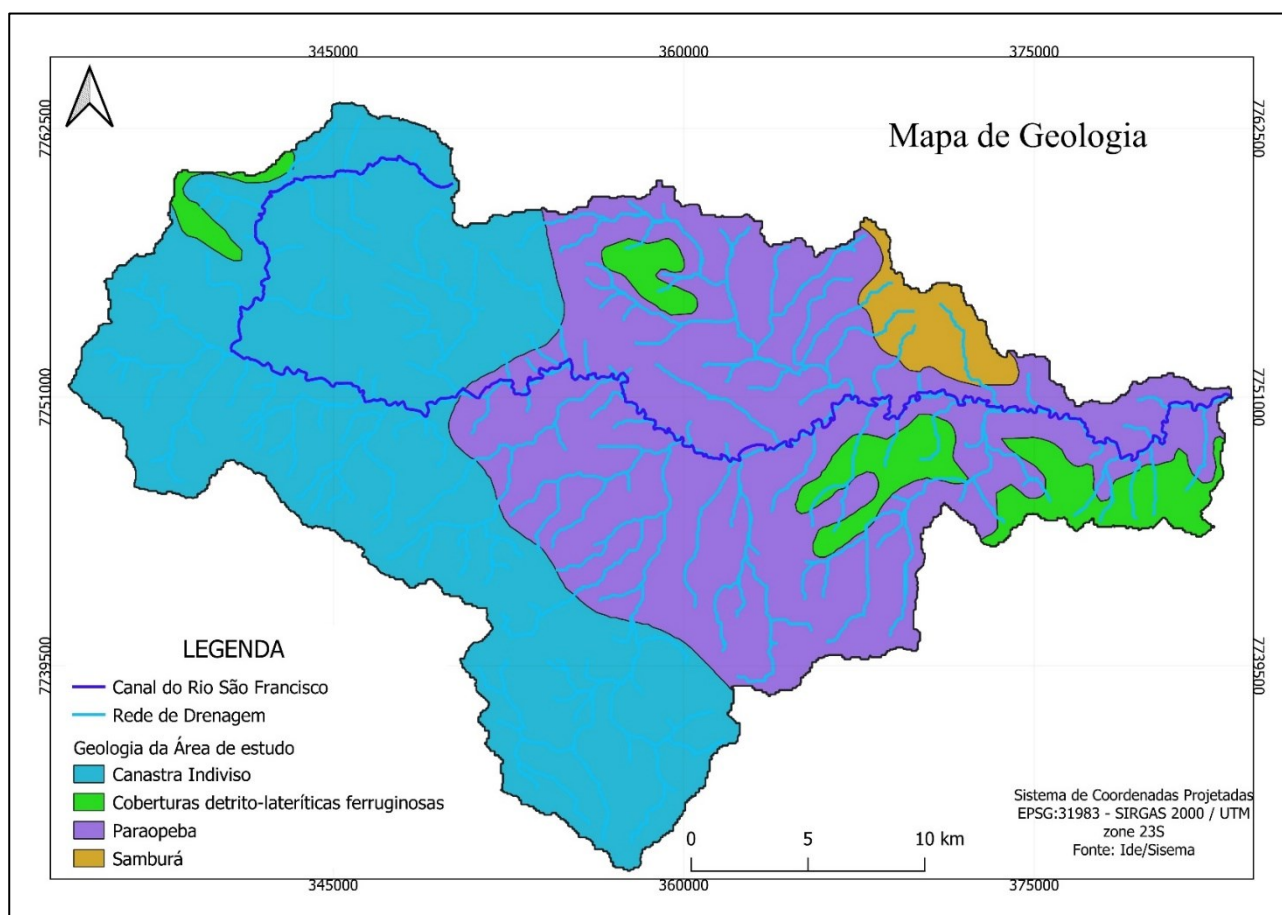


Fonte: Autora, 2024.

5.3 Litologia e Estruturas regionais

A litologia da área de estudo é composta por rochas de origem metamórficas, sedimentares e ígneas (filito, quartzitos, xistos, muscovita, biotita, folhelhos, argilitos, conglomerados, granito, argila, siltes, laterita, quartzos cristalinos e leitosos. Segundo o banco de dados do SGB (Serviço Geológico do Brasil), utilizado em ambiente SIG, alega que a área de estudo contem: intercalações de quartzito nos metaturbiditos, o grupo canastra indeterminado contém filito, muscovita filito bandado, quartzito intercalado no filito, metarenito fino a grosso, quartzito puro a micáceo na formação samburá contém metaconglomerado, nos fluxos gravitacionais subaquosos metaconglomerado, no grupo Bambuí contém metacalcário e metapelito há também cobertura coluvionar, cobertura de superfície aplainada e dissecada, e colúvio, conforme mostra no mapa de geologia da área na Figura 8.

Figura 8: Mapa litológico da Área objeto de estudo.



Fonte: Autora, 2024.

Uma característica marcante do Chapadão do Diamante, (Nazar e Rodrigues, 2020), dá-se, por um alto grau de evolução intempérica, há presença de um substrato quartzítico em áreas de relevo em crista, onde as geocoberturas desse local são bastante arenosas e cascalhentas, há percursos com alta taxas de silte, argila e concreções ferruginosas, outro aspecto marcante no Chapadão do Diamante são os campos de murunduns e termiteiros ativos. Algumas amostras da litologia são vistas pelos afloramentos rochosos muito presente na Serra da Canastra, conforme mostra a (Figura 9) esquematizada em ordem alfabética.

Figura 9: Geologia encontrada na Serra da Canastra: A) Afloramento rochoso com Líquen; B) Afloramento Rochoso; C) Quartzito; D) Sedimentos aluviais do canal do rio São Francisco



Fonte: Acervo da Autora, 2024.

Os autores Nazar e Rodrigues (2020) consideram que se pode analisar a geomorfologia da área através da inter-relação entre os aspectos litoestruturais, as formas do relevo e as geocobertura do Chapadão do Diamante na Serra da Canastra localizado no município de São Roque de Minas. A geocobertura (Figura 10), a qual os autores abordam, corresponde a todos os materiais que sofrem alterações superficial que recobre o relevo da Terra, onde estes mesmos são originados por processos químicos e físicos, podem ser transportados e depositados. Bem como, os afloramentos rochosos, que são expostos aos processos de intemperismo que está ligada aos aspectos litológicos e a topografia, pois, nesse sentido, nas análises geomorfológicas, as abordagens vão além da interpretação pedológica e, portanto, substitui-se o termo “solo” e “horizontes” por materiais superficiais, camadas como também geocobertura.

Figura 10: Geocobertura da Serra da Canastra: A) Presença de Termiteiros nos Campos de Murunduns; B) Encosta convexa ao fundo com deposição de sedimentos; C) Materiais superficiais de origem metamórficas e sedimentares transportados pelo rio.



5.4 Uso da Terra e características da vegetação natural do Bioma

Parte do canal do Rio São Francisco corre pelos Municípios de Vargem Bonita, Piumhi e São Roque de Minas e, por isto é válido ressaltar que boa parte do rio perpassa por locais onde o uso e ocupação da terra vem sendo cada vez mais usufruída pela agricultura, pastagem, turismo, urbano, entre outros.

Os autores Ferreira e Silva (2019), ressaltam em seus estudos que há 130 mil hectares do Parque que estão inseridas famílias de camponeses e por isso, a terra vem sendo perturbada de forma capitalista que é conivente com o agronegócio, mineração, fomentando disputas territoriais e que colocam os camponeses em constante conflito. Visto disso, os processos de construção de vias urbanas, construções de casas, mineração, perturbação biológica também causam processos erosivos.

Para o Geógrafo Ab'Saber (2003), domínios dos chapadões tropicais, as duas estações recobertas por cerrados e penetrados por florestas de galerias é definido pela flora dos campos de cerrados exposta ao máximo de iluminação pelo clima, caracterizado por elevados dias de céu descoberto da vegetação rala produzindo sombra mínima. Segundo o autor, os cerrados são um conjunto de arvoretas que compõem o cerradão, não escondendo a superfície dos solos pobres que lhes servem de suporte ecológico. Continuando, os campestres que formam ilhas dentro dos cerrados e cerradões não passam de enclaves de campos tropicais, sendo assim, savanas brasileiras em comparação com os espaços fisiográficos e ecológicos do país com os cerrados e savanas da África Austral formam uma grande extensão irregular de mosaico paisagístico brasileiro muito distinto do território africano.

O conceito de Cerrado encontrado no Manual Técnico da Vegetação Brasileira (2012) é uma vegetação xeromorfa que ocorre em vários tipos de clima, revestindo solos lixiviados ricos em alumínio que apresenta sinúsias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte em toda a zona neotropical principalmente no Brasil central dividida em quatro subgrupos de formação: Florestada (cerradão), Arborizada (Campo cerrado, Cerrado, Cerrado ralo, Cerrado típico e Cerrado Denso), Parque, (Campo sujo de cerrado, cerrado de pantanal, campo de murundus e campo rupestre) e Gramíneo-Lenhosa (campo limpo de cerrado), descrições condizente com a área de estudo, Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.

A paisagem da Serra da Canastra é exuberante e consigo traz a beleza da flora do cerrado. Sendo ele o segundo maior bioma do Brasil perdendo somente para Amazônia. Nos seus estudos dos autores Romero e Nakajima (1999) sobre espécies endêmicas presentes no Parque levantaram que as principais fitofisionomias mais encontradas são as florestas mesófilas de encosta, cerradão, cerrado, campo cerrado, campo limpo, campo rupestre e capões (Figura 11). Concluíram a presença de 45 espécies endêmicas, no qual, 37 dessas espécies são novas e que pertencem a 11 famílias tais como: Fabaceae, Mimosaceae, Eriocaulaceae, Orchidaceae, Myrtaceae e Malpighiaceae. Encontram-se próximas da nascente histórica do rio São Francisco e nas margens rochosas dos córregos as espécies *Inulopsis* sp. nov. (Asteraceae) e *Miconia angelana* R. Romero & R. Goldenberg (Melastomataceae) os autores encontraram no fundo do vale da nascente entre as rochas a espécie *Eryngium* sp. nov. (Apiaceae).

Figura 11: Aspectos da fitofisionomia presente no Parque Nacional da Serra da Canastra: A) Campo Rupestre; B) Mata ciliar do rio São Francisco; C) Capão de Mata; D) Cerrado Ralo.

