

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

Marinéli Moraes Gaberti

**ANÁLISE DOS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA FORMAÇÃO DE  
VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO CIPÓ-RS**

Santa Maria, RS

2022

**Marinéli Moraes Gaberti**

**ANÁLISE DOS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA FORMAÇÃO DE  
VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO CIPÓ-RS**

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

Orientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Santa Maria, RS

2022

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Gaberti, Marinéli Moraes  
ANÁLISE DOS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA FORMAÇÃO DE  
VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO CIPÓ-RS / Marinéli  
Moraes Gaberti.- 2022.  
97 f.; 30 cm

Orientador: Luis Eduardo de Souza Robaina  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de  
Pós-Graduação em Geografia, RS, 2022

1. Condicionantes Ambientais 2. Voçorocas I. de  
Souza Robaina, Luis Eduardo II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, MARINÉLI MORAES GABERTI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Marinéli Moraes Gaberti**

**ANÁLISE DOS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA FORMAÇÃO DE  
VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO CIPÓ-RS**

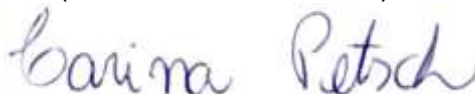
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para a obtenção do título **de Mestre em Geografia**.

Aprovado em 04 de março de 2022:



---

**Luís Eduardo de Souza Robaina, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Carina Petsch, Dra. (UFSM)**



---

**Sandro Sidnei Vargas de Cristo, Dr. (UFT)**

Santa Maria, RS

2022

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria, por proporcionar ensino público de qualidade.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), que está possibilitando a realização do presente estudo.

Ao Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina, pela orientação, disponibilidade de horários e opiniões críticas que foram essenciais para soluções de dúvidas e problemas.

Ao Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo, por aceitar fazer parte da banca e pelas contribuições construtivas.

A Prof. Dra. Carina Petsch, por aceitar fazer parte da banca e pelas contribuições construtivas.

Ao Prof. Dr. Romario Trentin pela ajuda nos problemas enfrentados com os softwares com o mapeamento digital e por aceitar fazer parte da banca.

A minha Mãe Frida Gaberti por sempre ter me apoiar em minhas escolhas, por não medir esforços para me dar de tudo na vida, me ajudar a seguir meu caminho e nunca desistir dos meus sonhos, por ter me dado a vida e quase ter perdido a sua por mim, por sempre ter cuidado de mim e me protegido de tudo. Obrigada por tudo, eu te amo para todo o sempre.

*In memoriam* de meu pai Léo Silvino Santos Gaberti, e ao meu Irmão Jocemir Moraes Gaberti, por estarem ao meu lado vibrando com cada conquista minha, por me ouvirem quando chegava em casa e insistiam em falar tudo o que tinha aprendido na aula.

Ao meu amado Éder Soares Balbuena, a pessoa que trilho meu caminho desde fevereiro de 2017. Obrigada por me apoiar em minhas decisões e me incentivar a nunca desistir, pelo carinho e amizade, por compreender meus desesperos e inquietações. *In memoriam* a minha querida amiga Marizete Palhano Chaves, pelo apoio, incentivo, amizade.

E aos demais colegas de laboratório que, de uma forma ou de outra, me apoiaram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

### **ANÁLISE DOS CONDICIONANTES AMBIENTAIS NA FORMAÇÃO DE VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE CAPÃO DO CIPÓ-RS**

AUTORA: Marinéli Moraes Gaberti  
ORIENTADOR: Luís Eduardo de Souza Robaina

Ao longo do tempo, a erosão vem causando consideráveis prejuízos para a sociedade através da perda de solo fértil e do assoreamento dos cursos d'água. A importância para a realização do presente trabalho é dada pela identificação de vários processos erosivos lineares profundos no município de Capão do Cipó/RS, mesmo estando localizado em área do Planalto da Serra Geral. Nesse contexto, o entendimento da gênese natural/antrópica e da ocupação dos espaços, por vezes inadequadamente e causando graves consequências ao ambiente, impõe a necessidade de estudos ambientais. Assim, o objetivo geral do presente trabalho é identificar e analisar os condicionantes ambientais mais propensos na formação de voçorocas no município de Capão do Cipó-RS. Para entendimento do problema desenvolveu-se trabalhos de levantamento das características do relevo, litologias, solos e uso e ocupação da terra. Nesta pesquisa utilizou-se uma abordagem sistêmica visando o estudo da erosão, tendo em vista seu amplo histórico de utilização para as análises ambientais, com apoio de ferramentas de geoprocessamento. Esse trabalho permitiu identificar 33 voçorocas, analisar as principais formas das voçorocas, suas relações com a rede de drenagem, e atributos do relevo, sendo possível entender os fatores controladores do desenvolvimento dos processos, podendo apoiar propostas de planejamento e gestão.

**Palavras-chave:** Levantamento. Voçorocas. Planejamento.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FACTORS IN THE FORMATION OF GULLIES IN THE MUNICIPALITY OF CAPÃO DO CIPÓ-RS**

AUTHOR: Marinéli Moraes Gaberti

ADVISOR: Luís Eduardo de Souza Robaina

Over time, erosion has caused considerable damage to society through the loss of fertile soil and the silting up of waterways. The importance of this work is due to the identification of several deep linear erosion processes in the municipality of Capão do Cipó/RS, even though it is located on the Serra Geral plateau. In this context, the understanding of the natural/anthropic genesis and the occupation of spaces, sometimes inadequately and causing serious consequences to the environment, imposes the need for environmental studies. Thus, the general objective of this work is to identify and analyze the environmental conditions more prone to the formation of gullies in the municipality of Capão do Cipós-RS. To understand the problem, a survey of the characteristics of the relief, lithology, soils and land use and occupation was carried out. In this research a systemic approach was used aiming at the study of erosion, in view of its broad history of use for environmental analysis, with the support of geoprocessing tools. This work allowed us to identify 33 gullies, to analyze the main forms of the gullies, their relationship with the drainage network, and attributes of the relief, making it possible to understand the controlling factors of the development of the processes, and to support planning and management proposals.

Keywords: Survey.Gullies. Planning.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Mapa de localização do município de Capão do Cipó .....  | 17 |
| Figura 2 - Desenho esquemático representando a influência do tamanho das partículas de solo na erosão por salpicamento. ....                                | 21 |
| Figura 3 - Piping como processos geomorfológicos complexos, resultante de ação conjunta da erosão hídrica de movimento de massa .....                       | 24 |
| Figura 6 - Formas de voçorocas.....   | 28 |
| Figura 5 - Classificação das voçorocas quanto sua relação com a rede de drenagem .....  | 29 |
| Figura 6 - Sobreposição de camadas em um plano de informação .....  | 39 |
| Figura 7 - Proposta metodológica adotada na pesquisa .....  | 42 |
| Figura 8 - Distribuição da frequência das classes hipsométricas .....   | 47 |
| Figura 9 - Representação dos perfis e planos de curvatura das vertentes, e direção do fluxo superficial no perfil de curvatura e no plano de curvatura..... | 49 |
| Figura 10 - Trajetos e pontos coletados em campo .....  | 53 |
| Figura 11 - Erosividade anual das chuvas de capão do cipó, determinada pelo índice $ei_{30}$ , no período de 2010 a 2021.....                               | 55 |
| Figura 12 - Erosividade média mensal .....  | 56 |
| Figura 13 - Distribuição das sub-bacias hidrográfica no município de Capão do Cipó/rs.....  | 59 |
| Figura 14 - Hipsometria de Capão do Cipó .....  | 60 |
| Figura 15 - Declividade de Capão do Cipó.....   | 62 |
| Figura 16 - Curvatura das vertentes em plano e perfil .....   | 63 |
| Figura 17 - Porcentagem de ocorrência dos elementos do relevo no município de Capão do Cipó. ....   | 64 |
| Figura 18 - Elementos do relevo .....   | 65 |
| Figura 19 - Formas de relevo município de Capão do Cipó/rs .....  | 66 |
| Figura 20 - Litologia do município de Capão do Cipó.....  | 67 |
| Figura 21 Solos do município Capão do Cipó .....  | 69 |
| Figura 22 - Uso da terra do município de capão do Cipó/RS .....   | 70 |
| Figura 23 - Localização das voçorocas .....   | 71 |
| Figura 24 - Localização das voçorocas .....   | 72 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 25 - Voçorocas irregulares .....                                 | 73 |
| Figura 26 - Voçorocas ramificadas .....                                 | 74 |
| Figura 27 - Voçorocas bifurcadas.....                                   | 75 |
| Figura 28 - Voçoroca retangular .....                                   | 76 |
| Figura 29 - Voçoroca linear .....                                       | 77 |
| Figura 30 - Voçorocas conectadas .....                                  | 78 |
| Figura 31 - Voçorocas desconectadas .....                               | 79 |
| Figura 32 - Voçorocas integradas .....                                  | 80 |
| Figura 33 - Relação das voçorocas com a hidrografia .....               | 81 |
| Figura 34 - Relação das voçorocas com a hipsometria.....                | 82 |
| Figura 35 - Relação das voçorocas quanto a declividade .....            | 83 |
| Figura 36 - Relação das voçorocas quanto a curvatura das vertentes..... | 84 |
| Figura 37 - Relação das voçorocas com os elementos do relevo .....      | 85 |
| Figura 38 - Relação das voçorocas com as formas do relevo.....          | 85 |
| Figura 39 - Relação das voçorocas com a litologia .....                 | 86 |
| Figura 40 - Relação das voçorocas com os solos .....                    | 87 |
| Figura 41 - Relação das voçorocas com os solos .....                    | 88 |

## LISTA DE SIGLAS

|          |   |
|----------|---|
| ARS      | Serviço de Pesquisa Agrícola                                  |
| ARP      | Aeronave Remotamente Pilotadas                                |
| CAPES    | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior   |
| CNPQ     | Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico |
| DAER     | Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens                  |
| EUPS     | <i>Universal Soil Loss Equation</i>                           |
| LAGEOLAM | Laboratório de Geologia Ambiental                             |
| MDE      | Modelo Digital de Elevação                                    |
| PPGGEO.  | Programa de Pós Graduação em Geografia                        |
| PI's     | Planos de Informação  |
| SIG      | Sistemas de Informação Geográfica SIG                         |
| SRTM     | <i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>                      |
| UFSM     | Universidade Federal de Santa Maria                           |
| USDA     | Departamento de Agricultura dos Estados Unidos                |
| USGS     | Serviço geológico dos Estados Unido                           |

## SUMÁRIO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO</b> .....   | 13 |
| 1.1          | OBJETIVO GERAL .....  | 15 |
| <b>1.2.2</b> | <b>Objetivos Específicos</b> .....  | 15 |
| 1.2          | ÁREA DE ESTUDO .....  | 16 |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | 19 |
| 2.1          | EROSÃO: CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....  | 19 |
| 2.2.         | MECANISMOS ENVOLVIDOS NOS PROCESSOS EROSIVOS.....                             | 20 |
| <b>2.2.1</b> | <b>Salpicamento (“Efeito <i>Splash</i>” ou “<i>Splash Erosion</i>”)</b> ..... | 20 |
| <b>2.2.2</b> | <b>Erosão Laminar (“<i>Sheet Erosion</i>”)</b> .....                          | 21 |
| <b>2.2.3</b> | <b>Erosão em Sulcos (“<i>Rill Erosion</i>”)</b> .....                         | 22 |
| <b>4.2.4</b> | <b>Erosão Interna (“<i>Piping</i>”)</b> .....                                 | 23 |
| <b>4.2.5</b> | <b>Voçorocas (“<i>Gully Erosion</i>”)</b> .....                               | 25 |
| 4.3          | FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS .....                           | 29 |
| <b>4.3.1</b> | <b>Fator Precipitação</b> .....   | 30 |
| <b>4.3.2</b> | <b>Fator Substrato Litológico</b> .....                                       | 31 |
| <b>4.3.3</b> | <b>Fator Pedológico</b> .....   | 31 |
| <b>4.3.4</b> | <b>Fator Relevo</b> .....   | 32 |
| <b>4.3.5</b> | <b>Fator Uso e Ocupação da Terra</b> .....                                    | 34 |
| <b>3</b>     | <b>METODOLOGIA</b> .....  | 41 |
| 3.1          | CLIMA .....   | 43 |
| 3.2          | ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA .....  | 43 |
| 3.3          | HIPSOMETRIA .....   | 46 |
| 3.4          | DECLIVIDADE .....   | 47 |
| 3.5          | CURVATURA DAS VERTENTES .....   | 47 |
| 3.6          | ELEMENTOS DO RELEVO .....   | 49 |
| 3.7          | FORMAS DO RELEVO.....   | 49 |
| 3.8          | LITOLOGIA.....  | 50 |
| 3.9          | SOLO .....  | 50 |
| 3.10         | USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....  | 51 |
| 3.11         | IDENTIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS .....   | 51 |
| 3.12         | RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS AMBIENTAIS E OS PROCESSOS DE VOÇOROCAS.....        | 52 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.13     | TRABALHOS DE CAMPO.....  | 52        |
| 3.2.14   | CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS DE ACORDO COM OS TIPOS E FORMAS.....                       | 53        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS.....</b>   | <b>54</b> |
| 4.1      | EROSIVIDADE DAS CHUVAS QUE OCORREM NO MUNICÍPIO.....                                   | 54        |
| 4.2      | ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA .....   | 56        |
| 4.3      | HIPSOMETRIA.....   | 59        |
| 4.4      | DECLIVIDADE.....   | 60        |
| 4.5      | CURVATURA DAS VERTENTES EM PLANO E PERFIL.....   | 62        |
| 4.6      | ELEMENTOS DO RELEVO.....   | 64        |
| 4.7      | FORMAS DE RELEVO.....  | 65        |
| 4.9      | SOLOS.....   | 68        |
| 4.10     | USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....   | 69        |
| 4.11     | IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS VOÇOROCAS.....   | 71        |
| <b>5</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS PELAS FORMAS.....</b>                                   | <b>73</b> |
| <b>6</b> | <b>CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO SUA RELAÇÃO COM A REDE DE DRENAGEM.....</b>      | <b>78</b> |
| <b>7</b> | <b>RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE ACORDO COM CADA PARÂMETRO ANALISADO .....</b> | <b>81</b> |
| 7.1      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM A HIDROGRAFIA.....   | 81        |
| 7.2      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM A HIPSOMETRIA.....   | 82        |
| 7.3      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO A DECLIVIDADE.....  | 82        |
| 7.4      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO A CURVATURA DAS VERTENTES.....                            | 83        |
| 7.5      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM ELEMENTOS E FORMAS DO RELEVO.....                            | 84        |
| 7.6      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM LITOLOGIA E SOLOS  | 86        |
| 7.7      | RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM USO E OCUPAÇÃO DA TERRA                                      | 87        |
| <b>8</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>89</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>90</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A erosão vem gerando, ao longo do tempo, grandes prejuízos para a sociedade através da perda de solo fértil e do assoreamento dos cursos d'água, da contaminação das águas superficiais e subterrâneas com fertilizantes e agrotóxicos utilizados nas lavouras, da redução das áreas disponíveis para cultivo (VIERO, 2004). Conforme Lal, (1994) a erosão acelerada é considerada um problema; vastas áreas estão sujeitas à degradação do solo, às vezes irreversivelmente, por uma série de processos como erosão e desertificação acelerada, compactação e selamento, salinização, acidificação, diminuição da matéria orgânica e da fertilidade do solo e redução da biodiversidade.

A preocupação com a degradação dos solos ganha destaque por estar diretamente relacionada com os processos produtivos e desenvolvimento socioeconômicos das populações. Historicamente os municípios do Rio Grande do Sul, especialmente os do oeste do estado, tem seu desenvolvimento econômico baseado no uso intensivo da terra, transformando e potencializando a degradação do meio ambiente. O setor agropecuário é o responsável pela produção de grande parte de alimentos e de fibras, porém, considerando o sistema adotado, pode levar a uma série de efeitos indesejáveis no sistema produtivo.

A erosão está presente na pecuária, pois a prática, a substituição da cobertura vegetal pelas pastagens implantadas e pisoteio do gado geram compactação do solo pelo deslocamento dos rebanhos. Esse solo compactado dificulta a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial, podendo gerar erosões.

A problemática da pesquisa abrange as questões de erosão linear profunda, denominada voçorocas. O presente estudo visa identificar os locais mais suscetíveis, uma vez que as áreas de grande ocorrência de processos erosivos se expandiram junto com os processos de ocupação humana (NARDIN, 2009).

O surgimento de feições erosivas e de voçorocas depende das variações das taxas de erosão, estando ligadas à ação de fatores controladores, como os processos hidrológicos, as propriedades físicas dos solos, a erosividade, as características das encostas, a cobertura vegetal e a intervenção antrópica (GUERRA, 1994).

O desenvolvimento das voçorocas ocorre a partir de variados processos definidos pela erosão superficial, subsuperficial e movimentos de massa (BACELLAR, 2006). Além disso, seu grau de desenvolvimento determina sua atividade; assim,

voçorocas com baixos níveis de vegetação e com encostas mais íngremes são classificadas como ativas. Fatores como a erosividade do agente (potencial de erosão da água) e a erodibilidade do solo (susceptibilidade à erosão do solo) contribuem para intensificar a erosão. Fatores antrópicos, como queimadas, desmatamento e manejo inadequado de plantações; fatores geológicos passivos e ativos; fatores pedológicos, fatores climáticos ativos e passivos e fatores geomorfológicos também são apontados por Bacellar (2006) como determinantes para o desenvolvimento e surgimento de áreas voçorocadas.

Alguns dos principais fatores controladores relatados em trabalhos sobre erosão por voçorocas podem ser destacados: a) características topográficas (gradiente da encosta e solos encrostados, encostas e área crítica de drenagem); b) solos e controles litológicos (solo / litologia / fatores geomorfológicos, encrostamento do solo, *piping*); c) uso da terra (mudanças atuais relativas ao uso da terra, abertura de estradas e ampliação de lotes urbanos, uso da terra no passado e mudanças climáticas); e d) mudanças climáticas (VALENTIN *et. al.* 2005).

A perda de sedimentos devido à precipitação é a principal causa para o surgimento e o conseqüente crescimento de uma voçoroca: quanto maior o volume de chuvas concentrado em uma área, maior a propensão ao surgimento desse tipo de erosão. Outro fator hidrológico importante é a taxa de infiltração do solo: regiões onde essa taxa é baixa são mais propensas ao escoamento superficial, causando o deslocamento de um grande volume de sedimentos e a lixiviação de massa, que poderá culminar na formação da voçoroca (CARDOSO; PIRES, 2009).

De acordo com Levien & Cogo (2001), a maior intensidade de preparo do solo está normalmente associada à redução de cobertura das encostas, rugosidade, porosidade e ao aumento do grau de pulverização da camada superficial, favorecendo a formação do selamento, crosta e compactação subsuperficial, concorrendo para aumentar os riscos de erosão.

A degradação ocasionada pela agricultura se intensificou na Revolução Verde pelo seu modelo de produção. Em um primeiro momento, o alto grau de industrialização trouxe o aumento da produção e da produtividade, principalmente nas *commodities* agrícolas, os produtos de exportação. O incremento no uso de insumos, da mecanização e da expansão de monocultivos nas maiorias dos cultivos agrícolas, levou à degradação de grandes superfícies (MARQUES *et.al.* 2003; TÔSTO, 2010).

Uma das causas da degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas, além do pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária. Com a utilização da agricultura mecanizada atualmente, são ocasionadas mudanças que criando cenários com diversos usos diversificados. Além disso, nessa região do Estado, são significativos processos de erosão acelerados por areais e voçorocas. Portanto deve-se evitar, neste sistema de manejo, o uso de máquinas pesadas e retirar os animais da área comum lavoura-pecuária quando o solo estiver com umidade acima da faixa de friabilidade (ALBUQUERQUE *et al.*, 2001).