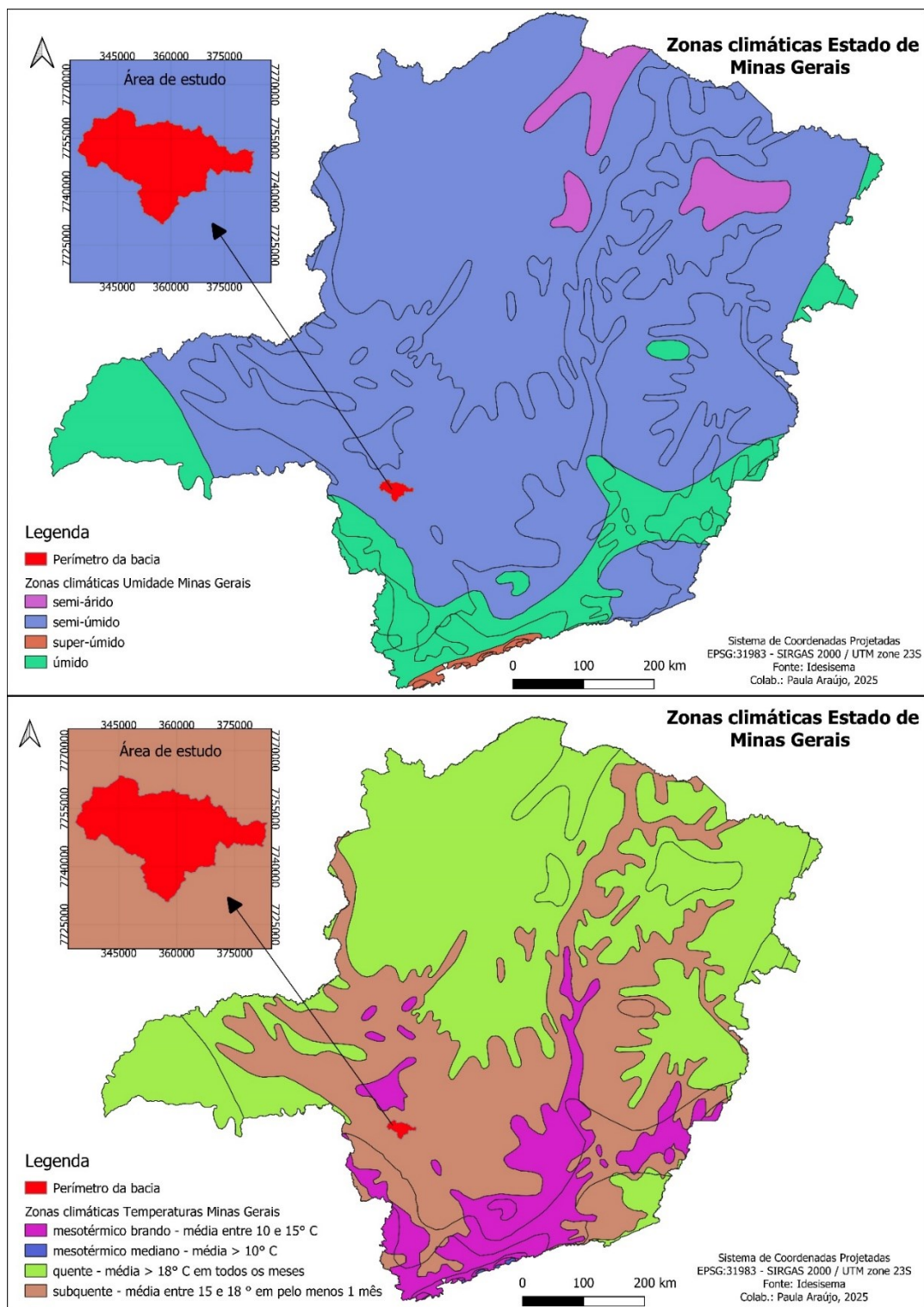


5.5 Clima

Segundo o Plano de Manejo do PARNA Canastra (2023), encontra-se na região clima tropical típico onde as temperaturas médias variam entre 18°C nos meses frios e 27°C nos meses quentes, sendo elas bem definidas, os meses marcados pelas secas são de junho a agosto eles também são os meses mais frios, a região é caracterizada pelo excedente hídrico que começa entre dezembro e fevereiro, já, as estações secas ocorrem entre abril e setembro. Em relação a pluviosidade, varia entre 1000 e 1500 mm.

A área de estudo está localizada na zona tropical central, esta região é constituída por clima semiúmido, passando de 4 a 5 meses secos. Sua temperatura é classificada como subsequente com médias entre 15 e 18° pelo menos um mês e semiúmido de 4 a 5 meses, conforme mostram os mapas logo a seguir na figura 12.

Figura 12: Mapa de Climatologia do Estado de Minas gerais delimitando a área de estudos.



Fonte: Autora, 2025.

6. METODOLOGIA

Esta etapa da pesquisa é muito importante porque diz respeito a sistematização dos processos que serão desenvolvidos no decorrer do presente trabalho. A princípio foi recorrido à pesquisa de outros trabalhos já realizados, livros e, artigos a despeito e dicionário no âmbito da geomorfologia.

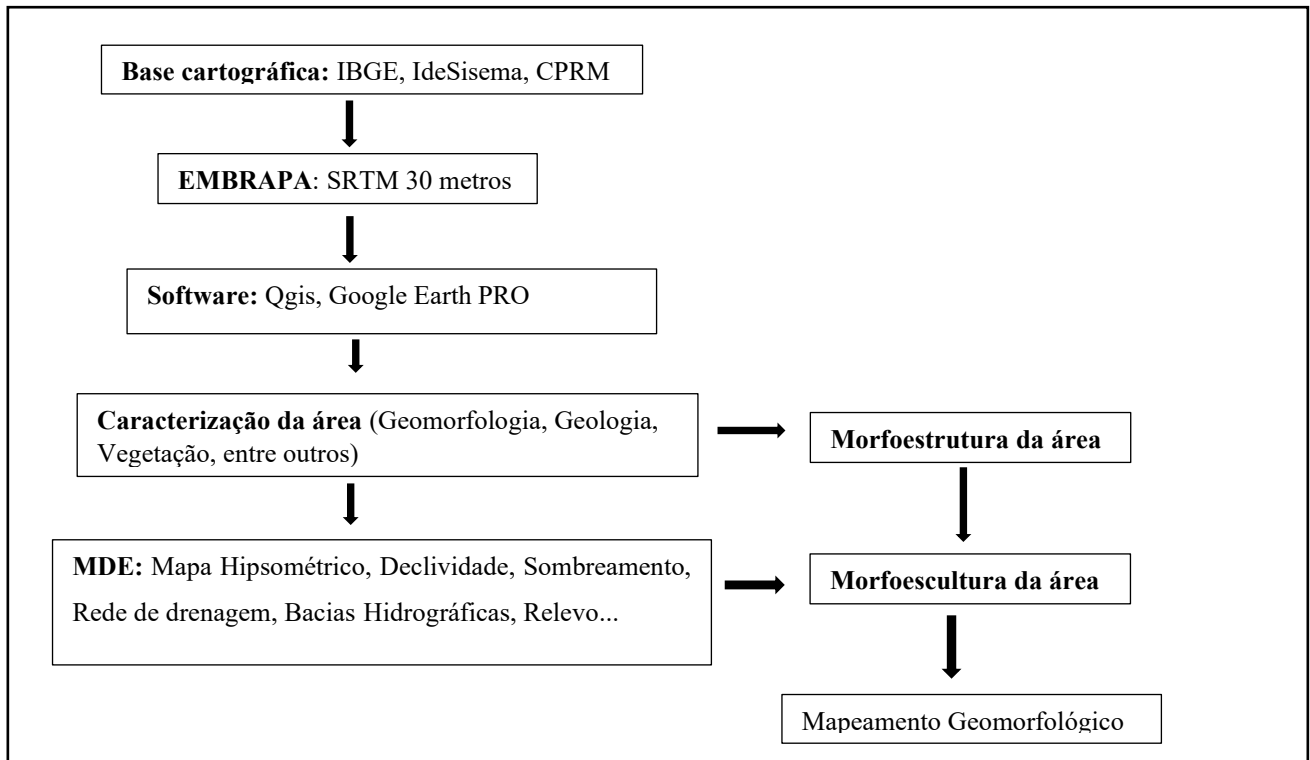
Para a base de dados em ambiente SIG foi utilizado sites como IBGE, EMBRAPA, Serviço Geológico, IdeSisema, entre outros órgãos que trabalham com mapeamentos tanto regional quanto nacional, em laboratório foi utilizado também o POP (Procedimento Operacional Padrão) que serve para direcionar os processos realizados com o intuito de minimizar alguns erros na execução de atividades que são feitas em laboratório, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 16434:2015 e NBR 7211:2005. Neste item irá conter as informações de como foram feitos os mapas existentes, tabelas e índices.

6.1 Trabalhos de gabinete

a) Índice de Hack

Para aquisição da base de dados desta pesquisa, a princípio foi realizado o Download dos arquivos MDE (Modelo Digital de Elevação) e MDT (Modelo Digital do Terreno) modelos que mostram a variação da altimetria da superfície do terreno, esses dados foram retirados no site do TOPODATA para utilizar em ambiente SIG (Qgis, Google Earth). As Cartas selecionadas foram de São Roque de Minas, Vargem Bonita, e Piumhi pois o perímetro que delimita a Bacia estudada abrange estes Municípios, e para uma melhor segurança é necessária uma vistoria *in locu*. Para o estudo morfológico da área de estudo foi necessário transformar os dados das camadas MDE e MDT para se obter parâmetros como: Declividade, Rede de Drenagem, Microbacias Hidrográficas, Curva de Nível, Relevo Sombreado, Forma do Terreno entre outros produtos, mapas que estão no tópico de resultados, mais para o final deste trabalho. O fluxograma da figura 13 a seguir, detalha melhor o passo a passo para os primeiros mapeamentos da Bacia.

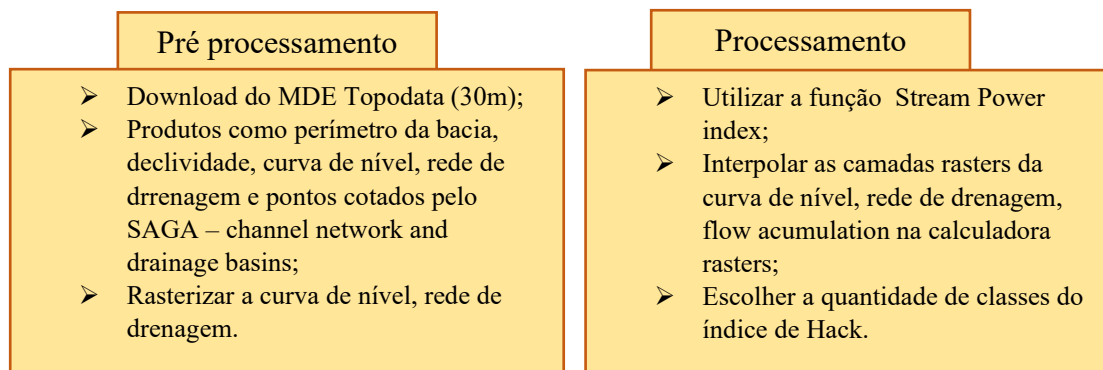
Figura 13: Fluxograma 1- Esquema da distribuição do Mapeamento Geomorfológico da área de pesquisa desde a aquisição de material para base de dados.



Fonte: Autora, 2023.