Neste contexto, o entendimento da gênese natural/antrópica da fragilidade das paisagens e da ocupação dos espaços, por vezes de forma inadequada e causando graves consequências ao ambiente, impõe a necessidade de estudos ambientais na região.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Identificar e analisar os condicionantes ambientais mais propensos na formação de voçorocas no município de Capão do Cipós-RS.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Identificar os processos erosivos lineares profundos presentes no município, utilizando imagens de alta resolução;
- ✓ Levantar as características do relevo, clima e identificar os principais solos e rochas presentes no município;
- ✓ Analisar os condicionantes ambiente e processos erosivos utilizando como apoio de ferramentas de geoprocessamento.

A importância para a realização do presente trabalho é dada pela identificação de vários processos erosivos lineares profundos no município de Capão do Cipó/RS, mesmo estando localizado em área do Planalto da Serra Geral. Esse estudo é relevante também para entender os fatores controladores do desenvolvimento dos processos, definir áreas suscetíveis e apoiar propostas de planejamento e gestão.

Além disso, a linha de pesquisa desta pesquisa é desenvolvida pelo Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) o qual possui diversos estudos na região.

Por fim, espera-se que os dados desta pesquisa possam auxiliar no entendimento de processos erosivos não só na área desse estudo, mas também que possam auxiliar pesquisas futuras em outras regiões com características geológicas e geomorfológicas semelhantes. Dessa forma, pode-se aferir que há uma considerável modificação nas formas das vertentes através do intemperismo químico pela exposição do solo de agentes climáticos, assoreamento de drenagens pelo transporte e deposição de sedimentos e perdas econômicas em municípios com atividades agrícolas como Capão do Cipó/RS e tantos outros no país.

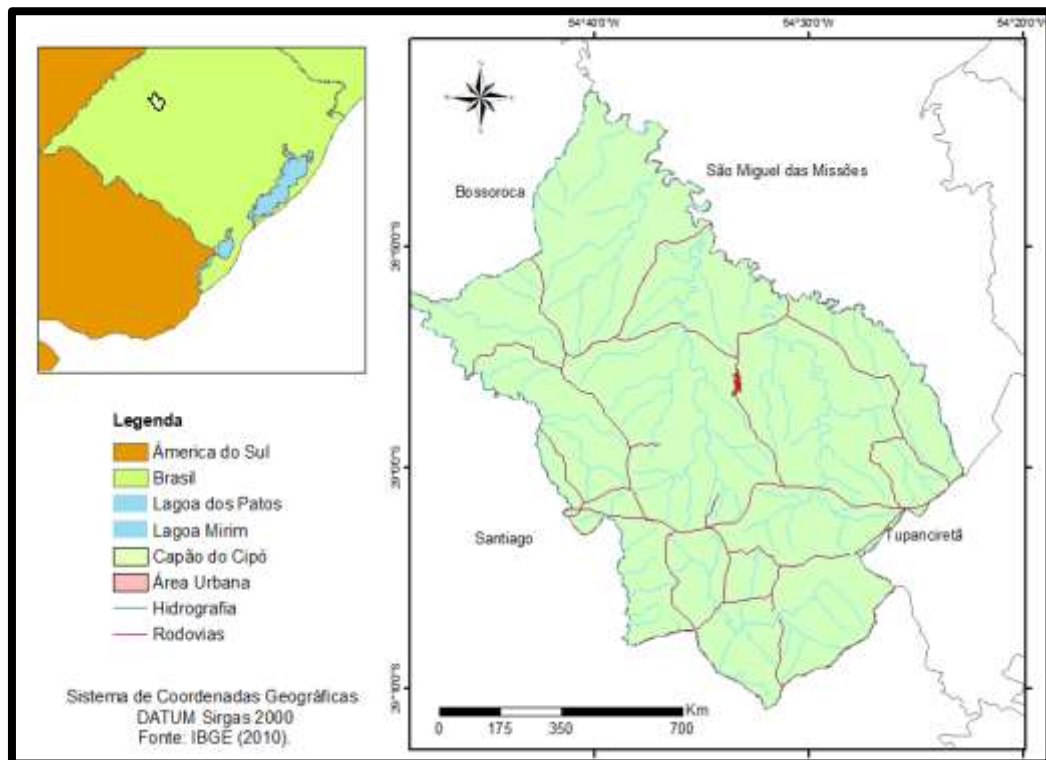
## 1.2 ÁREA DE ESTUDO

O município de Capão do Cipó está localizado aproximadamente a 496km da capital do Estado do Rio Grande do Sul, fazendo divisa com os seguintes municípios: Bossoroca (Noroeste), Santiago (Sul), São Miguel das Missões (Norte) e Tupanciretã (Sudeste).

A referida área situa-se na região Oeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas 28° 75' 00" e 29° 20' 00" de latitude Sul e 54° 42' 00" e 54° 78' 00" de longitude Oeste (figura 1).



Figura 1: Mapa de Localização do Município de Capão do Cipó



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

De acordo com os dados publicados pelo último censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano de 2010, a área estudada no presente trabalho possui 1.007,79 km<sup>2</sup> de extensão da unidade territorial, apresentando uma população total de 3.104 habitantes (IBGE 2010). Já no ano de 2020 era estimada a existência de cerca de 3.699 habitantes no município, sendo que sua grande maioria se encontra na área rural e sua densidade demográfica é de 2,53 habitantes/Km<sup>2</sup>.

De acordo com a Prefeitura Municipal de Capão Cipó/RS, o nome de origem do município se deve a viajantes que escolheram para descanso um local onde havia muitas árvores e delas despendiam grandes quantidades de cipós. Ao fazerem seus relatórios de viagem foi constatado, nas anotações, o nome do local como "Capão do Cipó", sendo que o município foi desmembrado de Santiago, São Miguel das Missões e Tupanciretã somente em 16 de abril de 1996 de acordo com a Lei Estadual nº 10.742, sendo publicado no Diário Oficial de 17 de abril, data em que é comemorado o seu aniversário.

Ainda de acordo com o *site* da prefeitura o supracitado município faz parte do território missioneiro (missões jesuítas localizadas no Uruguai e Rio Grande do Sul), tendo pertencido a Portugal e Espanha na época dos tratados diplomáticos e das lutas

que envolveram os dois países. Capão do Cipó conta com o local histórico denominado "Capão da Batalha", na localidade gaúcha de Carovi, que foi palco de uma das maiores batalhas da Revolução Federalista de 1893 no dia 10 de agosto de 1894, na qual foi fatalmente ferido o General Gumercindo Saraiva, considerado o maior estrategista da época combatendo durante 14 meses e 13 dias à frente de mais de 4000 homens.

Atualmente esse município conta com uma miscigenação de índio, negro e imigrantes europeus. Dessa forma, pode-se aferir que é marcante a influência cultural deixada pelos espanhóis e devido à proximidade da fronteira com países latinos (Prefeitura Municipal 2020).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo, que está estruturado em quatro diferentes tópicos: Erosão conceitos e definições, Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos, Processos Erosivos e Uso das Geotecnologias nos Estudos Geoambientais, apresentando o levantamento bibliográfico e os principais fundamentos teóricos que nortearam esta pesquisa.

### 2.1 EROSÃO: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A erosão é um processo natural importante na modelagem do relevo e na constante renovação dos solos. Além disso, de acordo com o ponto de vista geológico-geomorfológico, ela configura-se como um processo natural de desgaste da superfície terrestre. No entanto, se ela ocorrer de forma desequilibrada no sistema geomorfológico tendo origem a partir de episódios naturais e/ou por ações antrópicas, associada a aceleração na atuação dos processos erosivos.

Esse fenômeno vem ganhando destaque entre as discussões científicas devido ao aumento da preocupação com a questão ambiental, sobretudo com a perda de áreas agricultáveis, a diminuição da fertilidade dos solos e ao assoreamento de canais fluviais (SELBY, 1993).

Além disso, o desmatamento da vegetação natural provoca maior suscetibilidade das vertentes, pois essas atingiram alto grau de fragilidade. Muitas práticas agrícolas empíricas e ultrapassadas, isto é, de exploração indevida dos recursos, sem planejamento e conhecimento de suas reais possibilidades, fazem da erosão um fenômeno comum nesta região (DOMINGUES e ROSSI, 2015).

A erosão laminar acontece quando o escoamento da água flui encosta abaixo “lavando a superfície do terreno como um todo”, transportando as partículas sem formar canais definidos. Por outro lado, a erosão em sulcos ocorre em função da concentração do fluxo superficial em caminhos preferenciais (pequenas depressões no terreno), arrastando as partículas e aprofundando os sulcos, podendo formar ravinas com alguns metros de profundidade (DAEE/IPT, 1990).

Para que ocorra o desgaste da superfície terrestre, deve haver o processo de meteorismo ou intemperismo das rochas em superfície ou próxima dessa, podendo se desenvolver de forma tanto superficial quanto profundamente, apresentando

caráter químico, físico e/ou biológico, de acordo com o elemento predominante no processo de desintegração mecânica e de decomposição química da rocha (VIEIRA, 2014).

Pode-se destacar que as características geológicas, pedológicas e geomorfológicas em interação com o regime climático-hidroológico podem ser elencadas como as variáveis gerais na gênese dos processos de erosão linear. Acrescenta-se, aos atributos naturais, a influência antrópica atuando de diversas formas sobre o sistema de relevo, tendo-se a dinamização e aceleração da erosão (MATHIAS, 2016).

Dessa forma, é possível dizer que a erosão é um processo de busca de equilíbrio entre as forças de dinâmica superficial e subsuperficial, onde o processo só será estabilizado quando as forças predominantes se tornarem equilibradas. Assim, cada um dos fatores condicionantes da erosão pode causar o desequilíbrio do ambiente e desencadear o início da erosão. Portanto, é importante entender qual o fator principal ou qual a associação de fatores está condicionando este desequilíbrio para realmente entender a ação erosiva (RADEMANN, 2019).

## 2.2. MECANISMOS ENVOLVIDOS NOS PROCESSOS EROSIVOS

### 2.2.1 Salpicamento (“Efeito *Splash*” ou “*Splash Erosion*”)

O efeito “*splash*”, também conhecido pelo termo salpicamento, é o responsável pelo início da erosão hídrica, ocorrendo o desprendimento das partículas do solo pelo impacto das gotas de chuva em sua superfície seguido de seu posterior transporte (ANGULO-MARTINEZ *et al.*, 2012). A ação erosiva da chuva está diretamente relacionada a sua energia cinética, a qual depende do tamanho das gotas, logo precipitações de maior intensidade produzem gotas de chuva de diâmetros maiores e, conseqüentemente, a ação erosiva é maior.

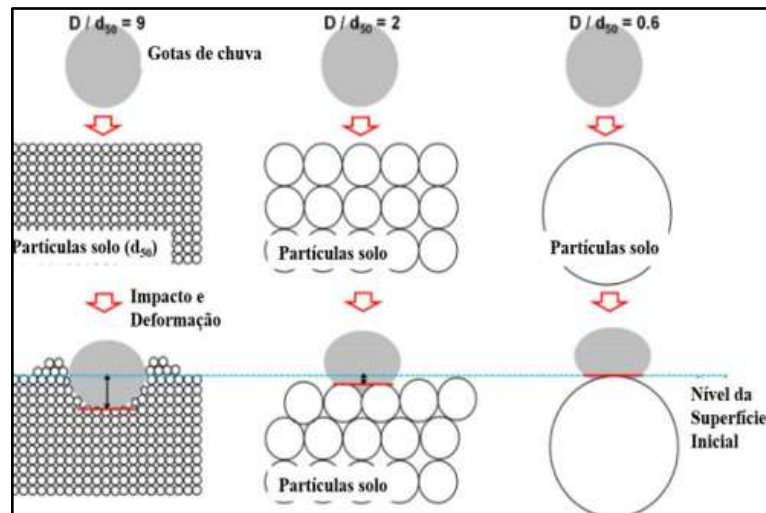
De forma simultânea à separação das partículas, a ação das gotas de chuva também é responsável pelo processo de selagem dos solos, processo de formação de uma camada compactada que antecede o escoamento superficial. A formação dessa crosta relaciona-se com a ruptura dos agregados do solo e seu posterior transporte para os poros existentes, formando uma camada superficial de baixa permeabilidade.

A formação dessas pequenas áreas “seladas” leva ao surgimento de poças de maneira irregular no terreno. Devido à continuidade da precipitação e saturação do solo, ocorre o aumento e posterior rompimento das poças, iniciando o escoamento superficial.

Apesar de ser um evento localizado pela ação pontual das gotas de chuva, as consequências do efeito *splash* podem atingir profundidades consideráveis em um solo desprovido de cobertura vegetal. A ação das gotas de chuva pode deslocar as partículas do solo em até 1,5 m verticalmente e com a ajuda do vento estas partículas podem atingir distancias horizontais superiores a 5 metros (RYZAK *et al.*, 2015).

Além de estar associada à intensidade de precipitação, esse processo tem seus efeitos condicionados com a cobertura do solo, que seria a proteção natural dos solos contra a erosão. Em geral, para gotas de chuva de mesmo tamanho e com mesma energia cinética, observa-se maior penetração e destaque de partículas em solos de granulometria fina (figura 2).

Figura 2: Desenho esquemático representando a influência do tamanho das partículas de solo na erosão por salpicamento.



Fonte: adaptado de Choo *et al.*, 2018.

### 2.2.2 Erosão Laminar (“*Sheet Erosion*”)

Quando a capacidade de infiltração do solo chega no limite, tem-se o início do escoamento superficial, que pode ocorrer de duas formas distintas: difusa (erosão laminar) ou concentrado (erosão linear). Segundo Fernandes (2015, p.13), os processos erosivos provocados pela ação das chuvas têm início na erosão laminar

("sheet erosion"), evoluindo para a formação de sulcos que, por sua vez, podem ser transformados em outras feições erosivas, como ravinas e voçorocas.

A erosão laminar pode ser definida como a remoção de uma fina camada de solo de maneira homogênea e constante, não sendo possível perceber a concentração do fluxo. Wu *et. al.* (2019, p.65), a erosão laminar ocorre de maneira inter-relacionada com o efeito "splash" uma vez que, tanto o destaque quanto o transporte de partículas ocorrem simultaneamente pelo impacto das gotas de chuva e pelo escoamento superficial.

Apesar do impacto visual causado pelas erosões em sulco e voçorocas, a erosão hídrica que mais gera perdas de solo no Brasil é a laminar que, por ser de difícil percepção principalmente por pessoas não especializadas, é constante e não necessita de um fluxo de água concentrado para se formar, atingindo, muitas vezes, extensas áreas continuamente (LEPSCH, 2011). Com o avanço da precipitação e devido às irregularidades no terreno, a erosão laminar pode evoluir para uma forma concentrada, porém essa transição não ocorre de forma clara, sendo que os dois processos acontecem de forma concomitante.

Quando sulcos ocupam quase toda a superfície do terreno, a erosão laminar se limita às partes lisas e regulares da superfície. Dessa forma, denomina-se o fluxo superficial concentrado de fluxo em sulcos, podendo evoluir para ravinas e voçorocas e o fluxo que ocorre com distribuição uniforme é o fluxo entres sulcos ou laminar (erosão entressulcos). CARVALHO *et. al.* (2006, p.45).

### **2.2.3 Erosão em Sulcos ("Rill Erosion")**

A erosão em sulcos pode ser considerada como fase subsequente da erosão laminar, iniciada quando o fluxo de água é concentrado em determinadas regiões no terreno. Com a concentração do escoamento, a tensão cisalhante no fundo e nas laterais dos pequenos canais formados é a principal responsável pela desagregação e carreamento das partículas. Portanto, esse fenômeno ocorre quando as forças cisalhantes superam as coesivas, sendo essa condição denominada por tensão crítica de cisalhamento (LAFAYETTE, 2006).

Na fase de surgimento dos sulcos, esses estão distribuídos de maneira uniforme ao longo do terreno sem exibir grandes volumes de água. O aumento da concentração de água em determinados sulcos faz com que haja sua evolução para ravinas e, em

certos casos, para voçorocas. Não existe um critério específico para distinguir sulcos, ravinas e voçorocas; sua diferenciação ocorre basicamente devido a profundidade e largura dos canais abertos pela erosão hídrica.

Sulcos são pequenos canais de até 10 cm e o termo ravina deveria ser aplicado a canais com profundidade compreendida entre 10 e 50 cm. A partir de uma altura de 50 cm começam a ocorrer fenômenos de instabilidade originando as voçorocas, que podem ou não estar associadas a fenômenos de erosão interna *piping*. Carvalho *et al.* (2001, p.35).

Alguns estudos demonstram que a intensificação do processo erosivo está diretamente associada ao início da erosão em sulcos, muitos desses relacionando sua ocorrência de forma simplificada à intensidade de precipitação e principalmente à declividade do terreno. No entanto, a erosão em sulcos não pode ser condicionada apenas a esses dois fatores, uma vez que se trata de um processo influenciado também pela selagem dos poros superficiais, desenvolvimento dos sulcos, tensão cisalhante de fundo e pelo colapso das paredes do canal (LAFAYETTE, 2006; WIRTZ *et al.*, 2012).

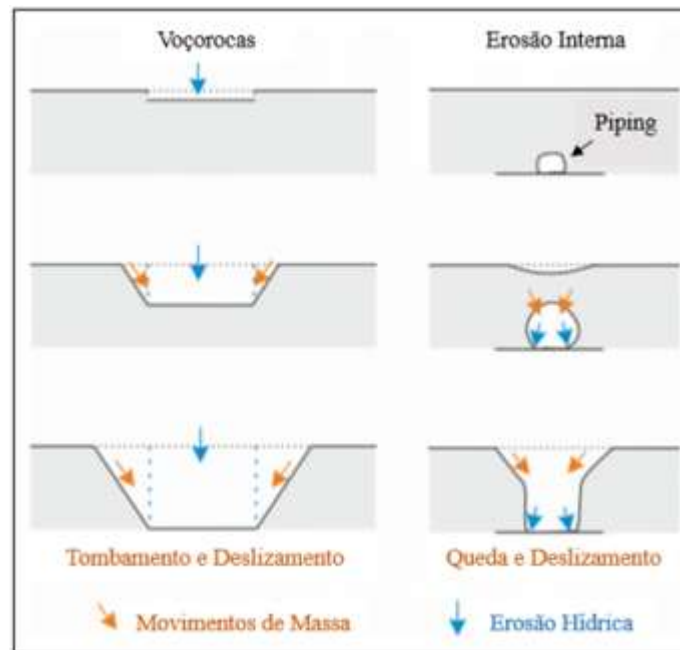
#### **4.2.4 Erosão Interna (“*Piping*”)**

A Erosão Interna ou “*piping*” corresponde ao processo no qual a percolação de água nos macroporos é superior à resistência das partículas e agregados, causando a remoção de partículas e formando cavidades que avançam para o interior do solo (WILSON *et al.*, 2017).

Esse fenômeno ocorre nas seguintes situações: (i) quando a força de percolação supera a resistência do solo, também chamado de ruptura hidráulica; (ii) quando o gradiente hidráulico é maior que o crítico do solo, levando a formação de canais em seu interior; (iii) quando a fração grosseira não é filtrada da fina, proporcionando deslocamento das partículas finas, removendo a sustentação e propiciando a formação de cavidades no interior do maciço. Carvalho *et al.* (2006 p.28).

Segundo Bernatek-Jakiel e Poesen (2018,p.26), o “*piping*” “não é apenas um processo de erosão hídrica (ou simples processo de destacamento de partículas por forças cisalhantes), é um processo similar ao que acontece em “voçorocas”, envolvendo a interação com movimentos de massa, tais como colapso de teto e paredes pela ação da gravidade (figura 3).

Figura 3: *Piping* como processos geomorfológicos complexos, resultante de ação conjunta da erosão hídrica de movimento de massa



Fonte: Bernatek, Jakiel e Poesen (2018).

Segundo Fendrich *et al.* (1997, *apud* Lima, 2003), a erosão interna não é processada apenas nas proximidades do talude, podendo se desenvolver ao longo de centenas de metros de distância da voçoroca, enfraquecendo o solo e estabelecendo regiões de percolação preferencial por vezes com afundamentos de uma porção do terreno, também conhecido por subsidência.

O referido processo tem associação direta com o material de origem e com a ação do intemperismo químico, os quais atuam na dissolução e carreamento de minerais, diminuindo a instabilidade do terreno. Associado aos processos de erosão interna, principalmente em taludes e encostas, tem-se o fenômeno da esqueletização, que consiste na dissolução de componentes minerais, provocando um aumento de porosidade (LIMA, 2003).

O aumento da porosidade do solo termina por gerar a instabilidade dos taludes, podendo ser o fator responsável pelo início do processo erosivo. CARVALHO *et al.* (2006) asseveram que o aumento da porosidade no interior do maciço ocorre principalmente em condições não saturadas, levando ao surgimento de uma crosta superficial na face do talude devido à deposição do material carreado. Essa crosta



acaba retendo a umidade no interior do maciço, condição responsável pelo aumento da dissolução dos minerais, ampliando a degradação do solo em questão.

#### 4.2.5 Voçorocas (“*Gully Erosion*”)

Voçorocas são um estágio avançado do processo erosivo. O termo é originado da expressão em Tupi “Yby-çoroc”, que significa “terra-rasgada” (BACELLAR,2000), tendo o quadro mais agravante e seus efeitos refletem-se na desconfiguração da paisagem e suas nocivas consequências às atividades humanas (CUNHA; GUERRA, 2000).

Na literatura mundial, esse tipo de feição erosiva é denominado “*gully erosion*”, sendo muito comum em estudos sobre os processos que iniciam esse fenômeno, bem como sua gênese evolutiva. Dessa forma, são basicamente feições que evoluem de forma acelerada no tempo e no espaço, podendo ser largas e íngremes.

Segundo Castilho e Gómez (2016, p.23), existem diversos critérios na literatura para a identificação de voçorocas, sendo os mais comuns:

- Morfológicos e topográficos: incisões profundas no terreno, geralmente com paredes íngremes com baixa vegetação;
- Hidrológicos: cursos d’água que estão sujeitos a inundações repentinas durante grandes tempestades;
- Acessibilidade para práticas agrícolas: canais de escoamento cujo comprimento e largura não permitem as práticas agrícolas convencionais;
- Instabilidade: incisões recentes em vales onde não tinham canais bem definidos.

No Brasil, Iwasa e Prandini (1982, p.36) apresentaram uma teoria sobre o surgimento de voçorocas baseada em processos de concentração do escoamento subsuperficial. O primeiro passo dessa teoria seria a formação de sulcos e ravinas que, devido às tensões cisalhantes de fundo, o canal no terreno é aprofundado em forma de “V”.

O referido processo é contínuo até o momento em que o canal atinge o lençol freático, onde podem se iniciar os processos de erosão subterrânea. A partir deste momento, as paredes laterais perdem a sua sustentação, ocorrendo a ruptura e, conseqüentemente, podendo formar taludes íngremes e perfis em forma de “U”, contribuindo para o alargamento da feição. O processo é finalizado com a implantação

de um curso d'água definitivo com leito regularizado até o nível de base local e com o restabelecimento da vegetação.

Erosões do tipo ravinas e voçorocas ocorrem quando a água começa a fazer incisões a partir de certas concentrações em seu escoamento superficial, passando de um comportamento laminar (*sheet erosion*) para concentrado (*rillerosion*). Assevera que as voçorocas podem ser formadas pelo escoamento superficial da água, quando há o trabalho de escavação, ou seja, uma incisão no solo ou na rocha decomposta, cuja forma avançada de erosão também pode ser ocasionada pelo escoamento subsuperficial, quando há remoção de material mineral e sedimentos pelo fluxo de água (GUERRA, 2011).

Ferreira (2009, p.29) advoga que voçorocas são erosões em sua fase mais avançada, complexa e destrutiva, oriundas da ação combinada das águas e sedimentos escoando em superfície sobre o solo desprotegido e seguindo canais preferenciais de porte médio a grande.

As ravinas e voçorocas podem ainda ser originadas a partir de diferentes dinâmicas erosivas como através da reativação de antigas paleodrenagens pela ação da água que precipita e escoar de forma concentrada ao longo de rupturas na encosta e forma sulcos ao atingir uma superfície descoberta, originando processos erosivos avançados (PAULA E ROBAINA, 2003).

As formas resultantes dos processos de erosão linear tornam-se mais expressivas à medida que evoluem sob determinadas situações tendo-se, inicialmente, a formação de sulcos que são as incisões ocasionadas em função da concentração de escoamento. A fragilidade do solo e a ausência de vegetação são fatores que, combinados à concentração do fluxo pluvial, determinam o surgimento desse estágio erosivo inicial e, na medida que o volume pluvial vai atuando, o sulco ganha dimensão evoluindo para tornar-se uma ravina (MATHIAS, 2016).

Os processos erosivos lineares constituem-se ulcerações do manto pedoecológico, pois são canais erosivos mais proeminentes, o que dificulta o estabelecimento de vegetação e intensificam a perda do solo. De acordo com o mesmo autor, o comprimento da vertente torna-se relevante na evolução de tais formas, pois contribui na velocidade do fluxo pluvial, determinando sua potencialidade na forma de energia. Quando há combinação dos fatores supracitados com os elementos que atuam em subsuperficialmente, as erosões apresentam largura e

profundidade que atingem metros, fazendo com que o nível freático aflore até a superfície.

Dentre as definições para o conceito de voçoroca muitas vezes referida sob diferentes terminologias (boçoroca, bossoroca, vossoroca), destaca-se a apresentada por Oliveira (1994) por expressar de maneira clara o ponto de vista processual:

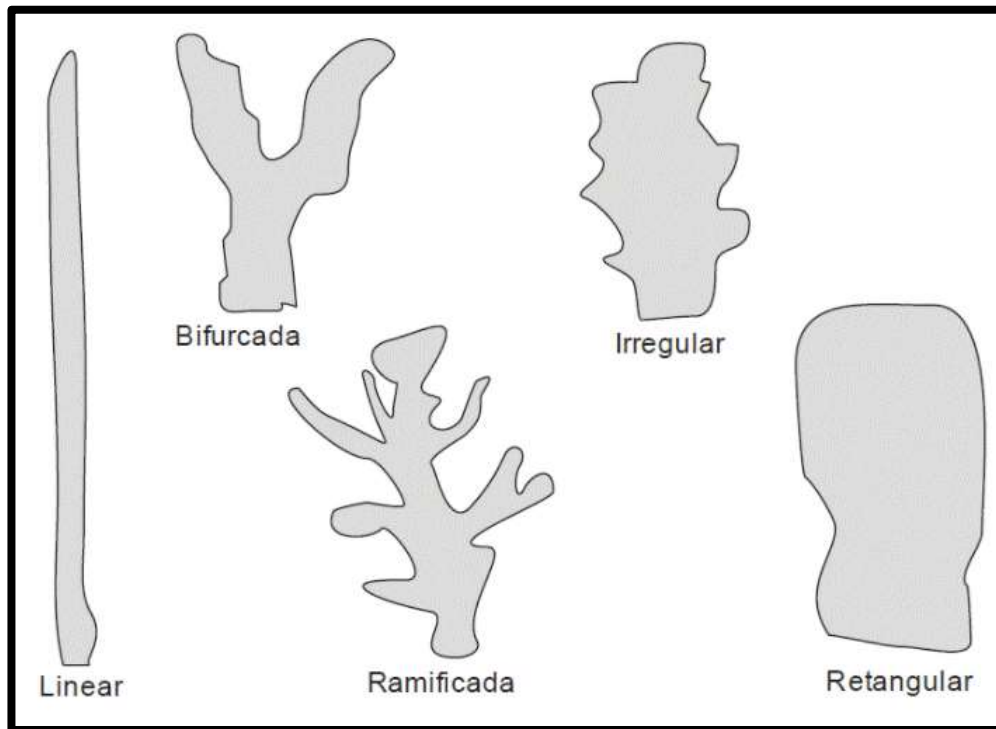
as boçorocas são canais incisos associados à dissecação do relevo e resultam da ação integrada entre diferentes processos geomorfológicos, tais como: escoamento de fluxos d'água superficiais, subsuperficiais e movimentos de massa no domínio das encostas (OLIVEIRA, 1994, p. 09).

A progressão com que é dada a evolução de uma voçoroca é marcada pela ocorrência de grande profusão de feições em menor escala, referidas por Oliveira (2007) como sendo feições de retrabalhamento e cada qual associada à um processo específico. O citado autor apresenta um elenco dessas formas erosivas de detalhe, dentre as quais podem ser citadas: as alcovas de regressão formadas no sopé dos taludes erosivos em locais de desembocadura de fluxos de escoamento concentrado (a erosão ocorre em função do impacto da queda d'água na base do talude, produzindo uma cavidade), que são consideradas feições bastante dinâmicas e podem ser precursoras da formação de ramificações da voçoroca.

Nesse viés, Vieira (2006) criou uma classificação baseada nas formas de maior incidência em Manaus, sendo que cada uma dessas resulta de processos específicos e de condições ambientais características de seu local de ocorrência: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular (figura 4).

A forma linear estaria ligada à existência de uma zona principal de convergência de drenagem, influenciada pelas características de resistência e/ou ocorrência de controle estrutural evidente; a bifurcada apresenta duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados; a ramificada caracteriza-se pela ocorrência de vários canais de drenagem superficiais, sendo geralmente encontrada onde a declividade do terreno é relativamente baixa; a irregular pode estar ligada à existência de um ou mais fluxos superficiais concentrados, caracterizando-se como transitória entre as outras formas existentes; já a retangular pode ser, em alguns casos, a forma final da expansão de uma ou de outras descritas.

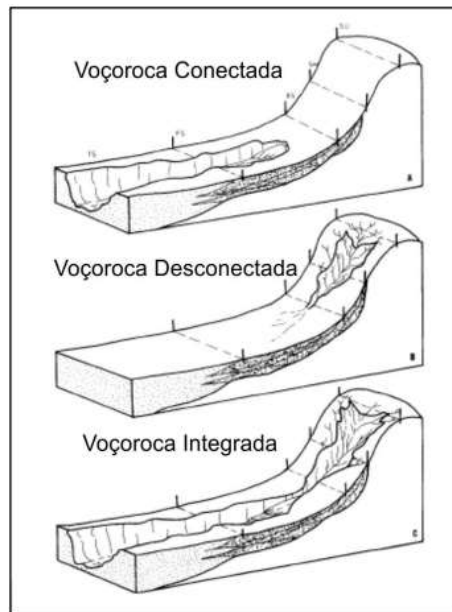
Figura 4: Formas de voçorocas



Fonte: (VIEIRA, 2008).

A situação quanto a rede de drenagem e a porção da encosta que uma voçoroca é encontrada pode interferir nos processos atuantes e a forma de evolução da feição erosiva. Dessa forma, Oliveira (1989) apresenta uma proposta de classificação das voçorocas quanto a sua relação com a rede de drenagem podendo ser classificada de três maneiras distintas (figura 5). As voçorocas conectadas são caracterizadas pela erosão subsuperficial com a contribuição das águas subterrâneas e a formação de um canal de primeira ordem e geralmente ocorrem na porção da base da encosta; as desconectadas são relacionadas ao escoamento superficial e aos movimentos de massa (VIEIRA, 2008) e não são considerados canais de primeira ordem. Por fim há as integradas, que são uma junção das formas conectadas e desconectadas formando uma só incisão erosiva.

Figura 5: Classificação das voçorocas quanto sua relação com a rede de drenagem



Fonte: adaptado de Oliveira (1989).

#### 4.3 FATORES CONDICIONANTES DOS PROCESSOS EROSIVOS

As erosões são decorrentes de fatores, tais como: pluviosidade, declividade, comprimento do declive, capacidade de absorção da água pelo solo, resistência do solo à erosão e densidade da cobertura vegetal. A água é o mais importante agente erosivo e o escoamento concentrado ocasiona entalhamentos profundos, assim como o movimento de grandes massas de solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Conforme Guerra (1994, p.56), o surgimento de feições erosivas e consequentemente de voçorocas depende das variações das taxas de erosão, que estão ligadas à ação de fatores controladores, como os processos hidrológicos, as propriedades físicas dos solos, a erosividade, as características da encosta, a cobertura vegetal e a intervenção antrópica.

A erosão tem sua origem no rompimento do equilíbrio natural no solo em decorrência da ação de fatores climáticos associados às variáveis da região, onde a combinação destes diversos fatores determina a intensidade do processo erosivo (PRUSKI, 2009). Alguns autores, como Bastos (1999), Morgan (2005), Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Fernandes (2015) descrevem como principais fatores condicionantes do processo erosivo: a) climáticos (chuva e vento); b) cobertura

vegetal; c) topografia (declividade e comprimento a encosta) e d) o solo e sua litologia.

Ireland *et al.* (1989) destacam que o clima é de grande importância para os processos erosivos pois influencia não apenas no tipo de agricultura que é praticado no local, mas também determina a variação térmica e pluviométrica durante as estações. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2012, p.86), a erosividade da chuva é um dos fatores climáticos de maior importância para a erosão, sendo a sua intensidade um dos atributos mais relevante.

Para quantificar as perdas de solo por erosão laminar, diversos autores desenvolveram equações empíricas, partindo de talhões experimentais e extrapolando os resultados para bacias hidrográficas inteiras. O desenvolvimento dessas equações subsidiou o trabalho de dois cientistas do Serviço de Pesquisa Agrícola (ARS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), W. H. Wischmeier e D. D. Smith (1978), chamada de Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS - *Universal Soil Loss Equation*, 1996), que utiliza a Erosividade da chuva, a erodibilidade do solo.

#### **4.3.1 Fator Precipitação**

A chuva é medida por sua capacidade de provocar erosão em uma área sem proteção (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993). Em trabalhos desenvolvidos nos Estados Unidos, Wischmeier e Smith concluíram que o índice que possui melhor correlação com a perda de solo é produto da energia cinética da chuva pela sua intensidade máxima em 30 minutos (CATÂNEO *et al.*, 1982). Albuquerque *et al.* (1994), Bertoni e Lombardi Neto (1993), Lopes e Brito (1993), entre outros estudaram outros índices de erosividade e consideraram o  $E_{i30}$  como o que melhor se adequa à realidade intertropical.

De acordo com (Agnesi *et al.* 2011) o processo de voçorocamento é administrado por meio da erosão da chuva e do solo e deve ser considerado um conjunto de características geomorfométricas. Sendo que essas características são úteis para a determinar os critérios de condicionamento do voçorocamento.

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados desde a década de 50, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por

erosão, visando implementar ferramentas que possibilitam avaliar as perdas de solo com o propósito de auxiliar no planejamento agrícola (Amorim et al. 2010).

A determinação do valor médio da erosividade das chuvas através de registros pluviométricos e/ou pluviográficos diários de vários anos e cálculos computacionais, permite estudar o impacto ambiental de determinadas práticas agrícolas, desenvolver pesquisas em erosão e planejar ações de conservação do solo. (Peñalva Bazzano, 2005).

#### **4.3.2 Fator Substrato Litológico**

A litologia é outro fator importante relacionado à erosão, agindo diretamente pela suscetibilidade erosiva relacionado a sua estrutura, mineralogia e textura (BRANCO, 2014) e indiretamente pela influência do solo gerado. Casseti (1995, p.69) destaca que a natureza da rocha, além de responder pelo comportamento da formação do solo, intervém ainda no perfil da vertente, no seu declive médio e na velocidade de seu recuo ou evolução, e ainda, fornece material para formação do solo. Ao encontro disso, Drumond (2006, p.36) salienta que os fatores geológicos que atuam como condicionantes do processo de voçorocamento estão vinculados às litologias e às estruturas geológicas planares (foliações, fraturas e falhas).

Segundo Bacellar (2000, p.63), a litologia controla a erosão ao condicionar diretamente o tipo de solo e o relevo. Dessa forma, é comum trabalhar a influência do solo na erosão sob o conceito específico de erodibilidade, cuja finalidade é estudar a suscetibilidade ou resistência frente aos processos erosivos.

Bacellar (2000, p.69) confirma que a estrutura geológica atua passivamente na evolução da erosão, já que as variações litológicas ou diferenças composicionais internas às rochas são suficientes para gerar saprolitos com erodibilidades muito contrastantes, embates esses capazes de direcionar o recuo erosivo ou, no caso, de constituir um nível de base local e impedir a progressão da erosão.

#### **4.3.3 Fator Pedológico**

A erodibilidade do solo é a propriedade que representa a sua susceptibilidade à erosão, podendo ser definida como a quantidade de material removido por

unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes (FREIRE *et al.*,1992).

O tipo de solo é importante nos estudos sobre erosão, uma vez que a resistência não é a mesma para todos os materiais. Tal fato ocorre devido às diferentes propriedades exibidas por cada solo, sejam elas físicas (textura, estrutura, permeabilidade, etc.), químicas (pH, CTC, etc.) e biológicas que variam de acordo com as rochas de origem e seu processo de formação. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1993), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros ainda que variáveis como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas. Ainda segundo esses autores, as propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aquelas que afetam a infiltração, a permeabilidade, a capacidade total de armazenamento de água e as que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pelo escoamento. A erodibilidade do solo tem seu valor quantitativo determinado experimentalmente em parcelas e é expresso como a perda de solo por unidade de índice de erosão da chuva (EI) (BERTONI e LOMBARDI NETO,1993).

Pruski (2009, p.54) salienta que o comportamento do solo em relação à erosão conhecido como erodibilidade constitui uma propriedade que depende da capacidade de infiltração e de armazenamento da água e das forças de resistência do solo à ação da chuva e do escoamento superficial. Para Rahmati *et. al.* (2017, p.68), a textura do solo é comumente identificada como um mecanismo significativo no escoamento superficial, na infiltração e, conseqüentemente, no processo de voçorocamento. Nesse sentido, Pruski (2009, p.39) chama a atenção que solos ricos em silte e areia e com pouco material cimentante (matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio) são muito propensos ao processo erosivo, em razão da pequena resistência que oferecem ao desprendimento de partículas durante a precipitação.

#### **. 4.3.4 Fator Relevô**

O comprimento de rampa tem grande importância na perda de solo, pois quanto maior for a sua extensão, maior será a velocidade do escoamento. A EUPS utiliza o comprimento de rampa adimensional, adotando o valor médio em metros. Em alguns estudos, esse fator foi obtido por medições diretas em cartas



topográficas ou pela razão entre a área da bacia ( $m^2$ ) e o somatório de todos os cursos de água da bacia (m) conhecido como método do retângulo é equivalente e modificado por Vilela e Mattos (1975, p.37).

O volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1993). A EUPS utiliza o fator declividade como uma das variáveis topográficas, adimensional baseada nos valores obtidos em porcentagem.

Com relação ao relevo, Ribeiro & Salomão (2003, p.29), definiram que as áreas muito suscetíveis a ravinas e voçorocas são as muito favoráveis à instalação de fenômenos de *piping*, onde os processos de voçorocamento se desenvolvem em locais de gradientes hidráulicos subterrâneos elevados, sendo associados a materiais da zona de percolação do lençol freático com características que permitem a remoção e transporte das suas partículas. Em geral, essas áreas situam-se em nascentes, fundo de vales e cabeceiras de drenagens, especialmente essas têm formas de anfiteatros côncavos.

Calderano Filho (2014, p.95) ressalta também que o relevo tem importância no processo erosivo, principalmente por ser a declividade o fator responsável pela maior ou menor infiltração das águas das chuvas onde o relevo é plano, não havendo deslocamento e transporte de partículas de solo, quaisquer que sejam as classes de solo que compõem a unidade de mapeamento. Além disso, o grau de declive do terreno exerce influência direta sobre a quantidade de perda de solo por erosão pois, quanto maior seu gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade.