Para um mapeamento mais próximo à realidade no geoprocessamento no âmbito da Geomorfologia Fluvial, o qual foi proposto nesta pesquisa encontra-se no MDT-HC (Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistido), é válido ressaltar a importância da escala apropriada para a representação cartográfica que irá ser apresentada. Portanto, para uma melhor compreensão do processo de criação do Índice de Hack está descrito conforme mostra o fluxograma 2 logo a seguir:

Fluxograma 2: Processo para realização do Índice de Hack:



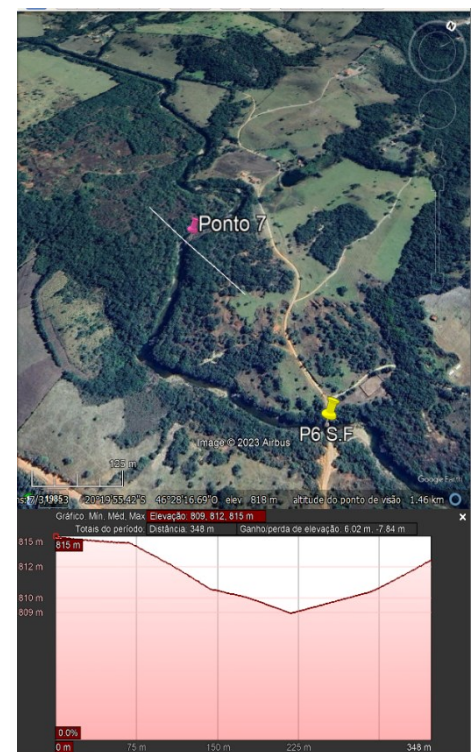
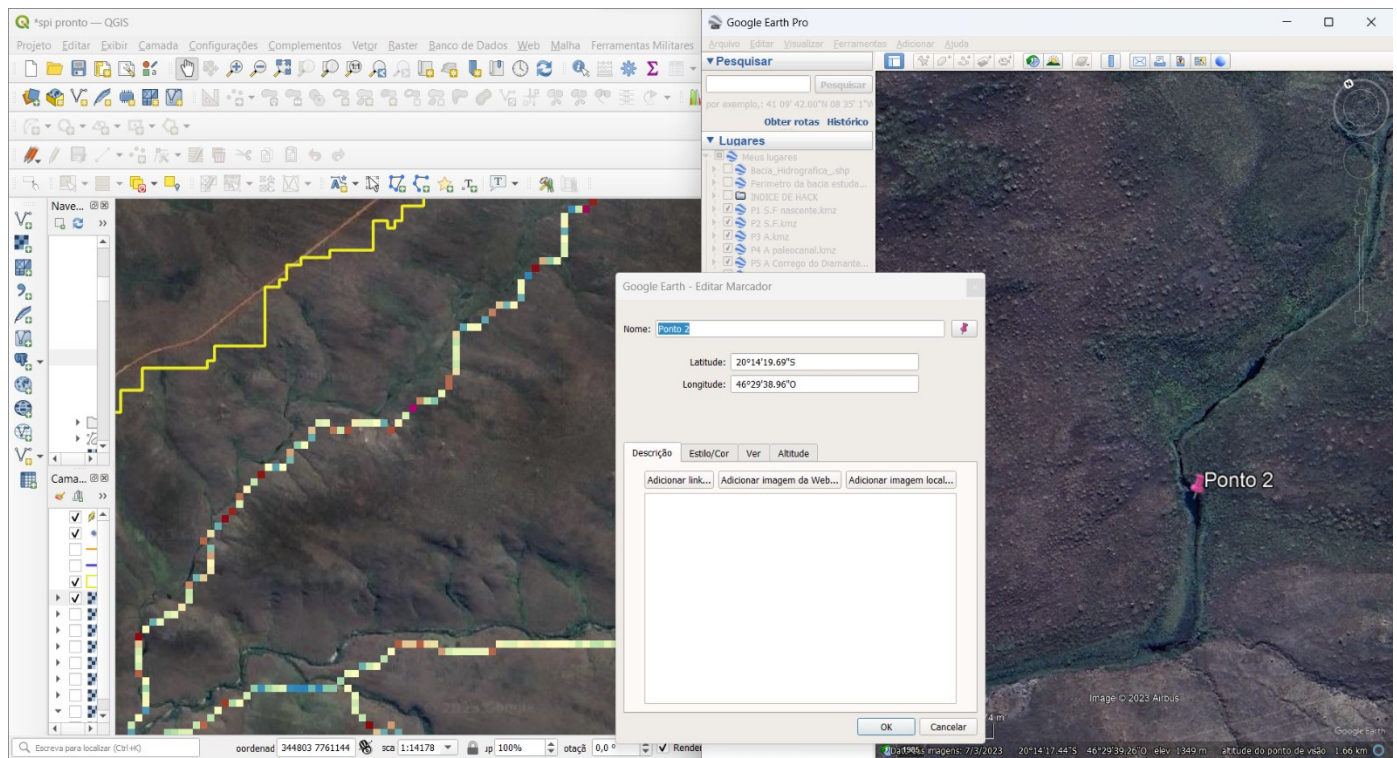
Fonte: Autora, 2024.

Para a realização do mapeamento da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco com seu perímetro limitado até o encontro do Rio Samburá, é acordado uma escala maior que 1:100.000. Os modelos MDT-HC, MDE e MDT em suma permitem que se realize uma álgebra de processamentos. No caso do MDT-HC ele interpola as camadas rasters da curva de nível, rede de drenagem, e pontos cotados para desenhar o terreno de forma condizente com a realidade. E, portanto, compreender melhor a morfometria do canal a partir dos parâmetros fisiográficos, para uma possível comparação, interpretação de fenômenos passados e previsões de eventos fora do padrão no caso índice de Hack que aponta anomalias dos canais.

Índices que apontam se uma determinada bacia é ou não susceptível a enchentes. Araújo e Maruschi (2020) consideram que sua função é representar o modelo do terreno de forma a considerar os vales (drenagem) e topos de morro (pontos cotados). A partir dos resultados da camada raster da rede de drenagem com a camada raster do índice de Hack mescladas na calculadora raster do Qgis permitindo assim a demarcação dos pontos de coletas das amostras, onde o índice se inicia no zero (0) e vai até quatro (4) graus mais elevados de anomalias existente no canal. Os pontos escolhidos para coletar as amostras foram analisados a partir do índice de Hack nos pontos cujas anomalias são maiores que 2 e 3.

Depois que foi gerado o índice morfométrico de Hack no Software QGIS, foi necessário tirar as coordenadas pelo Google Earth Pró, os pontos em cor rosa correspondem às coordenadas do ponto de coleta de amostras produto do Qgis, cujo índice morfométrico de Hack aponta para maior que 3 (Figura 14), É importante ressaltar que as vezes nem sempre é possível a realização daquilo que foi proposto, durante a coleta em campo houveram vezes de não ter acesso ao local da coordenada escolhida em SIG por falta de estradas, por ser solos hidromórficos, ou por estar em vertente, dentre outros motivos.

Figura 14: Processo de marcação das coordenadas dos pontos de coletas do Software QGIS e Google Earth Pro.



Fonte: Autora, 2023.

6.1.2 Trabalhos de campo

No local que foi destinado às coletas foi utilizado uma pá, um balde e saco para colocar de forma correta os sedimentos colhidos manualmente dentro do canal, e GPS para anotações das coordenadas, conforme mostram a Figura 15.

Figura 15: Representação da coleta dos sedimentos desta pesquisa no Rio São Francisco.

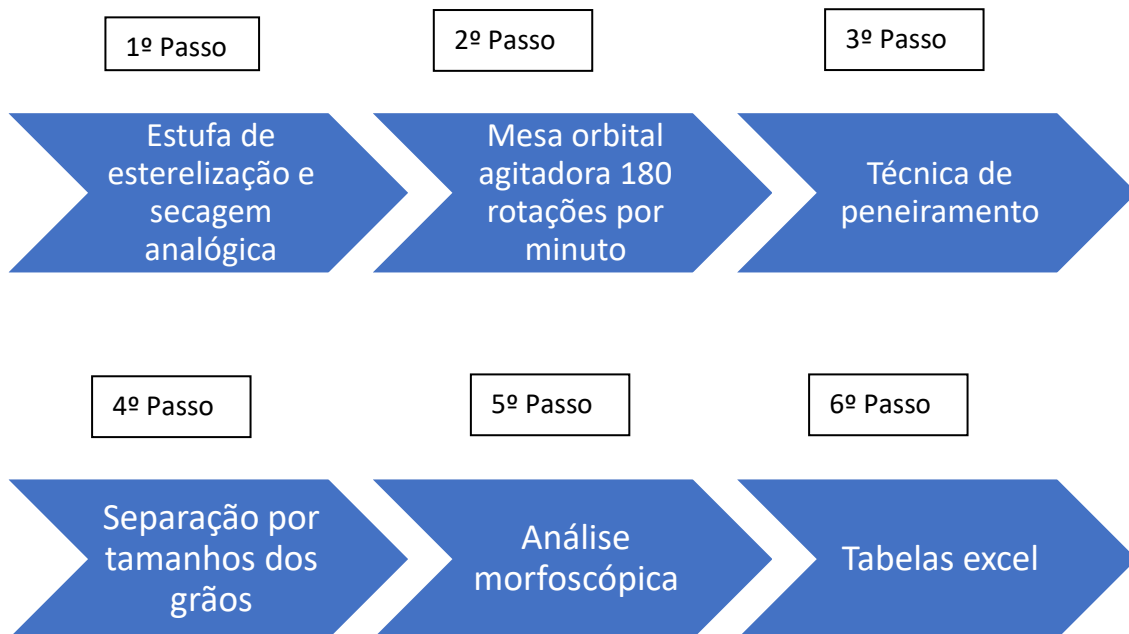


Fonte: Acervo da Autora, 2024.

6.1.3 Trabalhos de laboratório

Esta etapa perpassa pela realização de lavagem, secagem e a realização da granulometria por peneiramento. Processo muito importante proporciona a melhor escolha da medida dos grãos e para que no final seja feito a análise técnica de Morfoscopia sedimentar com os detritos totalmente limpos. O fluxograma a seguir irá nortear o passo a passo dos processos técnicos laboratoriais realizados.

Fluxograma 3: Passo a passo dos processos realizados em laboratório.



Fonte: Autora, 2024.

O primeiro passo a ocorrer em laboratório de acordo com o esquema acima, é realizado o processo de lavagem dos sedimentos para retirada do silte e argila pois não tem relevância para a pesquisa e este processo é feito três vezes: Lavagem dos sedimentos em água corrente, em seguida a amostra é posta em cadinhos de cerâmica e levados à Estufa de esterelização e secagem analógica por 16h em 105°C.

Na segunda parte operacional, acrescenta-se a dissolução de Hidróxido de Sódio (1 litro de água destilada mais 40g de NaOH), feito isso, coloca-se os sedimentos lavados em água

corrente em um frasco com a dissolução e levado para mesa orbital agitadora com 180 rotações por minuto durante 16h. Esse procedimento serve para lavar o restante das “impurezas” contidas nos grãos. Passado as 16h em lavagem na mesa orbital, lava-se novamente os sedimentos em água corrente e em seguida é posto novamente na estufa de esterilização para uma secagem final.

A terceira fase é realizada a granulometria por separação dos grãos a partir da técnica de peneiramento a seco, método processual obrigatório e básico muito utilizado desde os primórdios da mineração tanto para as indústrias como para pesquisas acadêmicas laboratoriais. Este processo de separação dos grãos através de malhas de peneiras separa o cascalho da areia grossa, da areia média, que por sua vez separa a areia fina, sucessivamente separa o silte e a argila. Para Sales (2020):

Postas em malhas das peneiras, as granulometrias serão separadas através de agitador seco, passando pelo conjunto de peneiras cujas malhas são: 4,75 mm; 2 mm; 1,70 mm; 0,850 mm; 0,600 mm; 0,425 mm; 0,300 mm; 0,212 mm; 0,150 mm; 0,075 mm; e 0,053 mm. O silte e argilas são descartados pois não há necessidade de avaliá-los. Após o processo de separação granulométrica, os materiais são ensacados com devidas identificações.

Figura 16: Processo de lavagem, secagem, e granulometria em laboratório.



Fonte: Acervo da Autora, 2024.

Depois do método de granulometria por peneiramento, as amostras são analisadas pelo método de morfoscopia sedimentar para quali-quantificar os grãos coletados dentro do canal do Rio São Francisco no âmbito do arredondamento, esfericidade e litologia do material coletado utilizando o Estereomicroscópio Bel Photonics STM com zoom de 0,7 a 45 x, podendo chegar a 225x segundo site oficial do aparelho de acordo com a Figura 17, logo a seguir.

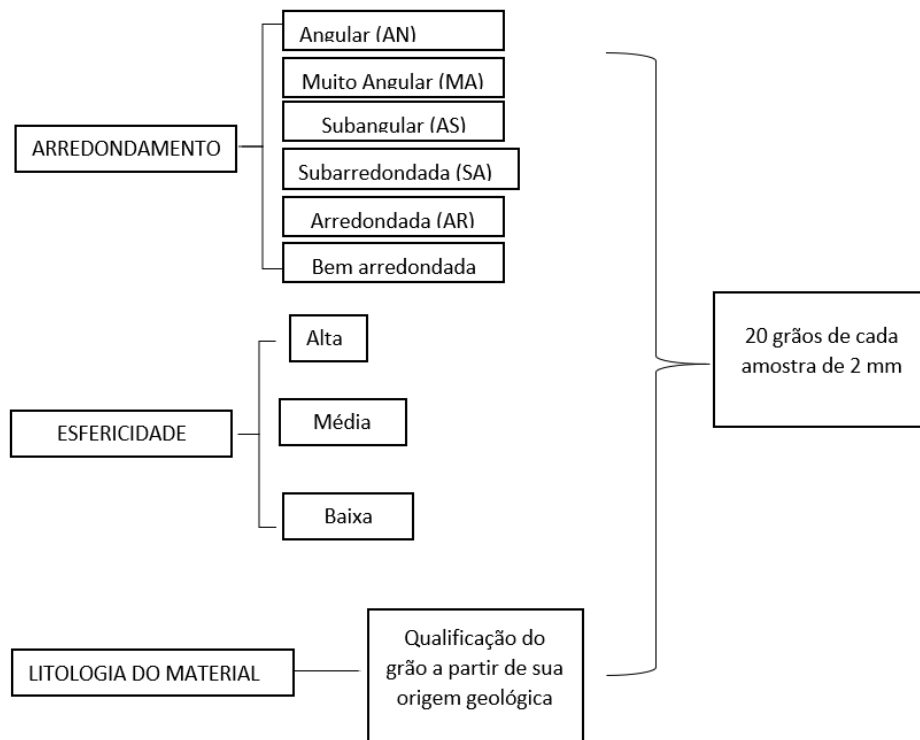
Figura 17: Análise Morfoscópica de sedimentos.



Fonte: Acervo da Autora, 2024.

Foram selecionados 20 grãos por classes de peneiramento (2mm), em 15 pontos de coordenadas diferentes. Esses 20 grãos foram analisados a partir das seguintes classes: Arredondamento, Esfericidade e Litologia, conforme mostra o fluxograma 4 na Figura 18 que dará norteamento à uma compreensão mais assertiva do processo.

Figura 18: Fluxograma 4 Técnica de Morfoscopia sedimentar a partir da classificação de Powers, 1953.



Fonte: Autora, 2024.

À medida que se fez a quantificação por tabelas dos sedimentos, surgiu a necessidade de organização dos dados, e assim estabelecer relações entre elas eliminando redundâncias e dados inconsistentes que poderiam surgir utilizando a fórmula para normalização deles:

$$Z = \frac{x - \min(x)}{[\max(x) - \min(x)]} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde Z corresponde ao valor normalizado; X_min é o menor valor do conjunto; X_max é o maior valor do conjunto e o X corresponde ao valor a ser encontrado.

Depois que tudo estava em conformidade, acrescentou-se a fórmula para a criação do Índice de Morfoscopia sedimentar.

$$IM = \frac{Ar * Ea * Em * Eb}{3} \quad (\text{Equação 6})$$

IM= Índice Morfoscópico;

Ar = Arredondamento normalizado;

Ea = Esfericidade alta;

Em = Esfericidade média;

Eb = Esfericidade baixa.

Isto posto, com os dados somados, normalizados, multiplicados e normalizados novamente, obteve-se o resultado esperado para serem atrelados na tabela de atributos do *shapefile* coleta das amostras para o próximo passo da representação desses dados de forma linear.

Tabela 1: Amostra do interflúvio parte alta para exemplificação do cálculo do Índice Morfoscópico a partir da normalização de dados.

Interflúvio parte alta		Normalização	Índice Morfoscópico
Medida 2mm	Arredondamento		
muito angular	9	0,45	2,33
angular	4	0,2	1,33
subangular	1	0,05	0,33
subarredondado	4	0,2	1,33
arredondado	2	0,1	2,13

muito arredondado	0	0	0
Total de sedimentos	20	Média normalização	1,241666667
Soma do Índice Morfoscópico			
7,45			

Fonte: Autora, 2024.

Tabela 2: Cálculo do Índice Morfoscópico de todas as amostras analisadas com suas respectivas normalizações de dados para utilizar no Qgis.

MÉD. ARR x ES. ALTA x MÉDIA x ES. BAIXA / 3		Normalização de dados
INTERFLU	7,45	0,6
NASC	6,66	0,3
PM1	7,98	0,7
PM2	6,56	0,2
PM3	6,65	0,3
PM3II	6,65	0,3
PM4	7	0,4
PM5	6,65	0,3
PM6	8,65	1,0
PM7	6,64	0,2
PM8	6,98	0,4
PM9	6,66	0,3
PLU10	6,65	0,3
PLU11	5,98	0,0
PLU12	6,65	0,3

Fonte: Autora, 2024.

6.1.4 Trabalhos de gabinete parte II

b) Índice Morfoscópico de sedimentos

Para a análise morfoscópica utilizou-se o Estereomicroscópio Bel Photonics STM com zoom de 0,7 a 45 x, podendo chegar a 225x em 20 grãos por amostra sem padrão de seleção dos mesmos para quantificar os sedimentos observando o arredondamento com seis (6) classes: muito angular, angular, subangular, subarredondado, arredondado e bem arredondado. A

esfericidade que correspondem à três (3) classificações: Alta, média e Baixa. Para uma melhor compreensão é importante que se faça uma planilha no Excel para organização das informações obtidas, que possibilita a normalização dos dados contados a partir da fórmula mínima e máxima para transformar os valores numa escala de 0 e 1.

$$Z = \frac{x - \min(x)}{[\max(x) - \min(x)]} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde Z corresponde ao valor normalizado; X_min é o menor valor do conjunto; X_max é o maior valor do conjunto e o X corresponde ao valor a ser encontrado.

A partir dos resultados da normalização dos dados, foi criada uma equação para possibilitar a realização da Krigagem dos dados das análises morfoscópica pelo canal fluvial, equação para a Krigagem:

$$IM = \frac{Ar * Ea * Em * Eb}{3} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde: IM= Índice Morfoscópico; Ar = Arredondamento normalizado; Ea = Esfericidade alta; Em = Esfericidade média; Eb = Esfericidade baixa.

Em ambiente SIG, os dados quantificados na análise morfoscópica foram atrelados e organizados na tabela de atributo do *shapefile* dos pontos de coletas com suas coordenadas geográficas. No plugin *Smart-Map: Sistema de Suporte a Decisão para Agricultura de Precisão* do Qgis, com a *layer* de entrada sendo os pontos normalizados, interpolando com *Grid* de polígono do perímetro da Bacia Hidrográfica por Krigagem ordinária linear utilizando a linha do canal fluvial dissolvido com os pontos das amostras contendo as informações da normalização dos dados de arredondamento e da esfericidade resultando no mapa de Índice morfoscópico de sedimentos fluviais.

7. RESULTADO

Destaca-se, portanto, a importância da análise espacial para com as unidades geomórficas, o qual, relata a gênese da paisagem. Correlacionando-o com os processos intrínsecos como a forma do relevo, o clima, vegetação e geologia. No que tange esta pesquisa, pauta-se em parâmetros morfométricos como altitude, declividade, curvatura e densidade de drenagem.

É evidente que no Parque Nacional da Serra da Canastra é uma região constituída por quatro diferentes bacias hidrológicas e os canais fluviais mais exponentes são o rio São Francisco, rio Santo Antônio, rio Grande e rio Paranaíba, cujo canais configuram grandes redes de drenagens de grandes densidades. Esses cursos d'águas são condicionados pela estruturação do relevo que está intrinsecamente relacionado com a geologia local, quanto pela pedologia existente. Em vista disso, foi realizado diante mão, mapeamentos geomorfológicos para o reconhecimento da bacia hidrográfica: declividade, curva de nível, índice de rugosidade e sombreamento (Figura 19), índice de Hack (Figura 20), e índice morfoscópico (Figura 25).

O mapa de declividade representa a maior e menor inclinação do relevo comparando-o do ponto de vista do relevo em relação ao horizonte. A declividade juntamente com o mapa de curva de nível, mostra que quanto maior a inclinação for, mais as curvas de nível são próximas. E inversamente, quanto mais afastadas, mais suave será o declive. A declividade de um terreno é comparada ao nível do mar que corresponde ao nível zero, e segundo os dados da Embrapa, há uma classificação de declividade do relevo e definição para cada uma delas. No mapa logo a seguir, a declividade está representada em cores, onde o azul é para declives planos, perpassando pelo nível mediano de suave ondulado, ondulado, forte ondulado e montanhoso nas cores do verde para o laranja e escarpado para vermelha que representa o nível mais íngreme do relevo.