Galeti (1984, p.66) buscou sintetizar a influência do relevo em três principais pontos, sendo esses:

- a) a erosão é menor nos terrenos mais planos e cresce à medida que aumenta o declive; b) a erosão é maior em vertentes mais compridas e quanto mais longa a vertente maior a erosão; c) a regularidade da vertente interfere sobretudo na velocidade da água sendo que, em uma vertente regular, há um aumento constante e progressivo na velocidade de enxurrada, ocasionando maior erosão.

A associação de voçorocas com rupturas de declive está presente em estudos onde essas feições aparecem ligadas à regressão de linhas de ruptura da vertente

por erosão remontante (FURLANI 1980, MURATORI 1984 *apud* PONÇANO E PRANDINI 1987). Esses autores também associam a maioria dos casos de voçorocamento às vertentes convexas.

Rodrigues (1984) integra a quase totalidade das voçorocas estudadas por ele às encostas côncavas de perfil convexo, sendo secundariamente as convexas de perfil convexo as mais importantes. Em pesquisa desenvolvida por Moreira (1992), 68% das voçorocas analisadas estavam instaladas em vertentes com declividades médias entre 9% e 20%, 19% em vertentes com declividades acima dos 20% e apenas 13% com declividades inferiores a 9%. Ressalta-se também a influência da forma em planta da vertente na morfologia da voçoroca, com associação de feições digitadas nos segmentos côncavos e ovoides nos convexas.

Augustin (1999), em mapeamento da distribuição espacial das voçorocas de Gouveia-MG, constatou que 73% delas localizam-se em cabeceiras de drenagem em anfiteatro e vales suspensos com fundos planos como os *hollows*. Essas formas encontram-se em vertentes côncavas de perfil convexo diferenciando-se quanto ao padrão de drenagem. Nos anfiteatros, essa drenagem possui uma organização bem definida, apresentando-se de forma canalizada, enquanto nos *hollows* a drenagem aparece de forma difusa, ou seja não canalizada (AUGUSTIN, 1995). Esse autor destaca ainda que todas as voçorocas estão conectadas à rede de drenagem, sugerindo pouca influência do substrato rochoso no seu desenvolvimento. A referida conclusão foi dada sem a elaboração de um estudo detalhado sobre o tema, tendo sido levada em consideração apenas a espessura do manto de intemperismo que encobre a rocha.

#### **4.3.5 Fator Uso e Ocupação da Terra**

A ação antrópica pode influenciar de modo a acelerar os processos erosivos e algumas vezes induzir o processo quando promove a concentração de fluxo d'água. Nesse sentido, Casseti (1995, p.61) observa que a partir do momento em que a vertente começa a ser ocupada pelo homem, processo esse iniciado com a retirada da cobertura vegetal, as relações processuais morfodinâmicas são alteradas, os solos sofrem o efeito pluvioerosivo com o aumento do fluxo superficial e ocorre a redução da infiltração.

Processos erosivos ocorrem de forma natural com variações no espaço e no tempo, dependendo de diversos fatores fisiográficos. A ação antrópica pode modificar

os fatores atuantes na erosão, tanto em áreas urbanas quanto em áreas rurais. A intervenção antrópica pode, de diversas maneiras, tanto desencadear e acelerar os processos erosivos quanto desenvolver maneiras de minimizar a erosão e, principalmente, evitá-la em sua forma mais destrutiva: a voçoroca. (VIEIRA 2008).

A redução da erosão vai depender do tipo de cultura e manejo adotado, da quantidade de chuvas, da fase do ciclo vegetativo e outras variáveis, cujas combinações apresentam diferentes efeitos na perda de solo (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1993).

Uma área sem proteção de cobertura vegetal é geralmente mais suscetível à erosão do que uma que esteja recoberta por vegetação, sendo que o seu efeito dependerá do tipo e fase do crescimento da vegetação associada à sequência de culturas e ao manejo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1993). De acordo com Stein *et al.* (1987, p.54), “se o que se pretende é adequar as formas de produção agrícola de maneira a minimizar os efeitos negativos causados no meio físico, as variáveis antrópicas da EUPS devem ser tratadas separadamente”.

A proteção da vegetação para a erosão do solo ocorre de maneira distinta nos diferentes tipos de cobertura vegetal. Bertoni e Lombardi Neto (2012) evidenciam que a mata é a que possui menor perda de solo para a erosão e que os cultivos agrícolas, mesmo com grandes diferenças na taxa de erosão em toneladas por hectares entre os diferentes cultivos, é a cobertura vegetal que oferece menor proteção ao solo.

Os componentes acima do solo, como caules e folhas, absorvem parte da energia das gotas de chuva, água corrente e vento, diminuindo as forças que atuam diretamente sobre o solo, ou seja, a vegetação atua como uma camada protetora entre a atmosfera e o solo. De maneira similar, os componentes abaixo do solo, compreendendo o sistema radicular, contribuem para o aumento da resistência mecânica à erosão (MORGAN, 2005).

Existem diversos processos entre a vegetação e o solo que afetam diretamente a suscetibilidade aos processos erosivos, conforme descritos por Lal *et al.* (1994, p.21)

- Ligação física entre o solo e as raízes e caules da vegetação;
- Ligação eletroquímica e de nutrientes entre as raízes e os solos;
- Detenção do escoamento superficial pelo aumento da rugosidade (presença de folhas e raízes na superfície);

- Aumento de infiltração de água junto as raízes e também pela decomposição das mesmas, formando pequenos canais nos solos;
- Aumento da incorporação de matéria orgânica, resultando melhor estrutura e retenção de água;
- Aumento da retenção de água no solo pelas raízes das plantas.

## 2.4 USO DAS GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDOS DO AMBIENTE

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Segundo Câmara *et al.* (2003, p. 46), todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que é fundamentalmente comum: a localização geográfica. Para que isso seja possível, a geometria e os atributos dos dados em um SIG devem estar georreferenciados.

O Geoprocessamento é uma tecnologia ou um conjunto de tecnologias que possibilita a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados (FITZ, op. Cit.). Essa tecnologia é atualmente viabilizada por meio dos SIG, definido por um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos (BOURROUGH e MCDONNELL, 1998, *apud* Fitz op. Cit.).

Nesse sentido, os SIGs podem ser entendidos como um conjunto de programas ou *softwares* que tornam possíveis o armazenamento e o tratamento de dados sob diversos aspectos dentro do espaço geográfico. Nessa perspectiva, Silva (2003, p. 88) ainda comenta

Os SIG's são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativas para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo das Geotecnologias, ao lado do Processamento Digital de Imagens e da Geoestatística.

De acordo com Queiroz (1996, p.26), os SIG's podem ser utilizados como instrumento de análise tempo-espacial para a modelagem e simulação de situações,

apoiando aplicações como: fornecimento de subsídios à elaboração de mapas temáticos, de uso e ocupação da terra, planejamento e gerenciamento de equipamentos urbanos e monitoramento ambiental.

Sensoriamento Remoto é a tecnologia de aquisição de dados da superfície terrestre à distância, através do uso de sensores ou radares a bordo de plataformas aéreas ou orbitais (FLORENZANO, 2008). Os sensores ópticos dependem da energia solar ou do calor emitido pela Terra para captar dados da superfície terrestre e os radares registram a energia que retorna do pulso de radiação de micro-ondas enviado por sua própria antena.

Os dados a serem utilizados por um SIG podem ter origem em várias fontes, e podem ser classificados em primários e secundários (FERREIRA op. Cit.). Os dados primários são aqueles que tem sua origem direta do campo ou são produto de sensoriamento remoto. Já os dados secundários envolvem mapas e estatísticas.

Quanto aos trabalhos de elaboração de zoneamentos, as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento tem se tornando indispensáveis na atualidade. Tal fato é consolidado, porque os SIG permitem, de forma geral, a observação de vários temas em uma única visualização, sendo possível realizar a integração ou o cruzamento de dados em um único mapa.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2010, p. 65), “a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto é possível explorar diferentes escalas de trabalho, as quais são dependentes da natureza dos estudos pretendidos”. Para fazer uso do Sensoriamento Remoto como ferramenta de análise espacial, os dados obtidos precisam ser corretamente interpretados e os sensores e as imagens devem ser selecionados de acordo com os objetivos da pesquisa.

Existe uma gama de sensores orbitais e, em consequência disso, uma variada e múltipla quantidade de imagens disponíveis para uso público. Na presente pesquisa foram utilizados dados topográficos obtidos por radar interferométrico da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), Missão do Serviço Geológico dos Estados Unidos da América (USGS). Com apoio dos SIG, esses dados espaciais permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e obter informações morfométricas, que são fundamentais em estudos geoambientais e geomorfológicos, entre outros, por meio de técnicas de automação.

Segundo Leite e Rosa (2012, p.26), os tipos de cobertura natural ou artificial são os elementos que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar,

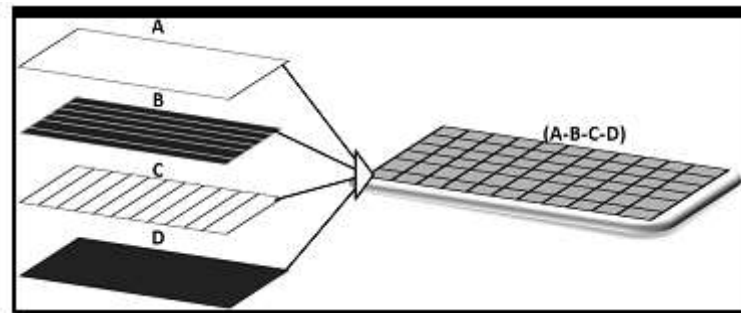
sendo fundamental ponderar que as imagens não registram atividades diretamente. Dessa forma, Araújo Filho *et. al.* (2007, p.35) indicam que é inerente ao pesquisador a tarefa de buscar as devidas associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas para derivar informações acerca das atividades de uso a partir do que são basicamente dados de cobertura da terra.

As imagens obtidas pelo sensoriamento remoto permitem uma visão de conjunto multitemporal. Essas imagens mostram os ambientes e as transformações causadas pelos fenômenos naturais (erosão, inundações, movimentos de massa, etc.), além daquelas causadas pela ação antrópica (desmatamento, queimadas, expansão urbana, etc.). Nesse sentido, Schirmer (2015, p.38) comenta que as imagens de satélite são ideais para o mapeamento do uso da terra, uma vez que as diferentes formas de utilização da superfície terrestre refletem a energia solar de forma diferenciada.

As técnicas de Geoprocessamento têm mostrado sua relevância nos estudos ambientais por permitirem a realização de mapeamentos temáticos das características do ambiente, que integram e relacionam diversas variáveis. O desenvolvimento e utilização de metodologias adequadas à aplicação das geotecnologias para a realização da análise ambiental é uma rotina constante nos estudos e pesquisas de vários campos da ciência, e de forma especial, no campo da Geografia Física. As geotecnologias permitem o acesso a recursos tecnológicos aos esforços de aquisição, manipulação, processamento e apresentação de dados e informações espaciais georreferenciados.

Schirmer (2015, p.6) ressalta que, através de algumas rotinas de integração de vários Planos de Informação (PI's) como a sobreposição de camadas, realização de modelagens de mapas síntese e com a utilização de álgebra de mapas, são geradas novas informações (figura 6).

Figura 6: Sobreposição de Camadas em um Plano de Informação



Fonte: Schirmer (2015).

Trentin (2011) ainda define que os métodos e técnicas de mapeamento geomorfológico tem sido cada vez mais aperfeiçoados pelo emprego de geotecnologias do Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, sobretudo pelo uso crescente dos SIG's . Nesse sentido, pode-se destacar que a utilização dos SIGs para a geração dos mapas temáticos garante agilidade e eficiência no processo de manipulação e tratamento dos dados, assim como, na tomada de decisões.

Analisando a ocorrência dos processos erosivos e aos problemas ambientais dele decorrentes, percebeu-se um aumento da demanda de estudos que auxiliam na compreensão desses problemas. Para tanto, a análise ambiental tem recebido auxílio de novas tecnologias, melhorando a qualidade e a disponibilidade de dados. Dentre as novas tecnologias, o geoprocessamento é destacado como uma importante ferramenta para os estudos ambientais e a compreensão dos processos atuantes no meio ambiente, se tornando produto para a tomada de decisões e a mitigação de impactos ambientais (RADEMANN, 2019, p.89)

As aeronaves remotamente pilotadas (ARP) possuem um grande potencial para a análise geomorfológica, permitindo a obtenção de dados de alta qualidade e precisão das feições do terreno. Na análise de erosão, sobretudo de voçorocas, essa tecnologia tem sido amplamente utilizada para a parametrização das voçorocas e a extração de dados de avanço das cabeceiras e da perda de solo (D'OLEIRE-OLTMANN et al., 2012; STÖCKER et al., 2015; VERDONK, 2015; LIU et al., 2016; GUTIÉRREZ et al., 2018; HOSSEINALIZADEH et al., 2019).

Atualmente, “as imagens de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas em estudos geomorfológicos para o mapeamento de formas de relevo, incluindo aquelas resultantes da erosão do solo Boardman” (2016, p.49) e com o aumento da disponibilidade de produtos de alta resolução se tornaram mais

exequíveis (SHRUTHI, 2014). Embora as feições sejam facilmente observadas em campo, sua pequena extensão espacial usualmente as torna imperceptíveis em imagens de resolução mais específica geralmente disponíveis de forma gratuita - como imagens da série LANDSAT, com resolução espacial de 90 metros (VRIELING, 2006; SHRUTHI et. al. 2015).

As imagens disponíveis no Google Earth têm sido cada vez mais usadas em estudos de formas de relevo, principalmente devido à sua alta resolução espacial (Batista *et al.*, 2017). Segundo Boardman (2016), o Google Earth pode reduzir o tempo e as despesas em pesquisas voltadas para o monitoramento da erosão. Em estudos contemporâneos de erosão do solo, as imagens do Google Earth têm sido surpreendentemente pouco usadas e limitam-se especificamente em pesquisas de identificação de voçorocas (KARYDAS e PANAGOS, 2020).

Dessa forma, é possível destacar que as geotecnologias se mostram extremamente importantes e indispensáveis na elaboração de estudos voltados para a temática em questão pois é possível, através de técnicas computacionais, realizar e especificar os atributos e características do espaço geográfico, além de melhorar e facilitar a análise dos materiais adquiridos.

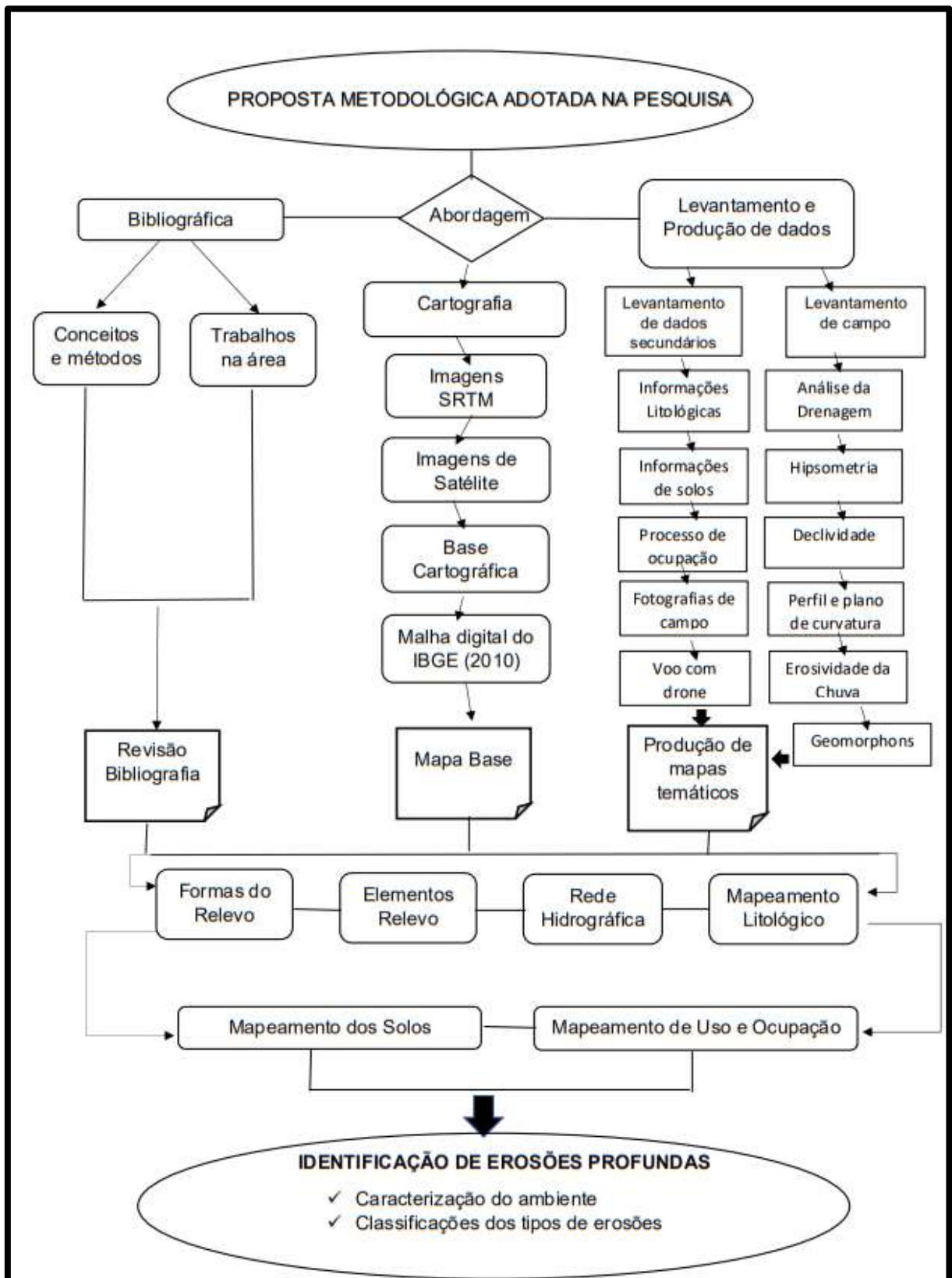


### 3 METODOLOGIA

No espaço geográfico, os elementos comportam-se de forma a se integrar e interagir entre si, formando um sistema. A compreensão dos processos ambientais foi proposta por Ludwig Bertalanffy em 1947 com a teoria geral dos sistemas, confrontando com o modelo mecanicista vigente nas ciências até então. A referida teoria baseia-se no conceito de sistema que pode ser entendido, de acordo com Tricart (1977), como um conjunto de fenômenos que se processam mediante um fluxo de matéria e energia que originam uma relação de dependência mútua entre os fenômenos. Em decorrência disso, o sistema apresenta propriedades inerentes e diferentes da soma das propriedades de seus componentes.

Portanto, nesta pesquisa utilizou-se uma abordagem sistêmica visando o estudo da erosão, tendo em vista seu amplo histórico de utilização para as análises ambientais. Para seu desenvolvimento, foram necessários levantamentos bibliográficos para melhor entendimento da causa de ocorrência de erosão de solos por meio da definição de conceitos. Também buscou-se conhecer os trabalhos nacionais e internacionais já realizados sobre este tema, de modo a oferecer a base teórica, procurando cumprir os objetivos gerais e específicos propostos, para melhor entendimento foi realizado um fluxograma figura 7 onde foram apresentados os principais procedimentos metodológicos realizados para a obtenção dos resultados da presente pesquisa.

Figura 7: Proposta metodológica adotada na pesquisa



Fonte: elaborado pela autora (2022).

### 3.1 CLIMA

Os dados utilizados compreendem as séries dos anos de 2010 a 2021, onde se calculou a média mensal para cada ano e com os valores encontrados determinando-se os valores médios de precipitação mensal no período de 11 anos. A data escolhida se deve em decorrência dos dados da estação meteorológica do INMET no município vizinho, Santiago o qual fica localizada mais próxima a Capão do Cipó, essa estação possuía dados a partir do ano de 2009 e como esse ano ainda estava incompleto optou-se pela não utilização do mesmo, começando a partir do ano subsequente.