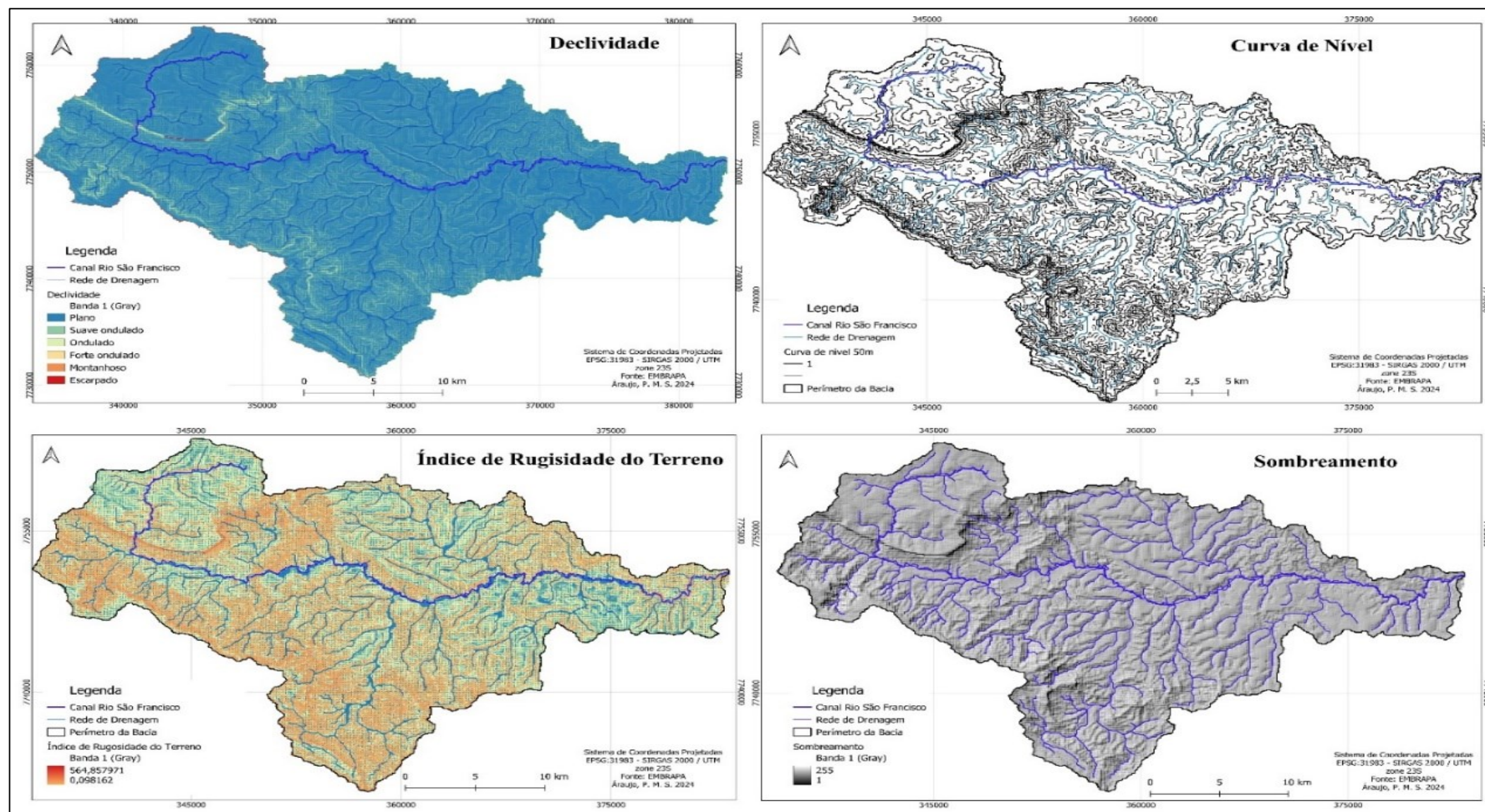
A curva de nível são linhas isométricas que unem pontos de mesma altitude, com determinadas distancia regular e, paralelas entre si, podem representar as secções de uma elevação.

O índice de rugosidade é um parâmetro morfométrico que serve para quantificar a dissecação que nada mais é do que irregularidades ou variações de forma não sistemática da elevação de um determinado relevo. Onde, em números um relevo mais plano inicia no zero e

quando muito dissecado vai ao um. Neste trabalho ele está exemplificado em cores, o verde corresponde a paisagens com relevo mais plano e vermelha representa as áreas mais dissecadas.

O mapa de sombreamento juntamente com a rede de drenagem serve para um detalhamento mais preciso para o reconhecimento dos afluentes que percorrem até o canal principal e assim entender o padrão da drenagem da bacia de estudo que está consolidada como dentrítica.

Figura 19: Mapa de Declividade, Curva de Nível, rugosidade e Sombreamento.

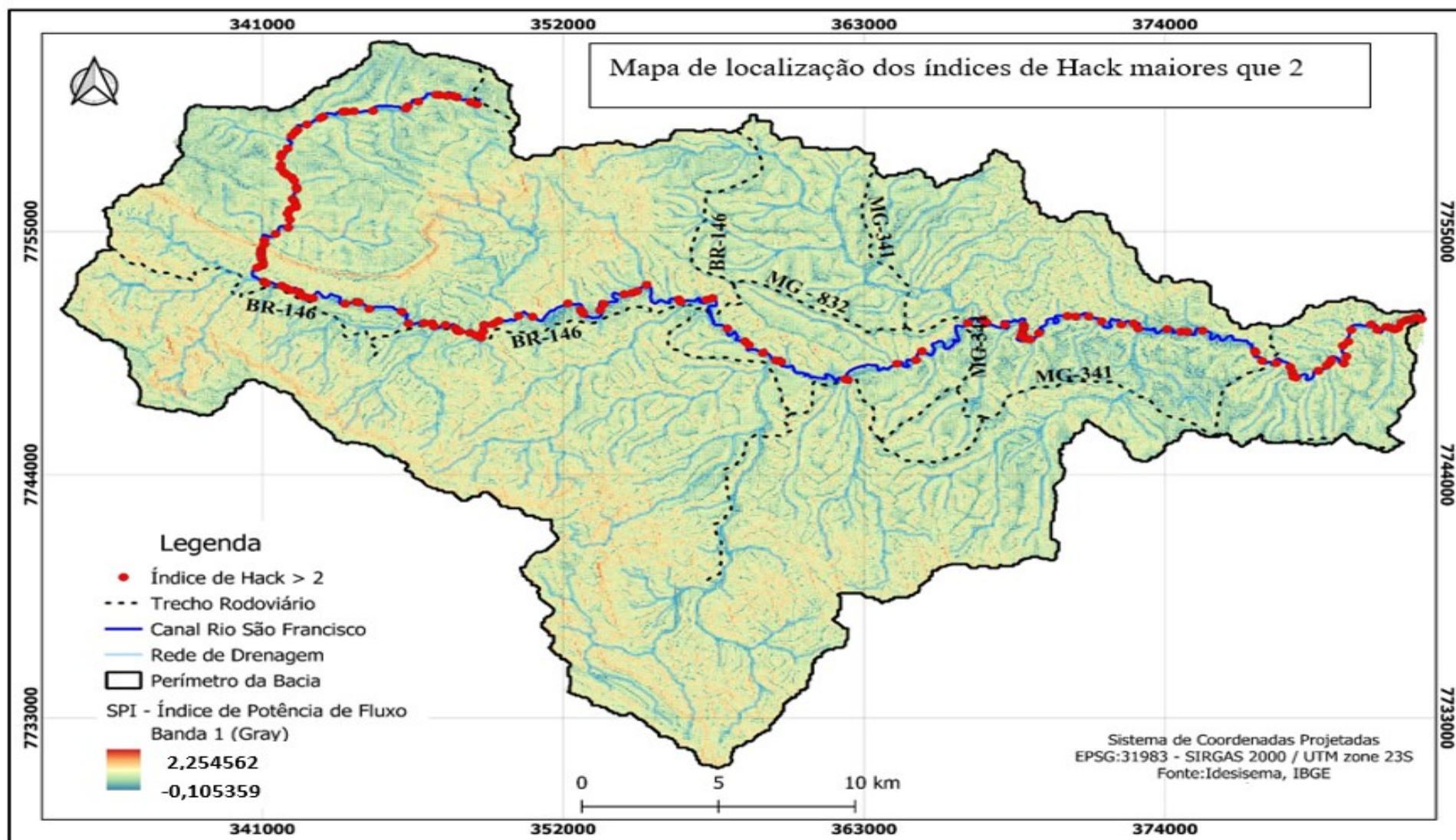


O objetivo do presente trabalho foi a criação do Índice Morfoscópico sedimentar derivado da aplicação da análise geomorfométrica por meio do Modelo Digital do Terreno, o Índice de Hack para checar os trechos anômalos. Se obtiverem valores maiores que 2 categorizam-se em anomalias de 2º grau e portanto, tais valores demonstram mudanças na litologia, isto é, quebras abruptas de declives e assim realizar as coletas para serem analisadas em laboratório (Morfoescopia sedimentar).

A partir do Índice de Hack realizado pelo Software Qgis complementado pelo Google Earth Pró, permitiu-se a realização de coletas amostrais em 15 pontos. As coletas amostrais foram realizadas em diferentes coordenadas geográficas e coletadas de forma manual e em locais aleatórios, pois, a ideia principal seria de coletar apenas nos pontos com anomalias maiores que 2, conforme mostram as Figuras a seguir.

Portanto, os estudos pautados na identificação de dados geomorfométricos como os MDE e MDT favorecem e fornecem uma descrição mais quantitativa da área de estudo a partir dos dados processados e derivados que neles contém e que estão diretamente ligados à superfície da Terra.

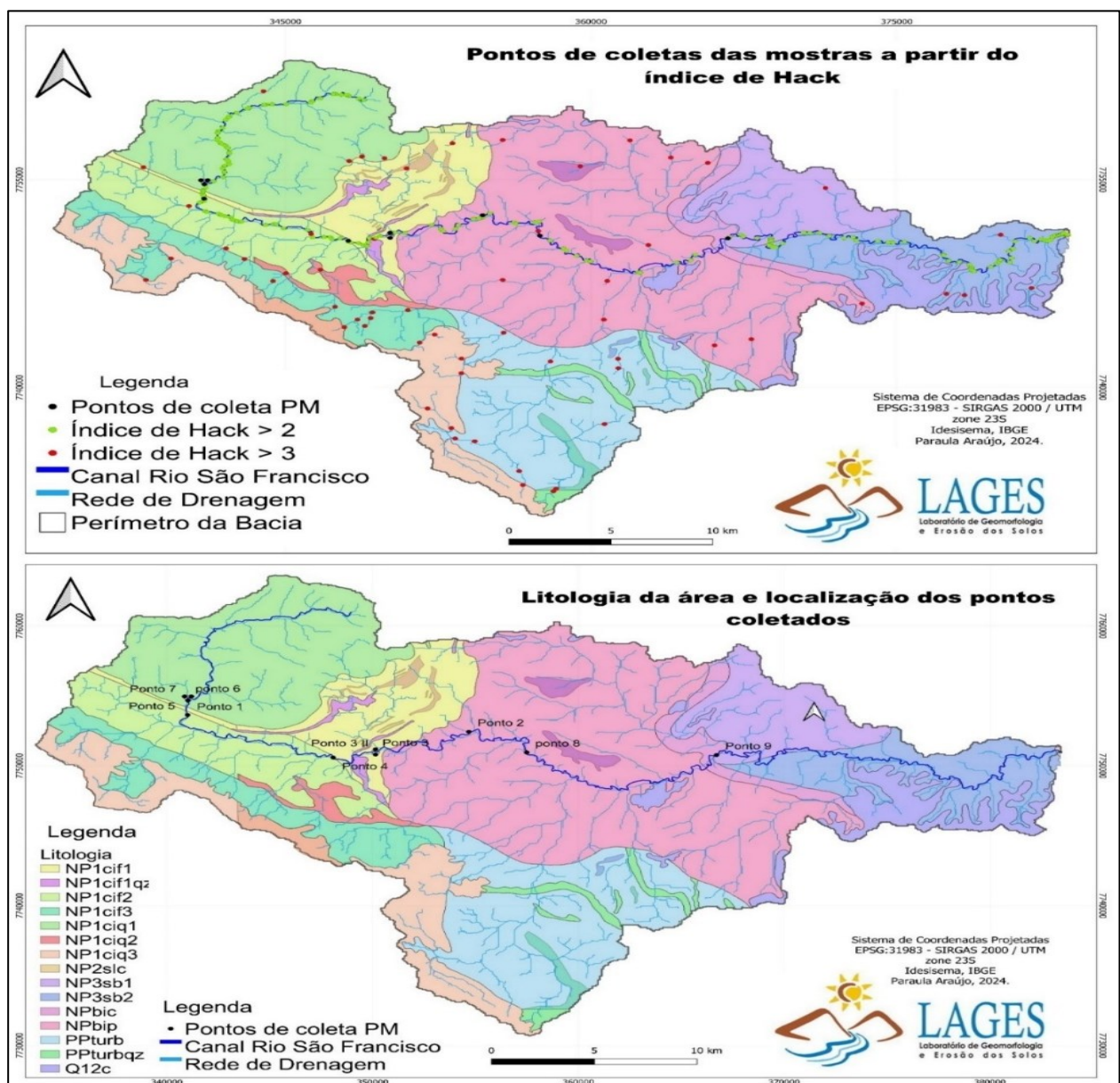
Figura 20: Índice de Hack com anomalias maiores que 2.



Para o reconhecimento geológico dos fragmentos pós coletas se fez a necessidade do mapa litológico da bacia hidrográfica do rio São Francisco, onde, de norte a sul corresponde a unidade Canastra Indiviso com materiais do tipo clorita muscovita filito, metapelito, quartzito, quartzito micáceo, e conglomerados.

Os materiais encontrados na parte leste da bacia na unidade de Paraopeba, Coberturas detritos ferruginosas e Samburá são sedimentos de colúvio, metacalcário, metaconglomerado e metapelitos, conforme mostra a figura a seguir.

Figura 21: Mapas da litologia da área com a localização dos pontos de coleta.



Fonte: Autora, 2024.

Depois que foi feito o processo de lavagem, granulometria por peneiramento, a escolha das medidas de diâmetro (cascalho para os tamanhos de até 4,75mm e areia grossa com até 2mm), iniciou-se a parte prática da análise morfooscópica para quali-quantificar os grãos em Estereomicroscópio Bel Photonics STM, a partir de então, foi feita uma planilha em *Excel* para organizar e normalizar os dados obtidos. É pertinente esclarecer que para este trabalho está exemplificado apenas as amostras do tipo areia grossa com até 2mm. Conforme mostram as tabelas de arredondamento, esfericidade e litologia logo a seguir.

Figura 22: Tabela 3 de arredondamento dos sedimentos com medidas de até 2mm.

Interfluvio parte alta		Nascente parte baixa		Amostra PM3		Amostra PM3 II	
muito angular	9	muito angular	8	muito angular	10	muito angular	11
angular	4	angular	6	angular	4	angular	0
sub-angular	1	sub-angular	3	sub-angular	1	sub-angular	4
sub-arredondado	4	sub-arredondado	0	sub-arredondado	1	sub-arredondado	2
arredondado	2	arredondado	0	arredondado	4	arredondado	3
muito arredondado	0	muito arredondado	3	muito arredondado	0	muito arredondado	0
Amostra PM1		Amostra PM2		Amostra PM4		Amostra PM5	
muito angular	11	muito angular	8	muito angular	10	muito angular	7
angular	1	angular	3	angular	6	angular	5
sub-angular	5	sub-angular	2	sub-angular	0	sub-angular	8
sub-arredondado	0	sub-arredondado	4	sub-arredondado	2	sub-arredondado	0
arredondado	2	arredondado	3	arredondado	2	arredondado	0
muito arredondado	1	muito arredondado	0	muito arredondado	0	muito arredondado	0
Amostra PM6		Amostra PM7		Amostra PLua 10		Amostra PLua 11	
muito angular	7	muito angular	8	muito angular	14	muito angular	11
angular	2	angular	5	angular	3	angular	2
sub-angular	3	sub-angular	1	sub-angular	2	sub-angular	5
sub-arredondado	6	sub-arredondado	3	sub-arredondado	1	sub-arredondado	0
arredondado	0	arredondado	2	arredondado	0	arredondado	2
muito arredondado	2	muito arredondado	1	muito arredondado	0	muito arredondado	0
Amostra PM8		Amostra PM9		Amostra PLua 12			
muito angular	9	muito angular	15	muito angular	8		
angular	4	angular	4	angular	5		
sub-angular	1	sub-angular	0	sub-angular	4		
sub-arredondado	2	sub-arredondado	1	sub-arredondado	3		
arredondado	3	arredondado	0	arredondado	0		
muito arredondado	1	muito arredondado	0	muito arredondado	0		

Fonte: Autora, 2024.

Figura 23: Tabela 4 de esfericidade dos sedimentos com medidas de até 2mm.

Interfluvio parte alta		Nascente pate baixa		Amostra PM 1		Amostra PM 2	
Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade
Alto	2	Alto	0	Alto	0	Alto	0
Médio	2	Médio	3	Médio	1	Médio	0
Baixo	16	Baixo	17	Baixo	19	Baixo	20
Amostra PM 3		Amostra PM 3II		Amostra PM 4		Amostra PM 5	
Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade
Alto	0	Alto	0	Alto	0	Alto	0
Médio	4	Médio	1	Médio	0	Médio	4
Baixo	16	Baixo	19	Baixo	20	Baixo	16
Amostra PM 6		Amostra PM 7		Amostra PM 8		Amostra PM 9	
Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade
Alto	2	Alto	0	Alto	0	Alto	0
Médio	1	Médio	2	Médio	0	Médio	0
Baixo	17	Baixo	18	Baixo	20	Baixo	20
Amostra PLua 10		Amostra PLua 11		Amostra PLua 12			
Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade	Medida 2mm	Esfericidade		
Alto	0	Alto	0	Alto	0		
Médio	0	Médio	2	Médio	0		
Baixo	20	Baixo	18	Baixo	20		

Fonte: Autora, 2024.

Figura 24: Tabela 5 de litologia dos sedimentos com medidas de até 2mm.

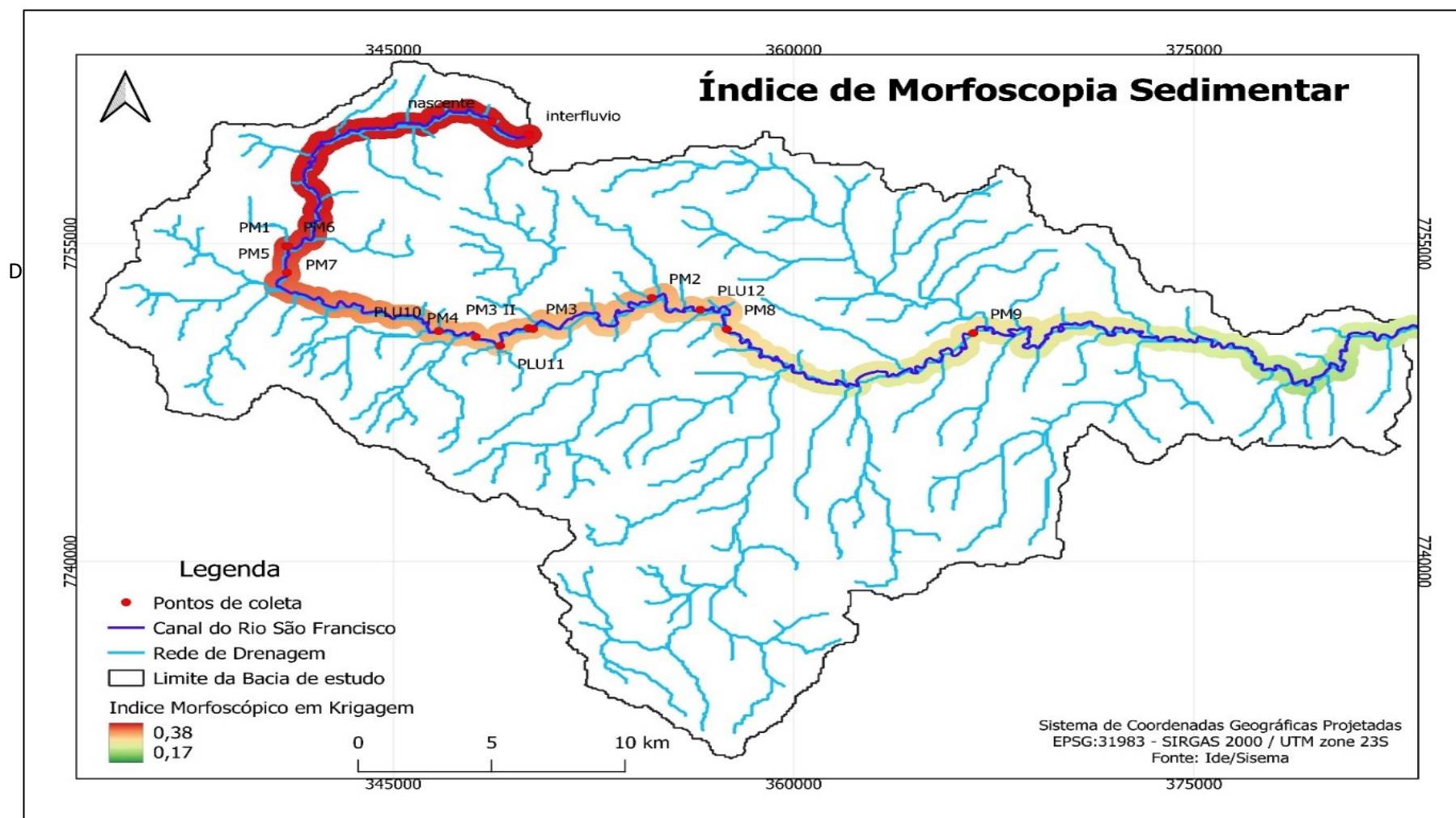
Interfluvio parte alta		Nascente parte baixa		Amostra PM1		Amostra PM2	
medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia
Quartzo	11	Quartzo	10	Quartzo	19	Quartzo	15
Laterita	7	Laterita	7	Laterita	1	Laterita	5
Mica	0	Mica	0	Mica	0	Mica	0
Conglomerado	2	Conglomerado	3	Conglomerado	0	Conglomerado	0
Amostra PM3		Amostra PM3 II		Amostra PM4		Amostra PM5	
medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia
Quartzo	8	Quartzo	12	Quartzo	16	Quartzo	17
Laterita	6	Laterita	4	Laterita	2	Laterita	1
Mica	6	Mica	1	Mica	0	Mica	0
Conglomerado	0	Conglomerado	3	Conglomerado	2	Conglomerado	2
Amostra PM6		Amostra PM7		Amostra PM8		Amostra PM9	
medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia
Quartzo	7	Quartzo	14	Quartzo	13	Quartzo	18
Laterita	8	Laterita	2	Laterita	3	Laterita	1
Mica	0	Mica	0	Mica	0	Mica	0
Conglomerado	5	Conglomerado	4	Conglomerado	4	Conglomerado	1
Amostra PLua 10		Amostra PLua 11		Amostra PLua 12			
medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia	medida 2mm	Litologia		
Quartzo	18	Quartzo	15	Quartzo	13		
Laterita	2	Laterita	4	Laterita	6		
Mica	0	Mica	0	Mica	1		
Conglomerado	0	Conglomerado	1	Conglomerado	0		

Fonte: Autora, 2024.