Para determinar o fator erosividade foi utilizada a equação proposta por (Wischmeier E Smith, 1978), Equação 1.

$$EI_{30} = 67,355 \left( \frac{r^2}{p} \right)^{0,85} \quad (1)$$

El30 - média mensal do índice de erosividade das chuvas (MJ mm ha-1 h -1 ano-1 ); r - precipitação média mensal (mm).

p - precipitação média anual (mm).

O fator erosividade das chuvas (R), que permite a avaliação do potencial erosivo das precipitações de determinado local, sendo possível conhecer a capacidade e o potencial da chuva em causar erosão no solo (Menezes et al., 2011), foi determinado a partir da Equação 2.

$$R = \sum_1^{12} EI_{30} \quad (2)$$

R - fator erosividade das chuvas (MJ mm ha-1 h-1 ano-1 );

El30 - média mensal do índice de erosividade das chuvas (MJ mm ha-1 h -1 ano-1 ).

### 3.2 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA

A análise morfométrica da rede hidrográfica do município de Capão do Cipó , primeiramente, passou pelo processo de refinamento a partir do levantamento dos dados primários que correspondem a Base Cartográfica Vetorial Contínua do Rio

Grande do Sul (HASENACK e WEBER, 2010).

Posteriormente, a base cartográfica passou pelo processo de ajuste manual dos vetores – linhas e polígonos – que correspondem a rede de drenagem e ao rio principal, respectivamente. Esse processo ocorreu no *software* ArcGIS® 10.1 através da utilização da ferramenta *Edit Features*, onde o processo de vetorização realizou-se a partir da sobreposição da rede hidrográfica sobre as imagens de satélite do serviço *Basemap – World Imagery*, disponíveis no SIG.

Com a finalidade de se individualizar as análises do meio físico, optou-se por compartimentar a área de estudo em cinco sub-bacias: Sub- bacia do Arroio Inhacapetum, Rio Inhacapetum, Rio Icamaguã, Arroio Caignaté, Rio Jaguarzinho.

A partir da correção dos traçados dos canais e da definição da sub-bacias da área de estudo, realizou-se a análise e a caracterização dos parâmetros morfológicos da rede hidrográfica do município de Rosário do Sul. Os parâmetros analisados foram: Área das Sub-bacias, Número de Segmentos de Canais Fluviais, Comprimento Total dos Segmentos de Canais Fluviais, Hierarquia Fluvial e Densidade de Drenagem, descritos a seguir:

#### ✓ **Área das Sub-bacias Hidrográficas**

As áreas das sub-bacias do município de Capão do Cipó foram definidas a partir do cálculo realizado na tabela de atributos com o auxílio da ferramenta *Calculate Geometry*, disponível no *software* ArcGIS® 10.1. A área total de cada sub-bacia delimitada dentro do limite municipal, foi expressa em km<sup>2</sup> e o somatório delas correspondem a área total do município.

#### ✓ **Número de Segmentos de Canais Fluviais**

O número total de segmentos de canais fluviais da área de estudo foi definido a partir do somatório dos canais de todas as ordens encontrados no município. Assim como no item anterior, o cálculo foi realizado na tabela de atributos disponível no *software* ArcGIS® 10.1.

#### ✓ **Comprimento dos Segmentos de Canais Fluviais**

De acordo com Trentin (2011), esse atributo representa as variáveis dimensionais expressas geralmente em quilômetros e que permitem uma avaliação das alterações em termos de perda ou ganho na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas nas bacias hidrográficas. Para o município, foi calculado o comprimento mínimo, médio, máximo e total dos segmentos fluviais da área de estudo.

### ✓ **Hierarquia Fluvial**

A definição da hierarquia fluvial da rede hidrográfica do município, seguiu a proposta de classificação estabelecida por Strahler (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1980) em razão dessa ser a que melhor descreve a composição da rede hidrográfica da área de estudo.

A classificação estabelecida diz que os menores canais, ou seja, aqueles que não possuem tributários, são considerados canais de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência; o encontro de dois canais de primeira ordem origina um de segunda ordem; por sua vez, da união de dois canais de segunda ordem surge um canal de terceira ordem e, assim, sucessivamente.

### ✓ **Densidade da Drenagem**

Horton resalta que (1945, apud CHRISTOFOLETTI, 1980), a densidade de drenagem é um parâmetro que relaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área total da bacia. Essa relação pode ser expressa através da seguinte equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (3)$$

Onde:  $Dd$  é a densidade de drenagem;  $Lt$  é o comprimento total dos canais fluviais expressos em km;  $A$  é a área total das bacias hidrográficas expressas em km<sup>2</sup>.

Com base nisso, Strahler (1952) classifica o valor da densidade de drenagem em três grupos:

- ✓ Dd menor que 7,5 km/km<sup>2</sup> - baixa densidade de drenagem
- ✓ Dd entre 7,5 km/km<sup>2</sup> e 10,0 km/km<sup>2</sup> - média densidade de drenagem
- ✓ Dd maior que 10,0 km/km<sup>2</sup> - alta densidade de drenagem

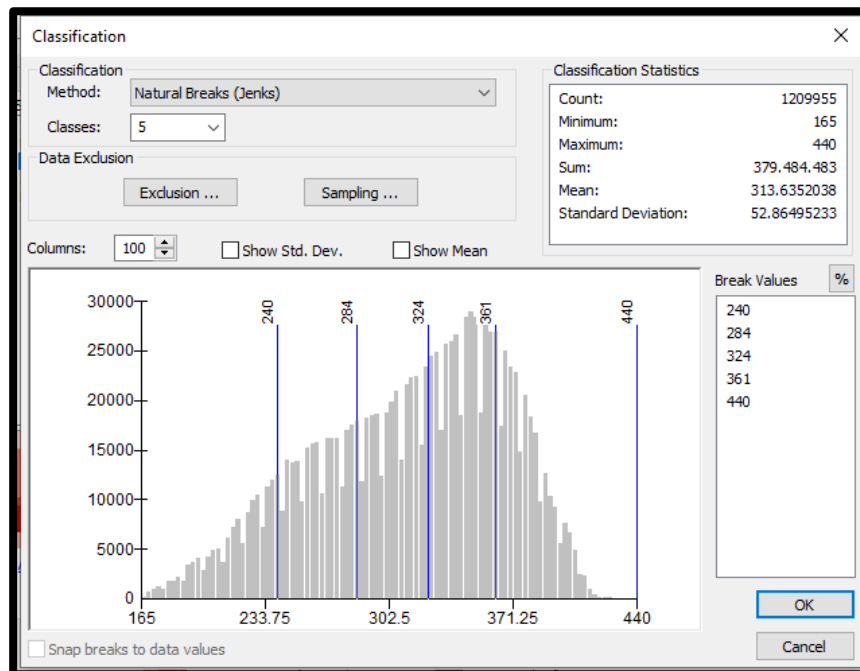
### 3.3 HIPSOMETRIA

Para a realização da análise hipsométrica foi utilizado, como modelo digital de elevação MDE, as Imagens de Radar SRTM com resolução espacial de 90 metros, sobre o qual foi possível fazer a representação de cinco classes hipsométricas através do método de quebras naturais (*Jenks*) do *software* ArcGis® 10.1.4, o que possibilitou a realização de cinco classes hipsométricas representadas nos seguintes intervalos de classes de altitudes (metros): 165 – 240; > 241 – 284; 285-324,> 325-361,>362-440, por meio do histograma de frequência realizado na interface do programa ArcGIS® 10.1 (figura 8).

Em seguida, foi necessário fazer a correção e preenchimento dos *pixels* nulos, utilizando-se a ferramenta Reclassify do *software* ArcGis® 10.1, sempre de acordo com as classes que foram predeterminadas.

Por fim, a classificação das classes altimétricas retificadas foi transformada para o modelo vetorial através da ferramenta *raster to polygon* do *software* ArcGis® 10.1, podendo fazer o agrupamento final em porcentagem e quilômetros quadrados.

Figura 8: Distribuição da frequência das classes hipsométricas



Fonte: Interface do Usuário do ArcGIS® 10.1 (2021).

### 3.4 DECLIVIDADE

O mapa de Declividade de Capão do Cipó foi elaborado a partir da ferramenta *Slope* disponível no módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS 10.1 tendo, como base cartográfica, as imagens ajustadas de Radar SRTM com resolução de 90 metros.

Quanto às classes de declividade, não foram utilizados limites e sim uma classificação livre com todas as declividades pois essa metodologia torna mais precisa a classificação das voçorocas sendo que até 2% de declividade representa áreas planas e, quando associadas a rede hidrográfica, os principais processos geomorfológicos estão ligados a inundação e deposição; o limite de 5% marca o início dos processos erosivos, enquanto 15% representa um limite onde movimentos de massa podem se constituir como processos em vertentes e, além disso, impedem a mecanização agrícola.

### 3.5 CURVATURA DAS VERTENTES

As curvaturas das vertentes são como fatores condicionantes aos fluxos de energia das encostas, que determinam a orientação, a intensidade do escoamento e

a infiltração do fluxo nas encostas.

A análise das curvaturas das vertentes para o município foi realizada através do perfil e do plano de curvatura e foi classificada a partir da utilização da ferramenta *Curvature*, disponível no módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS®10.1 e teve como dado primário o MDE oriundo das imagens ajustadas de RADAR SRTM, com resolução espacial de 90 metros. A partir disso, obteve-se como produto final dois arquivos raster, um referente ao perfil de curvatura e outro ao plano de curvatura.

O perfil de curvatura foi analisado através do histograma de frequência, onde definiram-se os valores negativos ( $< 0,00$ ) para as vertentes convexas e valores positivos ( $> 0,00$ ) para as vertentes côncavas. Destaca-se que não foram utilizados os perfis de curvatura retilíneos, em razão desse tipo de curvatura ser raro na área de estudo e apresentar valor nulo no histograma de frequência.

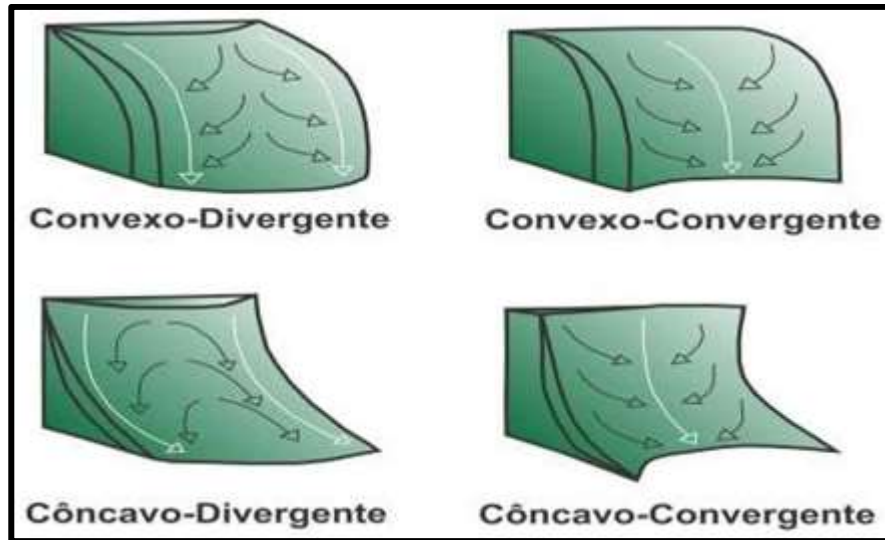
Por sua vez, o plano de curvatura foi classificado com base no histograma de frequência, onde definiram-se os valores negativos ( $< 0,00$ ) para as vertentes convergentes e valores positivos ( $> 0,00$ ) para as vertentes divergentes, conforme representa a Figura 8. Cabe destacar que para o plano de curvatura, não se adotou a classe planar, em função desse tipo de curvatura, assim como nos perfis retilíneos, serem raros na área de estudo e apresentarem valor de curvatura nulo ( $0,00$ ) no histograma de frequência.

Com a finalidade de combinar o perfil e o plano de curvatura das vertentes da área de estudo, foi utilizada a ferramenta *combine* no módulo *Spatial Analyst* disponível no ArcGIS® 10.1 e como entrada de dados, adotou-se os arquivos obtidos na classificação do perfil e do plano de curvatura das vertentes.

Dessa forma, como resultado obteve-se quatro classes para as formas das vertentes da área de estudo: Convexo-Convergente, Convexo-Divergente, Côncavo-Convergente e Côncavo-Divergente, que são ilustradas na Figura 9.



Figura 9: Representação dos perfis e planos de curvatura das vertentes, com a direção do fluxo superficial no perfil de curvatura e no plano de curvatura.



Fonte: Knierin (2015), adaptado de Hugget (1975).

### 3.6 ELEMENTOS DO RELEVO

Os elementos do relevo definidos são classificados em 10 formas básicas: elementos planos, pico, crista ou topos, ressalto, crista secundária, encosta ou vertentes, fossos, vale, base de encosta e escavados. A metodologia aplicada na definição desses elementos é baseada na proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), que analisa a similaridade textural do MDE, que apresentará a variação para mais ou para menos de níveis de cinza entre células vizinhas, considerando um nível específico: se maior “1”, se menor “-1” se igual “0”. Isso é transferido para valores de elevação do terreno de maior, menor ou igual.

Além disso, para caracterizar a superfície do relevo, foram utilizadas não apenas a diferença de altura, mas a distância e o ângulo de direção dos pontos vizinhos em relação a célula central (ângulos Zenith e Nadir). Para esse cálculo, foram traçados perfis topográficos para as principais direções a partir da célula central “*lookup distance*” L extraídos do MDE.

### 3.7 FORMAS DO RELEVO

A definição das formas de relevo do município gaúcho de Capão do Cipó foi realizada com o intuito de individualizar as áreas com determinadas características de homogeneidade, considerando a análise combinada dos atributos morfométricos

da área de estudo: hipsometria, declividade e amplitude das vertentes.

Assim utilizou-se, como base, a proposta de classificação do relevo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1981) conforme representado no quadro 1, sendo essa proposta modificada e adaptada seguindo algumas particularidades do relevo da área de estudo.

Quadro 1: Classificação das formas de relevo do município de Capão do Cipó/RS

| <b>Amplitude Altimétrica</b> | <b>Declividade</b> | <b>Formas do Relevo</b>      |
|------------------------------|--------------------|------------------------------|
| <b>&lt;100 metros</b>        | <2%                | Áreas planas                 |
|                              | 2%-5%              | Colinas Suavemente onduladas |
| <b>&gt;100 metros</b>        | 5%-15%             | Colinas Fortemente onduladas |

Fonte: Adaptada do IPT (1981).

A elaboração do mapa de formas de relevo do município gaúcho de Capão do Cipó realizou-se a partir do processo de vetorização manual, onde foram sobrepostos os *layers* de hipsometria e declividade e analisados perfis topográficos para determinação de amplitudes de encostas.

### 3.8 LITOLOGIA

A análise da distribuição das litologias encontradas no município de Capão do Cipó realizou-se com base no “Mapeamento do IBGE, o qual apresentou um melhor resultado comparado com outras fontes disponíveis. A validação e detalhamento foram obtidos com a realização dos trabalhos de campo através de estradas e caminhos. Foram descritos afloramentos litológicos e através de textura e estruturas observadas foi possível comparar com os dados disponíveis e classificar as litologias nas diferentes formações.

### 3.9 SOLO

A análise das classes de solos foi baseada no “Mapeamento dos Solos do Brasil” desenvolvido pelo IBGE (2013) na escala 1:250.000.

Após a obtenção das informações, as classes de solos da área de estudo foram trabalhadas em uma escala de 1:50.000 através de análise do relevo e de trabalhos

de campo com descrição de perfis em cortes de estrada.

### 3.10 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Para a realização do uso e ocupação da Terra do município utilizou-se as imagens de satélite obtidas através do *website* do USGS, disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>, sendo que a data da imagem foi de 24/12/2021. O processo de classificação das imagens foi realizado por meio da utilização do *software* Envi®, onde amostras foram coletadas referentes as classes de uso da terra estabelecidas na área de estudo. Posterior a isso, a técnica de edição dos mapas e os cálculos das áreas foi realizada no ArcGIS®.

É importante destacar que, para a classificação das imagens no ambiente do *software* Envi®, foi utilizado o algoritmo da máxima verossimilhança (MAXVER), que consiste em uma ferramenta de classificação supervisionada, utilizando parâmetros estatísticos visando as áreas homogêneas ou aquelas que possuem o mesmo valor numérico.

### 3.11 IDENTIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS

Para identificação das voçorocas foi utilizada como base a imagem de satélite disponível no Google Satélite, no sistema de Informações Geográficas QGIS 3.1, através da ferramenta *QuickMap Services*, tendo acesso através de uma instalação de completo no *software*, sendo um repositório de séries temporais de imagens de satélite de alta resolução (normalmente cerca de 0,5 m) em visualização RGB - visível - (Karydas e Panagos, 2020).

Dessa forma, o processo de identificação das feições erosivas lineares foi realizado de forma manual, por interpretação visual, considerando aspectos de formas, tonalidades, texturas e sombras, de acordo com método adotado por outros autores (OLIVEIRA et al 2013; BOARDMAN 2016; KNIERIN et al 2018; KARYDAS E PANAGOS 2020). Para feições ao longo de um mesmo fluxo, porém interrompidas ainda que por alguns metros, estas foram digitalizadas como vetores separados de acordo com a metodologia de Karydas e Panagos (2020).

### 3.12 RELAÇÃO ENTRE OS ATRIBUTOS AMBIENTAIS E OS PROCESSOS DE VOÇOROCAS

De posse do mapeamento dos processos erosivos lineares e da modelagem do relevo, foi realizado o cruzamento dos *layers* (camadas) - dos processos erosivos lineares com os diferentes atributos avaliados através da ferramenta *Intersect*, do módulo *Analysis*, do ArcGIS® 10.1.

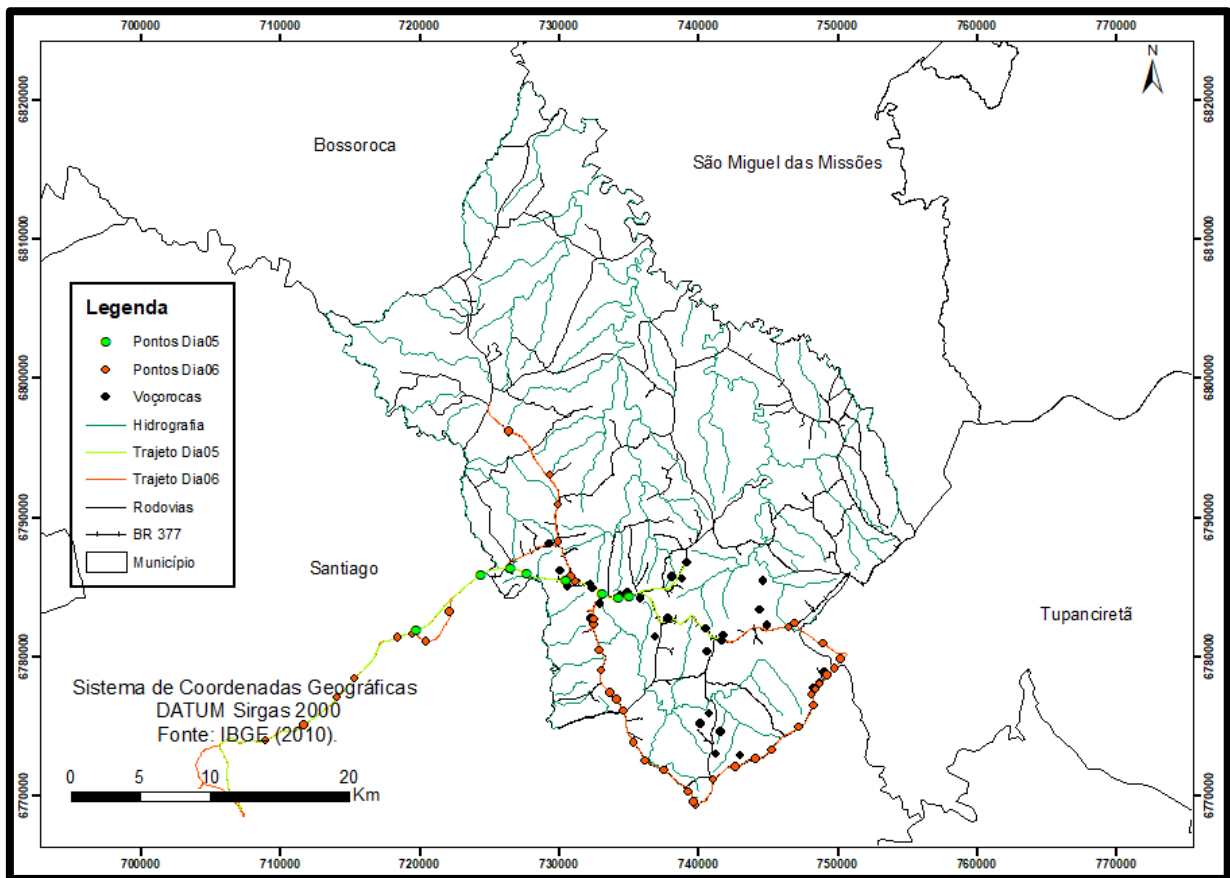
### 3.13 TRABALHOS DE CAMPO

Os trabalhos de campo no município foram realizados de forma investigativa, a fim de identificar os litótipos aflorantes, as formas de relevo, os solos predominantes, a configuração do uso da terra e entender como os processos erosivos se comportam em diferentes lugares do município, sendo que anteriormente já havia sido realizado um levantamento prévio das áreas com a presença de voçorocas, através de imagens do google e campos anteriores realizados pelo LAGEOLAM.