A proposta da realização do Índice de Morfoscopia sedimentar produzido no software QGIS, na figura logo a baixo, aponta que o processo natural de erosão realizado pelo transporte do canal possui uma coerencia com os postulados téóricos, onde o valor máximo 0,38 corresponde ao maior numero de sedimentos muito angulares que estão localizados na porção mais próximas a nascente e a mínima 0,17 aos sedimentos com baixa esfericidade ao final do trecho estudado.

Desta forma, quanto mais distante do material de origem menos angular o sedimento ficará, ou seja, da montante para jusante o grão transportado sofre erosão por atrito com outros grãos, por anomalias no canal tem a tendência de ficar perfeitamente esférico quando chega na foz.

Figura 25: Mapa do Índice de Morfoscopia sedimentar do canal fluvial do Rio São Francisco para uma melhor compreensão do processo natural de erosão causado pelo transporte do Rio São Francisco.



Fonte: Autora, 2024.

O principal motivo desta pesquisa é explicar o processo de erosão nos sedimentos (morfoescopia) encontrados no canal do rio São Francisco, iniciado na nascente histórica até sua confluência com o rio Samburá a partir da criação da modelagem linear do Índice Morfoescópico, onde basicamente, utiliza-se de uma variável preditora (arredondamento e esfericidade) e uma variável de resposta (baixa erosão dos sedimentos).

A partir da análise feita em laboratório do processo de observação e contagem de grãos coletados dentro e entorno do Parque da Serra da canastra, fica evidenciado geologicamente nos resultados obtido e exemplificado nas tabelas e mapas que faz influência das unidades Morfoestruturais do Cráton São Francisco por possuir sedimentos como o metacalcário, metaconglomerado, metapelito, muscovita fílitico, quartzito, entre outros.

Concluindo que a conjugação das variáveis que surgiram a partir da análise morfoescópica na área de estudo pode trazer uma resposta mais aproximada da realidade do Rio São Francisco e, neste contexto o índice morfoescópico apresentou resultados condizentes e com verossimilhança ao que foi analisado.

Os tipos de materiais sedimentares encontrados serão exemplificados com fotos partindo do seu ponto de coleta no mapa de litologia logo a seguir na figura 26. Esses materiais pouco erodidos e classificados com arredondamento de muito angular a angular são majoritariamente: quartzos, quartzitos, quartzitos micáceo, fílitico, clorita e, metacalcário. Totalizando um percentual de 55% da amostra de sedimentos muito angulares, com classificação de arredondamento de aspectos pouco selecionados, isto é, sedimentos que fizeram um curto percurso. Para os materiais angulares representam 5%, materiais subangulares 25%, sedimentos arredondados têm 10% e muito arredondados contém 5% de todo material analisado.

Ao que diz respeito à classificação de sedimentos esféricos (o quão circular é uma partícula), estão expostos nas fotos do mapa abaixo, como materiais do tipo laterita, colúvio, metaconglomerado, metapelito e conglomerado laterítico. Esses materiais esféricos são representados de forma minoritária, totalizando 85% de materiais com baixa esfericidade, 10% com alta esfericidade e 5% com média esfericidade. Isto posto, os materiais muito selecionados que são os sedimentos que percorreram por mais tempo e foram erodidos tem de alta esfericidade a esfericidade média.

Figura 26: Mapa litológico com imagens de sedimentos analisados.

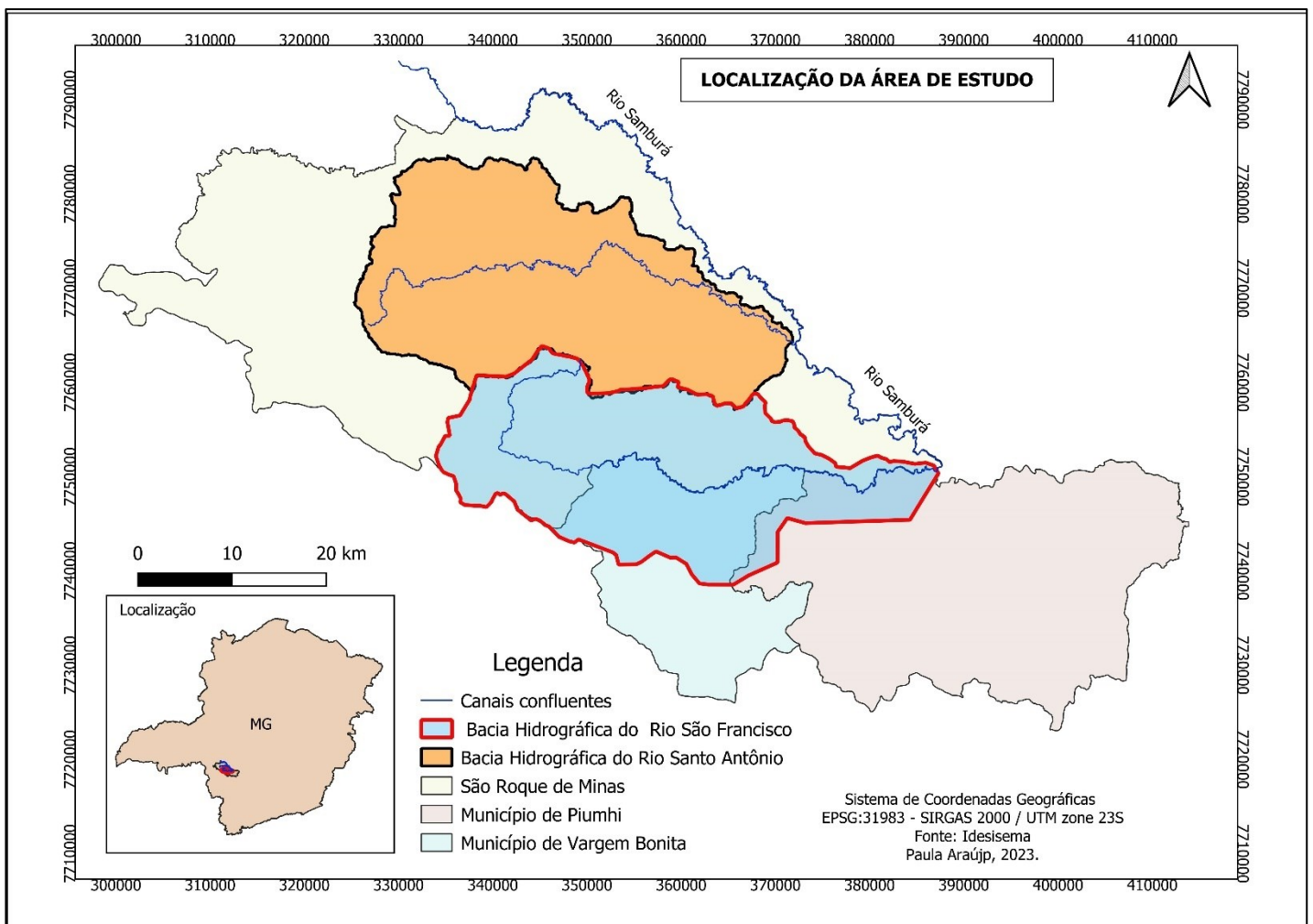


Fonte: Autora, 2024.

A figura logo abaixo corresponde ao mapa de comparação das duas bacias a primeira toda em laranja é a bacia do Rio Santo Antonio, afluente do Rio Samburá, e a segunda em cor azul é a bacia do Rio São Francisco, area estudada nesta pesquisa.

A comparação se faz necessária por haver alguns sedimentos iguais em ambas, como o quartzito, conglomerados lateríticos e laterita. Esses materiais possuem a morfoscopia sedimentar do tipo esfericidade baixa, arredondamento do muito angular para o angular e os tipos de materiais

Figura 27: Mapa de comparação das duas bacias hidrográficas do Rio São Francisco e Rio Santo Antônio.



Fonte: Autora, 2024.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A criação do Índice de Morfoscopia aparentemente serve como instrumento para avaliar a dinâmica dos sedimentos ao longo do canal. Considerando que conforme o processo erosivo vai acontecendo em detrimento de grãos batendo em outros grãos, o sedimento vai se tornando fração de um todo, isto é, o que tem forma muito angular se deteriora até virar um sedimento muito arredondado indicando que se torne um grão com alta esfericidade, o que entra em concordância com a proposta do Índice Morfoscópio apresentado neste trabalho.

É válido ressaltar que a composição das rochas presente na área de pesquisa deriva de sedimentações plataformais ou marinhas tais como os depósitos fluviais de um período remoto estimado a 1.040 Ma, são de papel fundamental para influência nos resultados. As unidades Morfoestruturais do Cráton São Francisco possuem rochas predominantes do tipo: metacalcário, metaconglomerado, metapelito, filito, quartzito, entre outras variedades segundo o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que influenciam nos resultados desta pesquisa, assim como ações antrópicas como construções de rodovias, e imóveis. No mais, é preciso estudar mais a fundo para se chegar a conclusões precisas.

Em contrapartida, para uma comparação de mesma técnica de análise em bacias diferentes, na proposta da pesquisa de Araújo (2022) para entender a distribuição e a caracterização dos sedimentos selecionados na Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio de mesmo interflúvio, localizada no Parque Nacional da Serra da Canastra, foram avaliados a esfericidade e, arredondamento de um total de 7.650 grãos,

A partir das análises realizadas pela autora utilizando o método morfoscopia sedimentar foi alcançado resultados semelhantes à Bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Os resultados apontam para um maior número de sedimentos com esfericidade baixa, arredondamento do tipo muito angular a angular, com prevalência material de aspecto geológico do tipo quartzo, laterita e mica.

Por fim, conclui-se que para toda a Bacia do Rio Santo Antônio, maior parte dos sedimentos analisados tem esfericidade baixa, arredondamento do tipo muito angular para o angular e os tipos de materiais mais encontrados são Quartzos, Mica, Laterita e Conglomerados lateríticos. Igualmente encontrado na Bacia do Rio São Francisco.

REFERÊNCIAS

ABREU, Marisa Ribeiro Moura de et al. Morfoscopia e Transporte Sedimentar da Linha de Costa da Planície Costeira de Aquiraz, Ceará, Brasil. *Geologia*, v. 29, n. 1, 2016.

AB'SÁBER, Aziz Nacib. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Ateliê editorial, 2003.

ARAÚJO, Marina Silva et al. Evolução dos canais fluviais: morfometria e sedimentologia na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Serra da Canastra–MG. 2017. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2017.55>

ARAÚJO, Marina Silva; DE OLIVEIRA MARUSCHI, Vinícius. Aspectos metodológicos e operacionais em morfometria fluvial, a partir do Geoprocessamento. *Caderno de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 19-35, 2020. <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2020v30nesp1p19-35>

ARAÚJO, Paula Meirilane Soares de; RODRIGUES, Silvio Carlos. Avaliação morfoscópica de sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio – Serra da Canastra (MG). <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36083>, 2022. <https://orcid.org/0000-0002-5041-9980>

ARAÚJO, Paula Meirilane Soares de; RODRIGUES, Silvio Carlos. Avaliação morfoscópica de sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio – Serra da Canastra (MG) 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36083>

ARAÚJO, Paula Meirilane Soares de; RODRIGUES, Silvio Carlos. Avaliação morfoscópica de sedimentos do Rio Santo Antônio no Parque Nacional da Serra da Canastra / MG e entorno. In: José Falcão Sobrinho; Emaunel Lindemberg Silva Albuquerque. (ORG). Estudos ambientais no contexto geográfico. 1ed. Fortaleza: Observatório do Semi-Árido, 2022b, v. 1, p 198-208.

ARAÚJO, Paula Meirilane Soares de; RODRIGUES, Silvio Carlos. Morphoscopic evaluation of santo antônio river sediments in serra da canastra national park - mg and surroundings. *International Journal Semiarid*, v. 5, p. 313-323, 2022a.

BARRELLA, Walter; JUNIOR, Miguel Petrere; SMITH, Welber Senteio; MONTAG, Luciano Fogaça de Assis. As relações entre as Matas Ciliares e os Rios e os Peixes. In book: Matas ciliares: Conservação e recuperação, EDUSP, ed. 1, p. 87- 207, 2000.

BASTOS, Frederico de Holanda; MAIA, Rubson Pinheiro; CORDEIRO, Abner Monteiro Nunes. Geografia: Geomorfologia. 1. ed. Ceará: UECE, 2019. 138 p. ISBN 978-85-7826-527-4.

BAYER, Maximiliano; ZANCOPÉ, Márcio Henrique de Campos. Ambientes sedimentares da planície aluvial do rio araguaia. Revista brasileira de geomorfologia, [s. L.], v. 15, ed. 2, 2014.

BLASCHKE, Stefan Lang Thomas. SIG como ferramenta para a análise da paisagem. In: Análise da Paisagem com SIG. São Paulo: Oficinas de textos, 2009.

BRASIL, Serviço Geológico do. Carta Geológica 1:100. Serviço Geológico do Brasil - CPRM GeoSGB, Disponível em: <https://geoportal.sgb.gov.br/geosgb/>. Acesso em: 18 out. 2023.

CANASTRA, Parque Nacional Serra da. ICMBIO-SISVA. Disponível em: <https://sisva.sisicmbio.icmbio.gov.br/publico/unidade/3388/4/atrativos>. Acesso em: 11 jul. 2024.

CAVALCANTE, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez da; DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 468 p. ISBN 978-85-86238-92-5.

CHORLEY, Richard J.; HAGGETT, Peter. Modelos integrados em Geografia. 1. ed. Rio de Janeiro: Universidade de São Paulo, 1974. v. 2.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. Geomorfologia. Editora Blucher, 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial, São Paulo. Editora Edgard Blücher, 1981.

CRISTOFOLLETTI, Antônio. Modelagem de Sistemas Ambientais. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 233 p. ISBN 85-212-0177-X.

DIAS, João A. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Universidade do Algarve. E-Books, 2004.

DIAS, Wolliver Anderson. Dinâmica erosiva em margens de canal fluvial. 2012. 102 p. Dissertação (Gestão do Território) - Pós-graduação, Ponta Grossa, 2012.

FERREIRA, Gustavo Henrique Cepolini; SILVA, Lucas Augusto Pereira da. Uso e Ocupação da Terra no Parque Nacional da Serra da Canastra: uma Análise a Partir da Regularização Fundiária. Departamento de Geografia: Revista USP, São Paulo, v. 37, p. 1 - 14, 2019.

FONTES, Aracy Losano. Geomorfologia fluvial e hidrografia. São Cristóvão, 2010.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 11 - 317 p. v. 1. ISBN 978-85-86238-65-9.

GEORGE, Pierre. Os campos e os problemas da pesquisa geográfica. *In.*: Os métodos da Geografia. São Paulo: Difusão Europeia do Livro, 1972.

HACK, John T. Studies of Longitudinal Stream Profiles in Virginia and Maryland. UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, , Washington, p. 1 - 59, 1957.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais; AMBIENTAIS, Estudos. Manual técnico de geomorfologia. 2009.

IBGE, Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico inventário das formações florestais e campestres técnicas e manejo de coleções botânicas procedimentos para mapeamentos. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2012. 271 p. ISSN 0103-9598.

INSTITUTO, Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - icmbio: PLANO DE MANEJO. Parque Nacional Serra da Canastra, 2023.

MATHIAS, Dener Toledo; LUPINACCI, Cenira Maria; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. Identificação dos fluxos de escoamento superficial em área de relevo tecnogênico a partir do uso de modelos hidrológicos em SIG. Sociedade & Natureza, v. 32, p. 772-783, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-49431>.

MENDES, Josué Camargo. Elementos de estratigrafia. 1992.

MORAIS, Eduardo Souza de; UEMA, Diogo Yukio; MONTANHER, Otávio Cristiano. Álgebra de mapas em publicações da Revista Brasileira de Geomorfologia: período entre 2001 e 2020. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 23, n. 2, p. 1501-1511, 2022. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i2.2196>.

MONTEIRO, D.C.S.; SOUZA, J. O. P. Perfil longitudinal e aplicação do Índice de Gradiente na Bacia Riacho do Tigre, Semiárido Paraibano. XI SINAGEO, Maringá, 2016.

MONTANHER, Otávio Cristiano; MORAIS, Eduardo Souza de. Análise da declividade de canais fluviais com uso de cálculo diferencial. Departamento de geografia, grupo de estudos multidisciplinares do ambiente, universidade estadual de maringá, Paraná, v. 22, ed. 1, p. 1 - 14, 2021.

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins et al. O Chapadão do Diamante na Serra da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes. 2018. <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.608>.

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins; RODRIGUES, Silvio Carlos. Relevo do Chapadão do Diamante, Serra da Canastra/MG, Brasil: compartimentação e análise a partir dos aspectos geomorfométricos. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 20, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v20i1.1300>.

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins; RODRIGUES, Silvio Carlos. Análise comparativa de geocoberturas em três vertentes no Chapadão do Diamante, Serra da Canastra-MG, Brasil. Caderno de Geografia, [s. l.], v. 30, n. 1 - 18, ed. Número Especial, 2020.

NAZAR, Thallita Isabela Silva Martins; RODRIGUES, Silvio Carlos. Mapeamento e análise de geocoberturas no chapadão do diamante – mg - brasil. Caderno de Geografia, [s. l.], v. 30, ed. Número Especial 1, p. 1 -18, 2020.

NOVAIS, Giuliano Tostes. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO/ALTO PARANAÍBA E DO ENTORNO DA SERRA DA CANASTRA (MG). Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, p. 1 - 189, 2011. <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/16101/1/CaracterizacaoClimaticaMesorregiao.pdf>.

OLIVEIRA, Leandro & PAISANI, Júlio César. Constituintes e morfoscoopia de sedimentos de Paleocanal Comaltado de Palmas (PR) /Água Doce (SC)- Sul Do Brasil. In.: 9º SINAGEO-Simpósio Nacional de Geomorfologia, Rio de Janeiro, 2012.

PEREIRA, Gustavo William; VALENTE, Domingos Sárvio Magalhães; COELHO, André Luiz de freitas; HURTADO, Sandro Manuel Carmelino; COSTA, Marcelo Marques. Repositório de plugins QGIS Python: Mapa Inteligente. In: ARAÚJO, Paula Meirilane Soares

de. Smart- Map. [S. l.], 21 ago. 2024. Disponível em: https://plugins.qgis.org/plugins/Smart_Map/#plugin-about. Acesso em: 21 ago. 2024.

PENTEADO, Margarida Maria. Fundamentos de geomorfologia. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria Técnica, 1974.

PORTO, Monica F. a.; PORTO, Rubem La Laina. Gestão de bacias hidrográficas. Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 22, ed. 63, p. 43 - 60, 2008.

POWERS, Maurice Cary. A new roundness scale for sedimentary particles. *Journal of Sedimentary Research*, v. 23, n. 2, p. 117-119, 1953.

QUINAMO, L. A. et al. Estudos granulométricos e morfooscópicos dos sedimentos do estirâncio médio e aspectos ambientais da praia da Boa Viagem. Recife-PE. Programa de Pós-graduação em Geociências e Geologia, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, v. 23, 2013.

RODRIGUES, Silvio Carlos; BARCELOS, Anna Carolina; SILVA, Kamila Cristina; SILVA, Giliander Alan. Tutorial Análise de Canal Fluvial - Índice de Hack: Relatório Técnico, 2016. DOI: [10.13140/RG.2.2.23347.43046](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23347.43046).

ROMERO, Rosana; NAKAJIMA, Jimi Naoki. Espécies endêmicas do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais. *Revista Brasil. Bot.*, São Paulo, v. 22, ed. 2, p. 259- 265, 1999.

SALES, Cristiano Geraldo de. Peneiramento industrial: metodologia para dimensionamento e simulação. Orientador: Prof. Roberto Galéry. 2020. 243 p. Tese (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas) - Pós-graduação, Belo Horizonte, 2020.

SALIS, Hugo Henrique Cardoso de, et al. Conversão do modelo digital de superfície (MDS) a modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas–MG. *Revista brasileira de geografia física*, 2018. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.3.p1127-1136>.

SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira; AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 15, n. 1, 2014. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>.

SILVA, Giliander Allan da et al. Dinâmica hidrogeomorfológica e cenários sazonais em nascentes do rio São Francisco, na Serra da Canastra, Minas Gerais.

2019. <http://orcid.org/0000-0002-8953-0096>.

SOUZA, Dhulia Alves de; RODRIGUES, Silvio Carlos. Aspectos morfoestruturais e morfoesculturais da Serra da Canastra e entorno (MG). Revista do Departamento de Geografia, v. 27, p. 47-66, 2014. <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.472>.

SUGUIO, Kenitiro. Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica. 1980.

SMART-MAP. In: WILLIAM, Gustavo. Software e Tecnologia da Informação: Smart-Map. Disponível em: https://fapemig.br/pt/vitrine_tecnologica/437/#:~:text=As%20funcionalidades%20do%20plug in%20s%C3%A3o,por%20t%C3%A9cnica%20de%20an%C3%A1lise%20de. Acesso em: 20 ago. 2024.

STEVANUX, Jose Cândido; LATRUBESSE, Edgardp Manuel. Oficina de Textos. 1. ed. São Paulo: [s. n.], 2017. v. 3. ISBN 978-85-7975-276-6.

TEODORO, Valter Luiz Lost; TEIXEIRA, Denilson; COSTA, Daniel Jadyr Leite; FULLER, Beatriz Buda. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométricas para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista UNIARA, ed. 20, p. 136 - 157, 2007.

WENTWORTH, C. K. An analysis of the shapes of glacial cobbles: Jour. Sed. 1936.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo Krigagem ordinária. A incerteza na estimativa por Krigagem ordinária. Disponível em: <https://linkedin.com/pulse/incerteza-na-estimativa-por-krigagem-ordin%C3%A1ria-jorge-kazuo-yamamoto/>. Acesso em: 12 ago. 2024.

ZANCOPÉ, Márcio Henrique de Campos; GONÇALVES, Paulo Eduardo; BAYER, Maximiliano. Potencial de transferência de sedimentos e suscetibilidade a assoreamentos da rede hidrográfica do alto rio araguaia. Goia. Geogr. Online, Goiânia, v. 35, ed. 1, p. 115 - 132, 2015.