O trabalho de campo foi realizado nos dias 05 a 07 de novembro de 2021, no dia cinco e seis de novembro foram realizadas coletas de posto, sobrevoo com drone, para retirada de fotografias aéreas, também foram retiradas fotografias em solo. Além disso, destaca-se a utilização de um receptor GPS para a coleta de pontos de controle obtidos durante os trabalhos de campo.

As análises de campo foram fundamentais nos estudos pois possibilitou a análise dos atributos morfológicos (cores do solo, estrutura e forma, textura e consistência), físicos (densidade aparente do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria). Também foi possível validar informações realizadas em laboratório em relação aos mapas temáticos e fazer alterações nos que apresentavam alguma variação divergentes as encontradas em campo.

Figura 10: Trajetos e pontos coletados em campo



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 3.2.14 CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS DE ACORDO COM OS TIPOS E FORMAS

Nesse capítulo foi realizado uma classificação dos tipos de voçorocas (conectada, desconectada e integrada) foram verificados diretamente em campo pelo modelo de evolução de voçorocas de Oliveira (1992). A forma (retangular, bifurcada, ramificada, linear e irregular – também foi observada diretamente em campo e ajudou a entender a origem e até mesmo o estágio de evolução de cada incisão. A adoção de uma classificação por tipo e forma ajuda a estabelecer o estágio de evolução das voçorocas (VIEIRA, 2008).

## 4 RESULTADOS

Nesse capítulo será apresentado o levantamento dos diferentes atributos pesquisados durante o período da pesquisa que caracterizam o ambiente no município de Capão do Cipó, os quais foram subdivididos em subitens.

### 4.1 EROSIVIDADE DAS CHUVAS QUE OCORREM NO MUNICÍPIO

No período de 2010 a 2020, a precipitação pluvial média anual, em Capão do Cipó, foi de 1291,33mm (Tabela 2). O ano de 2010 foi o de maior pluviosidade, com o total de chuvas de 1527,60 mm, enquanto o ano de menor pluviosidade foi 2020 com 505.4 mm de chuva. Em relação às médias mensais, os meses de janeiro, outubro e dezembro, possuem a maior pluviosidade média, respectivamente com 218, 191, 173 mm de chuva. Nota-se, ainda, que os meses de agosto, julho e junho foram os de menor pluviosidade média mensal, com 82, 85, e 114 mm de chuva, respectivamente média mensal (quadro 2).

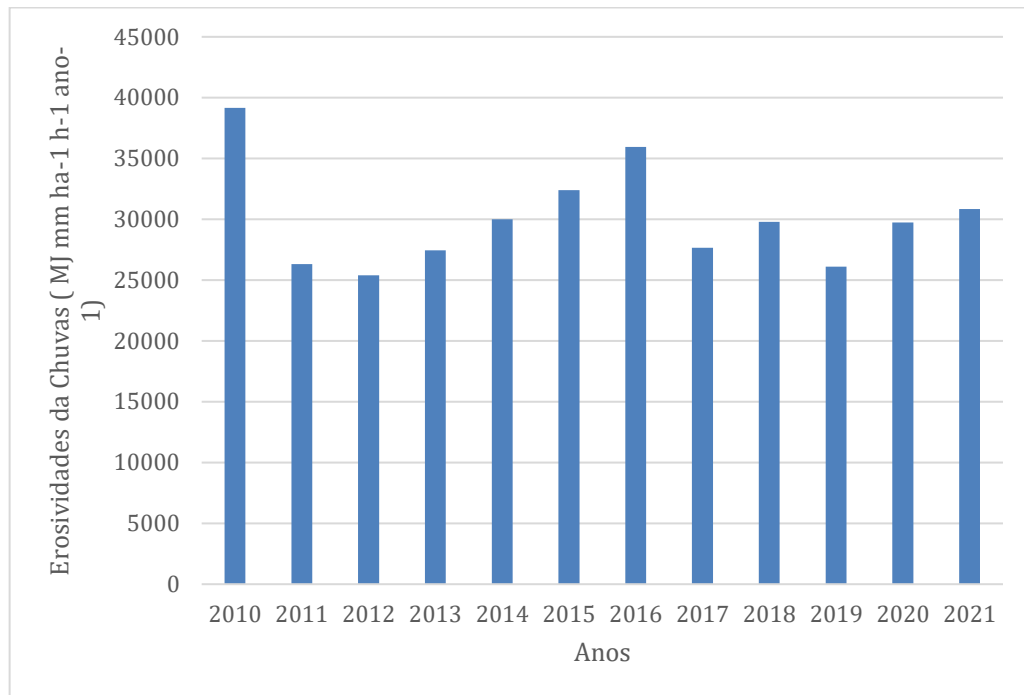
Quadro 2: Valores mensais, anuais e médios mensais da precipitação pluvial (mm) em Capão do Cipó, no período de 2010 a 2021.

| Ano          | 2010          | 2011          | 2012          | 2013          | 2014          | 2015        | 2016          | 2017          | 2018          | 2019        | 2020         | 2021          | Média             |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|---------------|-------------------|
| Jan          | 421.6         | 103           | 64            | 181.8         | 152.2         | 273.8       | 78.2          | 247           | 289.4         | 482         | 155.2        | 172.4         | 218.383333        |
| Fev          | 222.6         | 197.8         | 83.4          | 141.4         | 151.4         | 114         | 115           | 267           | 35.6          | 88.8        | 80.6         | 128.6         | 135.516667        |
| Mar          | 51            | 106           | 73            | 0             | 240.6         | 129         | 197.4         | 220.2         | 200.4         | 203         | 19.2         | 85            | 127.066667        |
| Abr          | 66.8          | 133.8         | 86.4          | 0             | 81.2          | 99.8        | 165.6         | 292.4         | 163.2         | 161.8       | 90.8         | 118.8         | 121.716667        |
| Mai          | 9.4           | 69.2          | 52.6          | 0             | 194.2         | 128.8       | 116.2         | 369.4         | 114.6         | 219.2       | 0            | 198.2         | 122.65            |
| Jun          | 13.6          | 100           | 81.4          | 0             | 221.2         | 182.8       | 27.6          | 159.2         | 151.4         | 39.6        | 159.6        | 241           | 114.783333        |
| Jul          | 207.6         | 0             | 59.8          | 116.2         | 266           | 124.2       | 66.6          | 4.6           | 0             | 155.4       | 0            | 26.4          | 85.566667         |
| Ago          | 32.4          | 88            | 94            | 92.4          | 63.4          | 105.6       | 114.4         | 243.8         | 0             | 62.4        | 0            | 91.4          | 82.316667         |
| Set          | 209.4         | 112.2         | 112.2         | 67.4          | 0             | 156.8       | 36.8          | 162           | 213.6         | 90.8        | 0            | 150           | 109.266667        |
| Out          | 66.2          | 162           | 384.8         | 139.6         | 0             | 421         | 296.4         | 220.2         | 146.4         | 373         | 0            | 88.8          | 191.533333        |
| Nov          | 48.4          | 77            | 72.8          | 270.4         | 150.4         | 271.6       | 260.8         | 90.2          | 332.6         | 181.2       | 0            | 0             | 146.283333        |
| Dez          | 178.6         | 33.2          | 346           | 143           | 262.8         | 400.6       | 270.6         | 152.6         | 205.6         | 91.8        | 0            | 0             | 173.733333        |
| <b>Total</b> | <b>1527.6</b> | <b>1182.2</b> | <b>1510.4</b> | <b>1152.2</b> | <b>1783.4</b> | <b>2408</b> | <b>1745.6</b> | <b>2428.6</b> | <b>1852.8</b> | <b>2149</b> | <b>505.4</b> | <b>1300.6</b> | <b>1628.81667</b> |
| Máx          | 421.6         | 197.8         | 384.8         | 270.4         | 266           | 400.6       | 296.4         | 369.4         | 332.6         | 482         | 159.6        | 198.2         | 314.95            |
| Min          | 9.4           | 0             | 64            | 0             | 0             | 0           | 27.6          | 4.6           | 0             | 39.6        | 0            | 0             | 12.1              |

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os dados de chuva para cada ano permitiram definir a erosividade anual das chuvas. No período do estudo variou de 25.405 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> em 2013 a 39.167 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> no ano de 2010 (figura 11).

Figura 11: Erosividade anual das chuvas de Capão do Cipó, determinada pelo índice EI30, no período de 2010 a 2021.

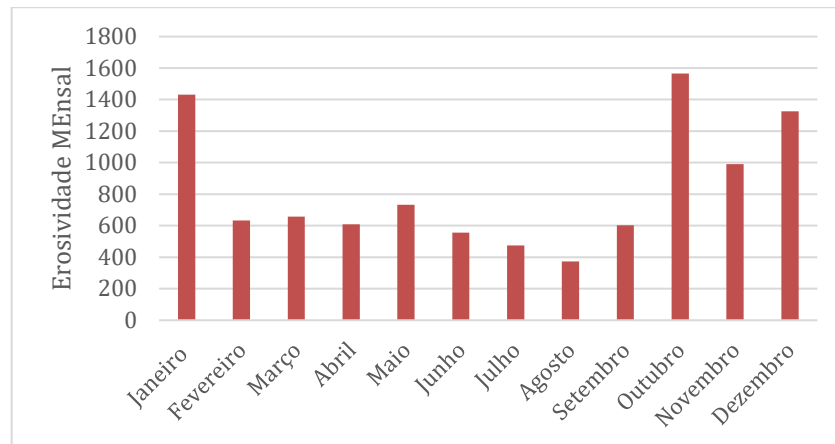


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Com relação a erosividade mensal pode-se observar que a erosividade média mensal das chuvas de Capão do Cipó, variou de 372,43 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no mês de agosto, a 1.565,07 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, no mês de outubro (figura 12). Observou-se que os maiores valores de EI30 concentraram-se nos meses de janeiro, outubro novembro e dezembro e os menores nos meses de junho, julho e agosto. Os altos valores de erosividade nos meses de outubro novembro e dezembro refletem os valores excepcionais de chuva registrados nesses meses.

Os dados mostram que a região onde se localiza o município de Capão de Cipó apresenta o valor do fator R, da Equação Universal de Perdas do Solos, de 9950.02 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, considerada, portanto, com classe de erosividade “Muito Forte”, favorecendo o desenvolvimento de processos erosivos de grande porte.

Figura 12: Erosividade Média Mensal



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.2 ANÁLISE DA REDE HIDROGRÁFICA

O município de Capão do Cipó possui suas terras drenadas por dois sistemas hidrográficos: na porção sul pela sub-bacia hidrográfica Rio Ibiquí, e na porção norte pela sub-bacia hidrográfica Iquamaquã. De uma forma mais ampla, o município está inserido na Região Hidrográfica do Rio Uruguai, figura 13.

O quadro 3 apresenta os dados de quantificação dos segmentos de canais fluviais do município.

Quadro 3- Quantificação da ordem dos canais da área de estudo.

| <b>Ordem</b>   | <b>L</b>     | <b>Lt min</b>    | <b>Lt med</b>  | <b>Lt max</b> | <b>LT</b>       |
|----------------|--------------|------------------|----------------|---------------|-----------------|
| 1 <sup>a</sup> | 3.204        | 0,002 km         | 1,23 km        | 8,29 km       | 4.336,58 km     |
| 2 <sup>a</sup> | 523          | 0,003 km         | 1,89 km        | 12,26 km      | 1.153, 25 km    |
| 3 <sup>a</sup> | 245          | 0.002 km         | 5,43 km        | 21,76 km      | 642,71 km       |
| 4 <sup>a</sup> | 33           | 0,008 km         | 11,23 km       | 41,31 km      | 367,14 km       |
| 5 <sup>a</sup> | 6            | 3,98 km          | 17,89km        | 36,23 km      | 123,21km        |
| 6 <sup>a</sup> | 3            | 25,36km          | 12,17 km       | 53,52km       | 71,82 km        |
| <b>Total</b>   | <b>4.014</b> | <b>29.352 km</b> | <b>49,84km</b> | <b>173,37</b> | <b>6.694,46</b> |

Legenda: Número total de segmentos de canais (L), Comprimento mínimo dos canais (Lt min), Comprimento médio dos canais (Lt med), Comprimento máximo dos canais (Lt max), Comprimento total dos canais (Lt).

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os sistemas hidrográficos foram divididos em cinco sub-bacias, assim denominadas: Arroio Inhacapedun, Rio Inhacapedun, Rio Icamaquã, Rio Caiguaté, Rio Jaguarzinho.



Na Tabela 6 é apresentada a síntese dos parâmetros morfométricos que caracterizam as sub-bacias na área de estudo. A tabela 6 está mostrando as sub-bacias definidas no município, além da hierarquia fluvial conforme Strahler (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quadro 4- Caracterização morfométrica das sub-bacias do município.

| <b>Sub- bacias</b> | <b>AM</b> | <b>Lt</b> | <b>Dd</b>               | <b>H</b>       | <b>Nº Voçorocas</b> |
|--------------------|-----------|-----------|-------------------------|----------------|---------------------|
| Arroio Inhacapetum | 19,565%   | 226,81 km | 1,22 km/km <sup>2</sup> | 6 <sup>a</sup> | 0                   |
| Rio Inhacapetum    | 41,23%    | 960,17 km | 1,32 km/km <sup>2</sup> | 6 <sup>a</sup> | 10                  |
| Rio Icamaquã       | 15,25%    | 478,29 km | 1,24 km/km <sup>2</sup> | 5 <sup>a</sup> | 5                   |
| Rio Caiguaté       | 5,96%     | 253,42 km | 1,26 km/km <sup>2</sup> | 4 <sup>a</sup> | 1                   |
| Rio Jaguarzinho    | 18,25%    | 415,74 km | 1,36 km/km <sup>2</sup> | 6 <sup>a</sup> | 18                  |
| <b>Total</b>       | 100%      | 6.694,46  | 1,31 km/km <sup>2</sup> | 6 <sup>a</sup> | 34                  |

Legenda: Área em porcentagem no município (AM), Comprimento total dos canais (Lt), Densidade de Drenagem (Dd), Hierarquia Fluvial(H).

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

◆ Sub- bacia Hidrográfica do Arroio Inhacapetun

A sub-bacia do Sub- bacia Hidrográfica do Arroio Inhacapetun localiza-se na porção noroeste do município, contando com segmentos de canais fluviais que somam 226,81 km, conferindo uma densidade de drenagem de 1,22 km/km<sup>2</sup> e hierarquia fluvial de 6<sup>a</sup> ordem. Em relação as voçorocas essa bacia não possui nem uma, sendo a única sub- bacia sem a existência das mesmas.

◆ Sub- bacia Hidrográfica do Rio Inhacapetun

A sub-bacia do Sub- bacia Hidrográfica do Rio Inhacapetun localiza-se na porção leste do município, contando com segmentos de canais fluviais que somam 960,17 km, conferindo uma densidade de drenagem de 1,32 km/km<sup>2</sup> e hierarquia fluvial de 6<sup>a</sup> ordem. Em relação as voçorocas essa bacia possui dez voçorocas distribuídas na porção mais ao sul da bacia.

◆ Sub- bacia Hidrográfica do Rio Icamaquã

A sub-bacia do Sub- bacia Hidrográfica do Rio Inhacapetun localiza-se na porção sudoeste do município, contando com segmentos de canais fluviais que somam 478,29 km, conferindo uma densidade de drenagem de 1,24 km/km<sup>2</sup> e hierarquia fluvial de 5<sup>a</sup> ordem. Em relação as voçorocas essa bacia possui uma voçoroca localizada na porção mais ao sul da bacia.

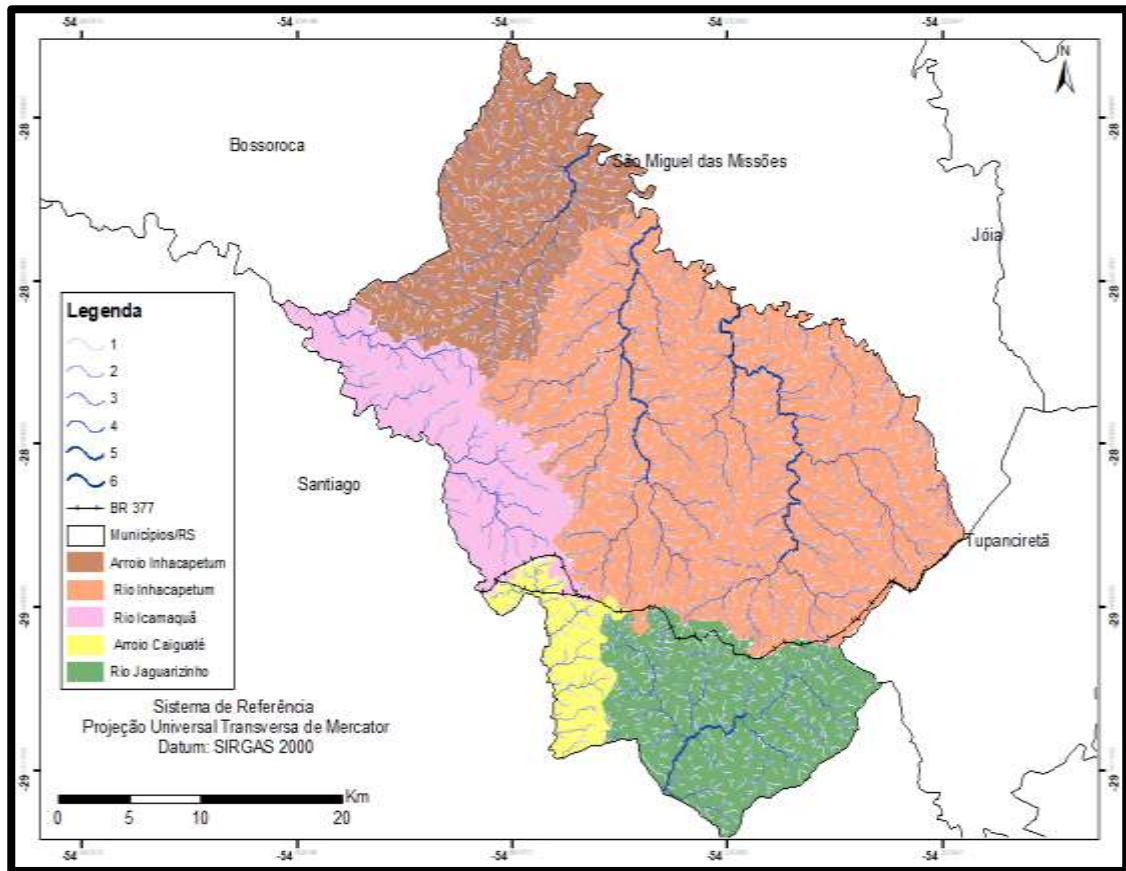
◆ Sub- bacia Hidrográfica do Rio Caignatê

A sub-bacia do Sub- bacia Hidrográfica do Rio Caignatê localiza-se na porção sul-sudoeste do município, contando com segmentos de canais fluviais que somam 253,42 km, conferindo uma densidade de drenagem de 1,26 km/km<sup>2</sup>e hierarquia fluvial de 4<sup>a</sup> ordem. Em relação as voçorocas essa bacia possui cinco voçorocas localizada na porção norte e leste da bacia.

◆ Sub- bacia Hidrográfica do Rio Jaguarzinho.

A sub-bacia do Sub- bacia Hidrográfica do Rio Jaguarzinho localiza-se no extremo sul do município, contando com segmentos de canais fluviais que somam 415,74 km, conferindo uma densidade de drenagem de 1,36 km/km<sup>2</sup>e hierarquia fluvial de 6<sup>a</sup> ordem. Em relação as voçorocas essa bacia possui dezoito voçorocas localizada na porção sul, norte e leste da bacia.

Figura 13: Distribuição das sub-bacias hidrográficas no município de Capão do Cipó/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### 4.3 HIPSOMETRIA

No município de Capão do Cipó as menores altitudes estão registradas na região norte do município. Ocorrem entre 175 a 241m, compreendendo 12,56% da área mapeada. Essa região do município está diretamente ligada a planície de inundação dos rios Icamaquã e Inhacpetum ocupando uma área de 11.385,87 ha.

As altitudes classificadas entre 241 e 285m estão presente em 18,85% do total da área; estando mais na porção noroeste do município; já as altitudes de 285 a 324m corresponde a 21,62% da área, estando presente na porção oeste, centro e leste da área de estudo; nas classes de 324 a 361m podemos destacar que ela abrange 27,67% da área, estando ao centro, sul e leste do município; sendo que as maiores altitudes foram localizadas nas porções oeste e sul da área em estudo, com altimetrias que variam de 361 a 435m caracterizando 19,30% da área do município. Sendo que

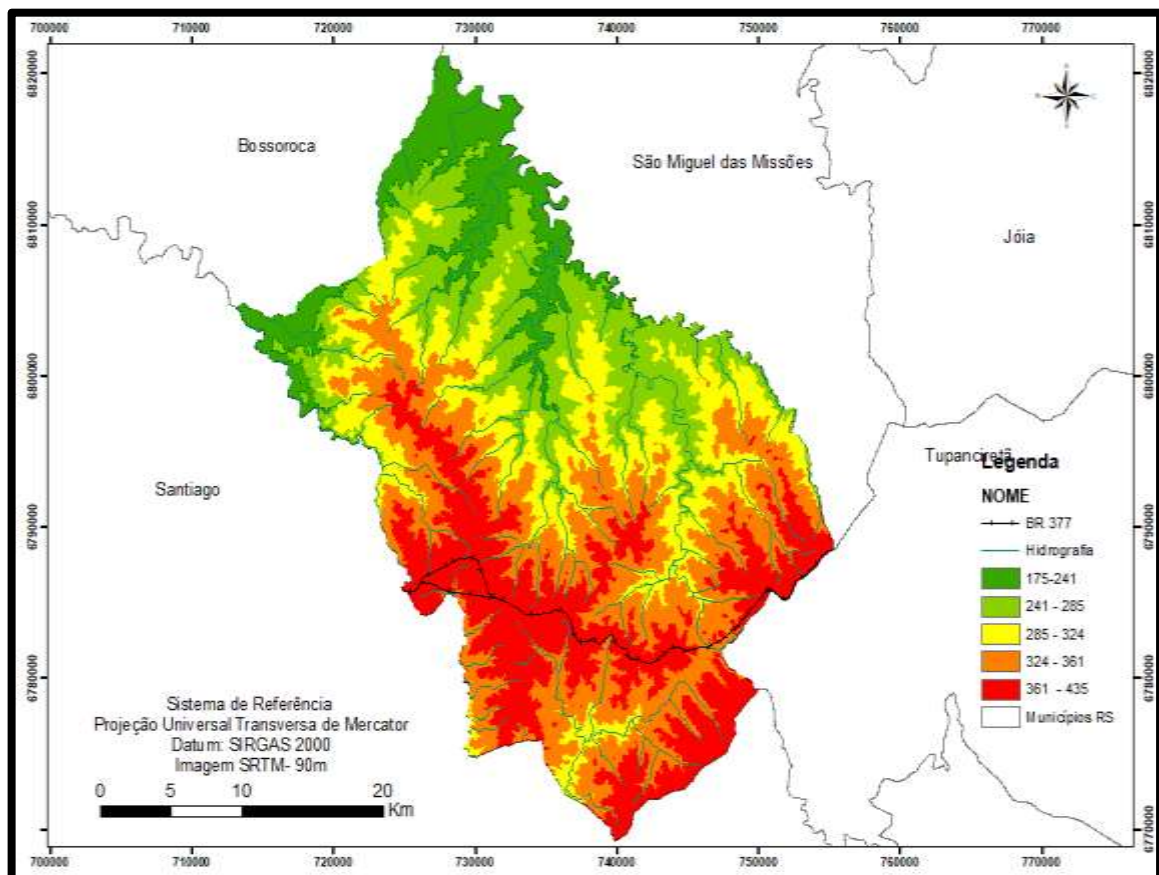
as mesmas estão identificadas nas classes do mapa hipsométrico, representados na figura 14 a seguir, tendo uma amplitude altimétrica de 260m, conforme representa o quadro 5.

Quadro 5: Classes de Hipometria

| <b>Classes Hipsométricas</b> | <b>Área (%)</b> |
|------------------------------|-----------------|
| 175-241 m                    | 12,56           |
| 241-285 m                    | 18,85           |
| 285-324 m                    | 21,62           |
| 324-361m                     | 27,67           |
| 261-435m                     | 19,30           |
| <b>Total</b>                 | <b>100</b>      |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 14: Hipsometria de Capão do Cipó



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.4 DECLIVIDADE

Para elaboração do mapa de declividade, foram atribuídos valores a qual foi classificada de forma livre sem a delimitação de classes fixas, sendo que sua

interpretação resultou na menor variação próximo ao percurso dos arroios Lajeado Passo da Areia, Lajeado Passo da Corticeira e o Arroio Carovi onde foi registrada declividade de até 2% (quadro 6).

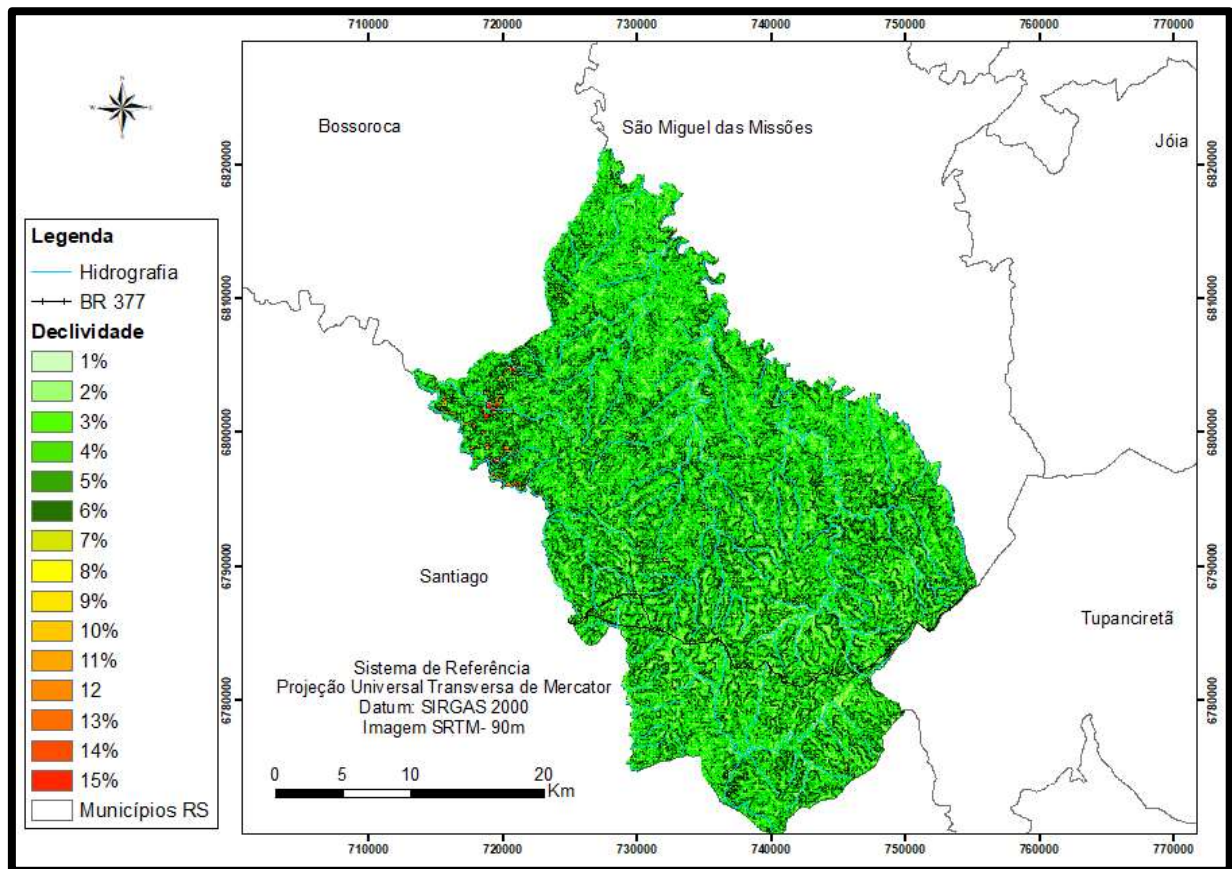
A classe que teve suas declividades variando até 6 % foi a que teve maior abrangência na área em estudo com 53,22%, representando uma área de relevos suaves. As declividades entre 7 e 15% ocorrem somente na porção Noroeste do município (Figura 15).

Quadro 6:Classes de Declividade

| <b>Classes de Declividade</b> | <b>Área (%)</b> |
|-------------------------------|-----------------|
| 1%                            | 5,42%           |
| 2%                            | 8,75%           |
| 3%                            | 7,66%           |
| 4%                            | 6,95%           |
| 5%                            | 9,68%           |
| 6%                            | 7,78%           |
| 7%                            | 6,63%           |
| 8%                            | 5,69%           |
| 9%                            | 7,65%           |
| 10%                           | 8,63%           |
| 11%                           | 6,36%           |
| 12%                           | 5,96%           |
| 13%                           | 6,95%           |
| 14%                           | 3,89%           |
| 15%                           | 1,73%           |
| <b>Total</b>                  | <b>100</b>      |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 15: Declividade de Capão do Cipó



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.5 CURVATURA DAS VERTENTES EM PLANO E PERFIL

As vertentes com plano convergente concentram o fluxo superficial, fazendo com que o escoamento em solo exposto, aliado da proteção da vegetação nativa, possa desencadear o processo de formação de ravinas e voçorocas. O plano de vertente divergente dispersa o fluxo superficial, mas pode dar origem à erosão laminar ou a fluxos difusos em sulcos, dependendo das características do solo.

O perfil convexo pode indicar processo superficial mais próximo ao topo da vertente, com menor velocidade de escoamento superficial, enquanto o perfil côncavo indica maior velocidade de fluxo do escoamento e maior possibilidade de processo na base da vertente.

Na área de estudo as vertentes côncavas convergente ocorrem em 34,12%, as côncavas divergentes com 17,45%, as convexas convergentes com 16,13% e as convexas divergentes com 32,30% como representa tabela 9. Observa-se a predominância das vertentes côncavo convergente que corresponde ao segmento

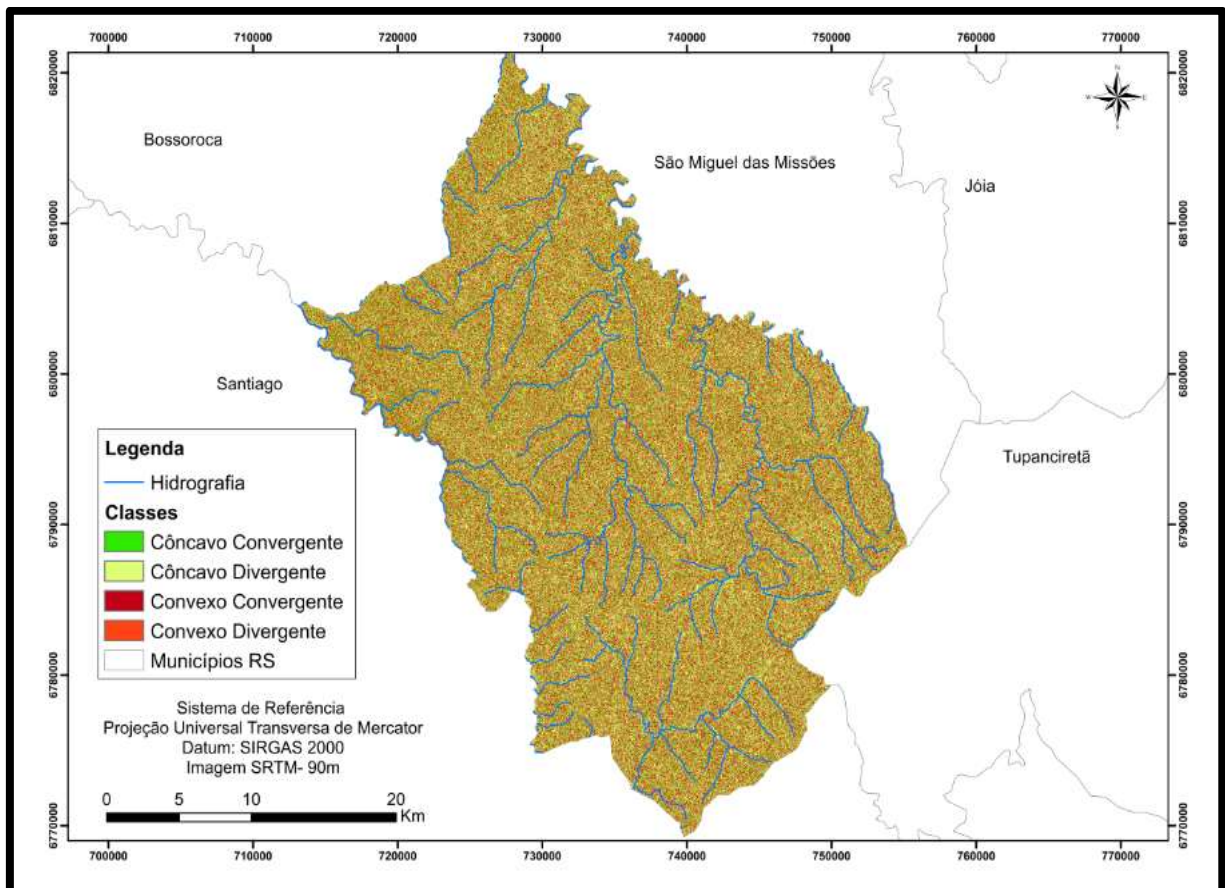
médio até a base das vertentes, caracterizando-se pelo acúmulo e a concentração máxima dos fluxos de escoamento das vertentes. Nos sistemas de drenagens, essa classe corresponde ao leito dos segmentos dos canais fluviais, principalmente os de menor hierarquia, como os de primeira e segunda ordem conforme quadro 7.

Quadro 7: Classes Curvatura das Vertentes

| <b>Classe</b>       | <b>Área (%)</b> |
|---------------------|-----------------|
| Côncavo-Convergente | 34,12           |
| Côncavo-Divergente  | 17,45           |
| Convexo-Convergente | 16,13           |
| Convexo-Divergente  | 32,30           |
| <b>Total</b>        | <b>100</b>      |

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 16: Curvatura das Vertentes em Plano e Perfil



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

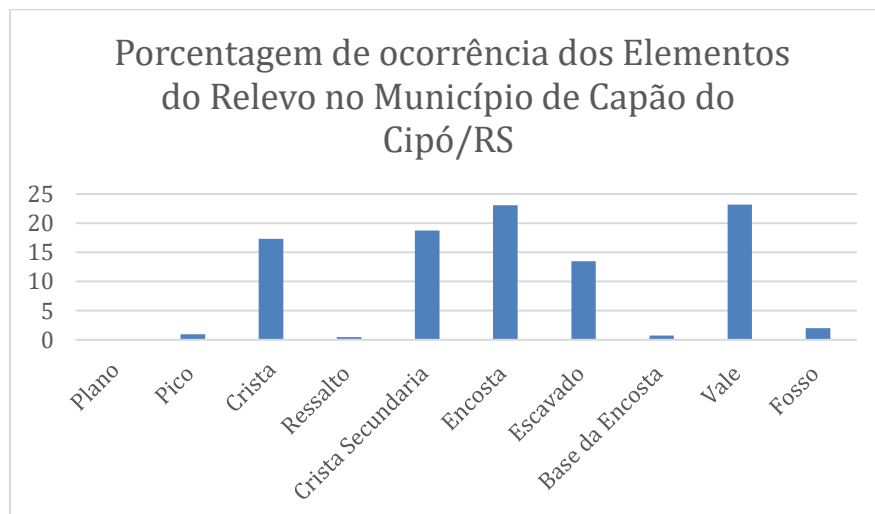
#### 4.6 ELEMENTOS DO RELEVO

Os elementos do relevo foram identificados em 10 formas, sendo eles:1.(Plano) 2.(Pico) 3.(Crista) 4.(Ressalto) 5.(Crista Secundária) 6.(Encosta) 7.(Escavado) 8.(Base da Encosta) 9.(Vale) 10.(Fosso), conforme mostra a figura 18.

Com relação a distribuição espacial associada no município de Capão do Cipó/RS, os elementos de relevo que mais se destacaram foi o vale com 233,89km<sup>2</sup> sendo representado por 23,18% da área total do município, posteriormente o elemento encosta identificado com 232,74km<sup>2</sup>, sendo 23,07%, a crista secundária com 188,88 km<sup>2</sup> e com 18,71%, o que reflete na criação de colinas onduladas. devidamente seguido pelo elemento crista com 174,65km<sup>2</sup> e 17,31% da área.

O elemento escavado tem cerca de 136,06km<sup>2</sup> sendo 13,48% da área em estudo, e estão diretamente relacionados aos elementos de pico. As áreas Planas ocorrem somente em 1,2km<sup>2</sup> e se caracterizam por formas sem elevações acentuadas, por ter apenas 0,12% da área. Já os ressaltos ocupam 4,46km<sup>2</sup> sendo 0,44% da área e a base da encosta com 7,49km e 0,74% da área total do município de acordo com a figura 17.

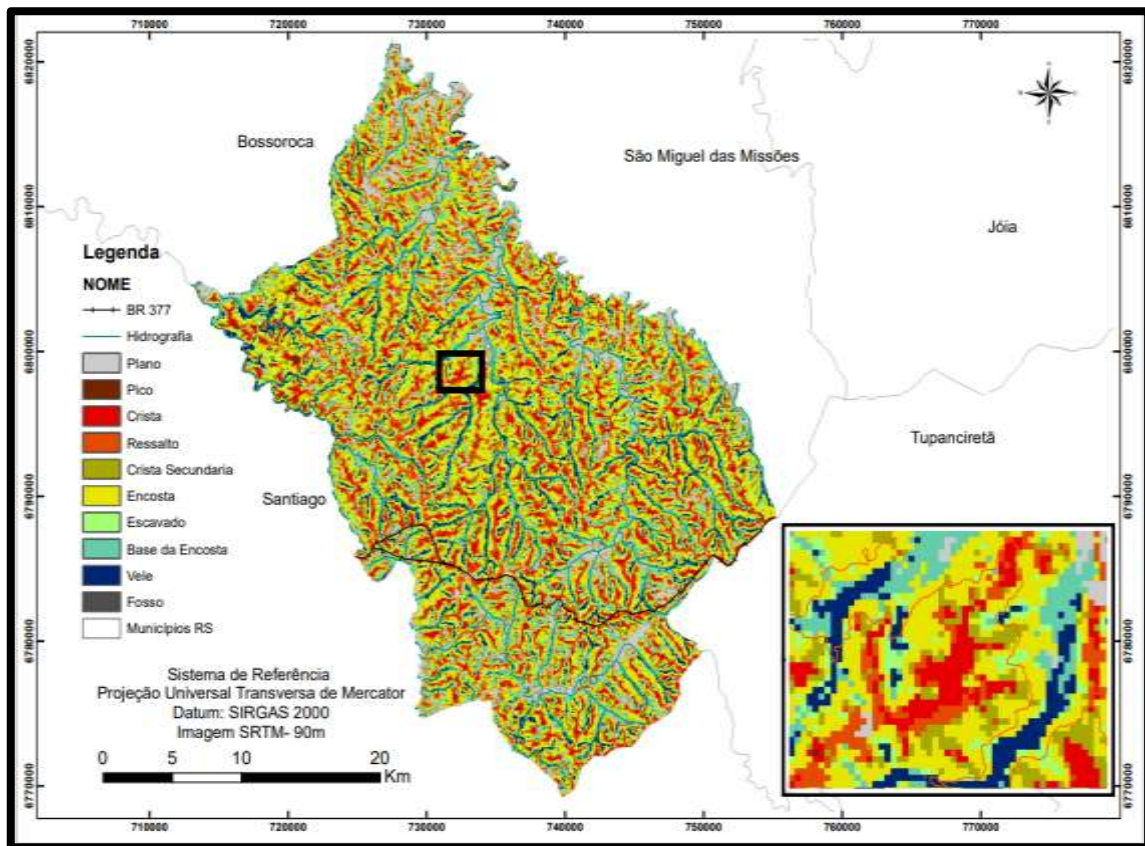
Figura 17:Porcentagem de ocorrência dos elementos do Relevo no Município de Capão do Cipó.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).



Figura 18: Elementos do Relevo



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.7 FORMAS DE RELEVO

Através da análise de alguns parâmetros morfométricos do relevo, definiu-se as unidades morfológicas ou padrões de relevo e suas áreas com formas homogêneas do município (figura 19).

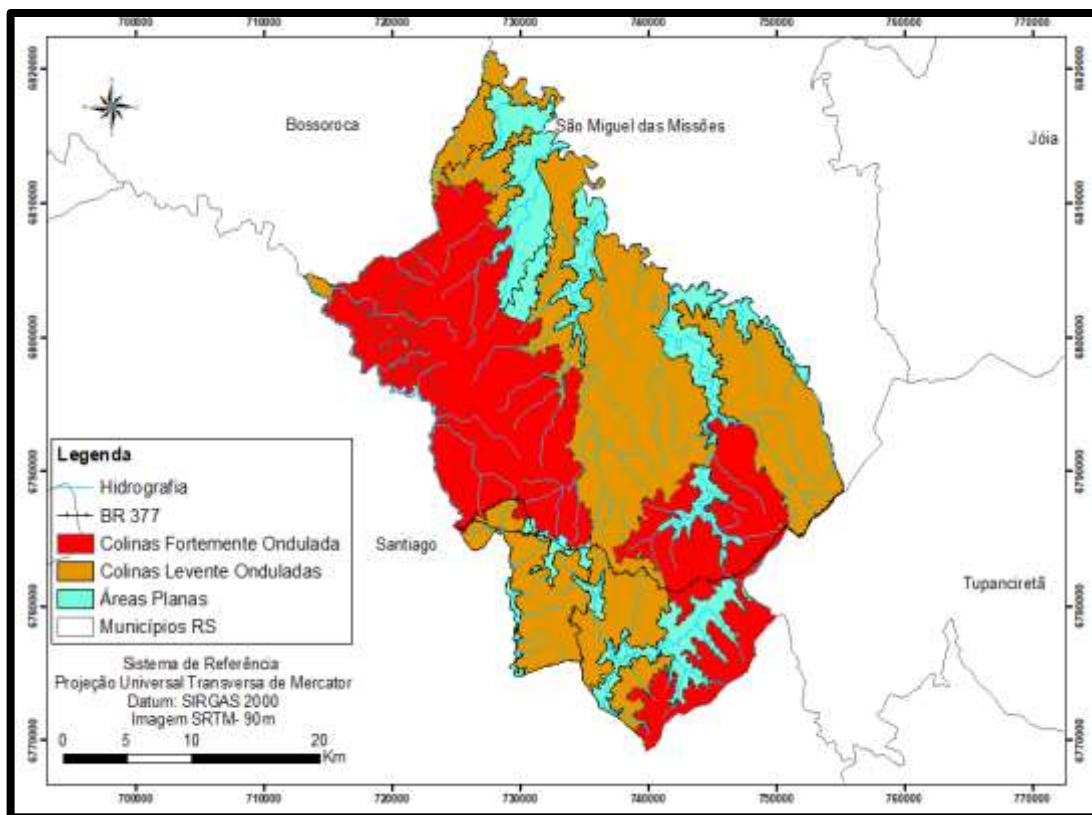
Foram definidas quatro formas de relevo, sendo elas:

- a) **Áreas Planas:** Áreas que a declividade não ultrapassa 2% sendo comumente associada a planície de inundação de um local, entretanto não é impossível de localizar, essa unidade em topos de morro ou base de encosta, sendo se encontram em 19,32% do total do município.
- b) **Colinas suavemente Onduladas:** São aquelas áreas que apresentam declividade entre 2 e 5% e altimetria de aproximadamente 45 metros. É nessa categoria que começam a aparecer voçorocas de pequeno porte, que se encontram em 43,68% do total do município.

- c) Colinas Fortemente Onduladas: É uma unidade que fica maioritariamente entre as declividades 5 e 15%, sendo que é uma classe que possui limitações com relação a agricultura, ocupando uma porcentagem de 37,30% do total do município.

Com relação a quantificação das classes, observou-se que há predominância de colinas, tanto onduladas quanto levemente onduladas, sendo que estão distribuídas em quase toda área de estudo.

Figura 19: Formas de Relevo Município de Capão do Cipó/RS



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.8 LITOLOGIA

Na área de estudo identificou-se as áreas de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral relacionada ao magmatismo fissural, que afetou a Bacia do Paraná no Mesozóico, quando da desagregação do Continente Gondwana, formando uma espessa cobertura de lavas e uma intrincada rede de diques e soleiras. Conforme (IBGE) ocorrem na área as Fácies Parapanema e a Fácies Caxias.

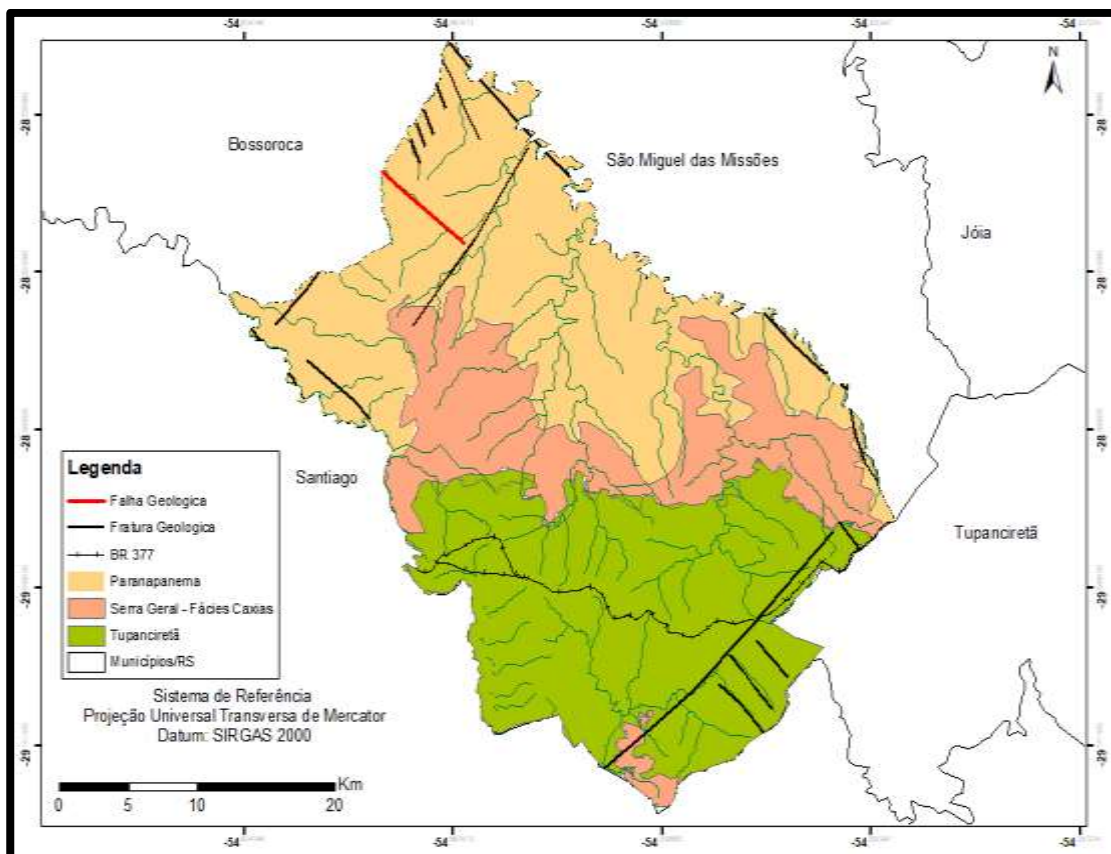
A Facie Paranapanema se encontra localizada no extremo norte do município ocupando uma área de 46% do total do município, sendo a unidade com maior representatividade na área de estudos.

A Facie Caxias se encontra localizada em uma faixa central no município ocupando uma porção de 20% da área de estudo, sendo a unidade com menor representatividade dentro município.

Além dessas unidades litológicas foi definido uma unidade de rocha sedimentar caracterizada como pertencente a Formação Tupanciretã encontra-se localiza no extremo sul do município ocupando uma área de 34% da área de estudo conforme figura 20.

Essa litologia é formada arenitos de cor avermelhada, às vezes amarelo esverdeados, com granulação variável de fina a média, mal classificados, eventualmente conglomeráticos e constituídos essencialmente de quartzo e vulcânicas alteradas. Menegotto, Sartori e Maciel Filho (1968) reconheceram-na como pós-Serra Geral.

Figura 20:Litologia do Município de Capão do Cipó



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.9 SOLOS

De acordo com a classificação do IBGE(2010), o município de Capão do Cipó está dividido em 4 tipos de solos sendo eles; Latossolo Vermelho Distrófico; Latossolo Vermelho Ditrófico, Latossolo Vermelho Alumínio, Neossolo Litólico Chemossólico, figura 21.

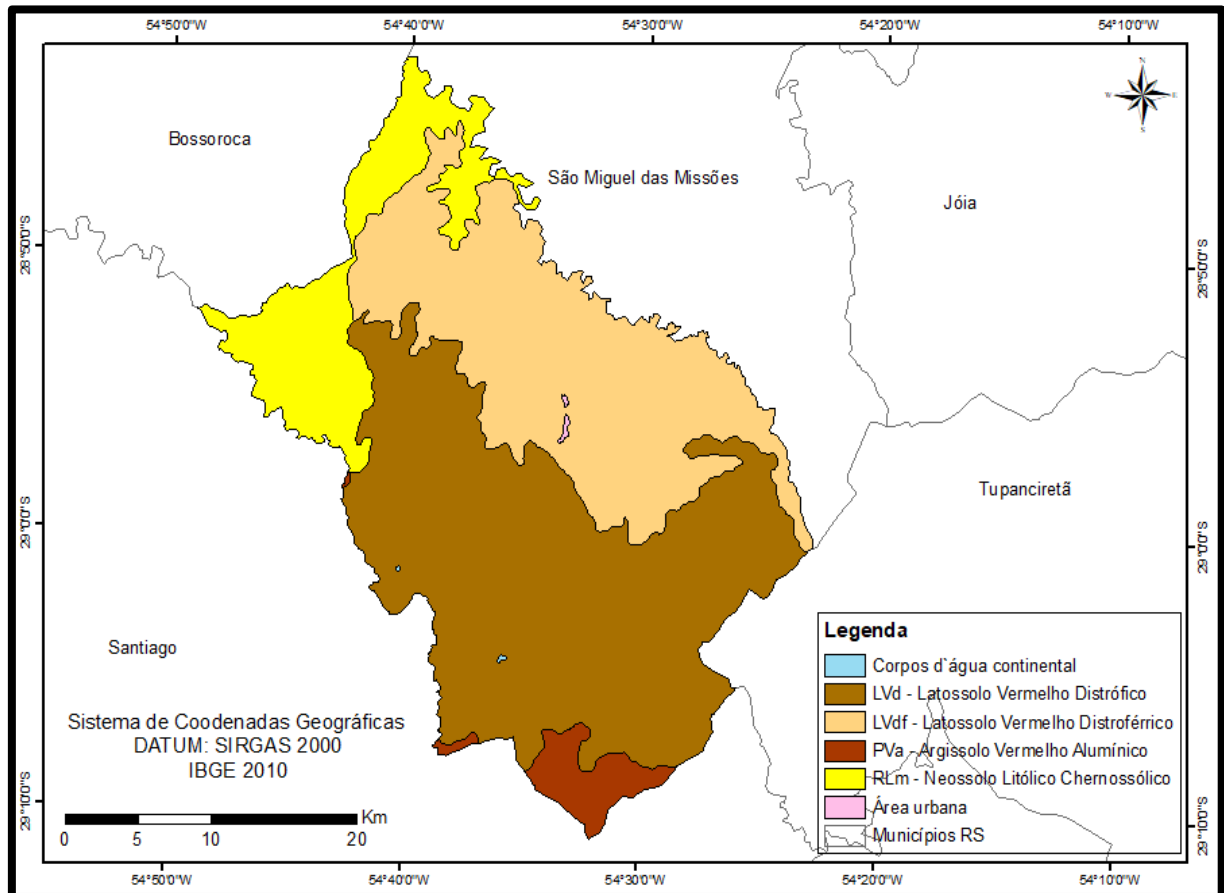
Latossolo Vermelho Distrófico apresentam cores vermelhas acentuadas, devido aos teores mais altos e à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário em ambientes bem drenados, estão concentrados no centro da área de estudo, ocupando uma área 40,56% do total do município.

Já Latossolo Vermelho Ditrófico apresenta as mesmas características do Latossolo Vermelho Distrófico, sendo diferente somente em sua característica química, encontra-se localizado mais concentradamente a oeste do Município, ocupando uma área de 29,44% da área de estudo.

Latossolo Vermelho Alumínio, apresentam de cores vermelhas acentuadas devido a teores mais altos óxidos de ferro presentes no material originário, em ambientes bem drenados, podem apresentar dificuldade desenvolvimento de raízes, pelo seu alto teor de alumínio, estão presente no extremo sul do município, ocupando uma área de 11,65 % do município.

O Neossolo Litólico Chemossólico é considerado um solo raso sobre a rocha. Ocorre, geralmente, em condições de topografia acidentada, onde há muito afloramento de rochas, o que se confirma no município pois estão localizados nas maiores declividade, estado presentes em 18,35% da área de estudos.

Figura 21: Solos do Município Capão do Cipó



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

#### 4.10 USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

A análise do uso da terra na área de estudo, através da classificação supervisionada pode-se obter cinco classes: Vegetação, solo exposto, campos, lavouras e área urbana. A classificação da imagem de satélite permitiu fazer a identificação dos tipos de uso da terra, conforme mostra a figura 22.

A distribuição da classe vegetação se dá em uma pequena porção, sendo que essa se encontra-se a oeste da área de estudos, ocupando 7,65% do total. Já na classe de lavouras ressaltar-se que ocupa quase toda a extensão do município mais precisamente 61,58% do total da área de estudo, confirmando os dados da produção agrícola do município de forma expressiva a produção de grãos de trigo, milho e principalmente de soja, (quadro 8).

A Classe de Solo Exposto está distribuída em pequenas porções por praticamente todo o município totalizado uma área de 5,68 % do total da área de estudo. Já a classe campos possui uma concentração mais acentuadamente no

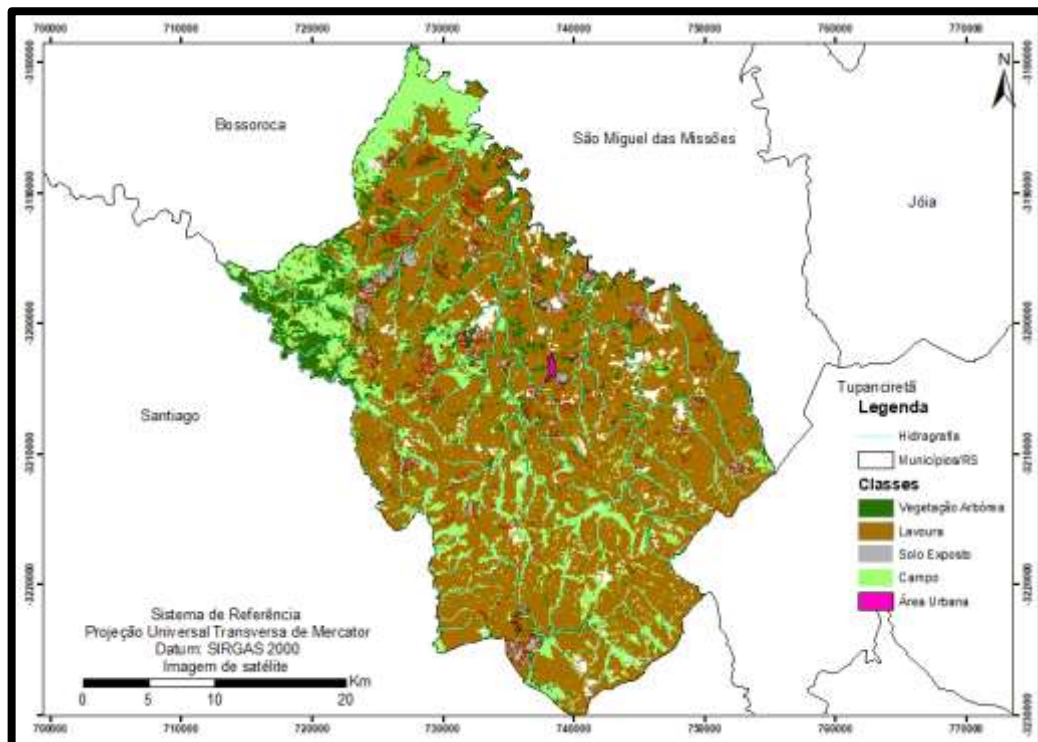
extremo norte, oeste e demais áreas mais esparsas, totalizando um total de 22,09% do total da área estudada. A área urbana está localizada a centro oeste do município, com uma pequena representação, de somente 3% do total das áreas o que se confirma pelo seu pequeno contingente populacional em que o município se encontra.

Quadro 8: Produção agrícola Municipal de Capão do Cipó/RS

| Produção           | Quantidade Produzida |
|--------------------|----------------------|
| Arroz (em casca)   | 123 Toneladas        |
| Feijão (em Grão)   | 14 Toneladas         |
| Girassol (em grão) | 83 Toneladas         |
| Mamona (baga)      | 22 toneladas         |
| Milho (em grão)    | 6.075 Toneladas      |
| Soja (em grão)     | 114.000 Toneladas    |
| Trigo (em grão)    | 16.320 Toneladas     |

Fonte: Emater 2007.

Figura 22: Uso da terra do Município de Capão do Cipó/RS.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 4.11 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS VOÇOROCAS

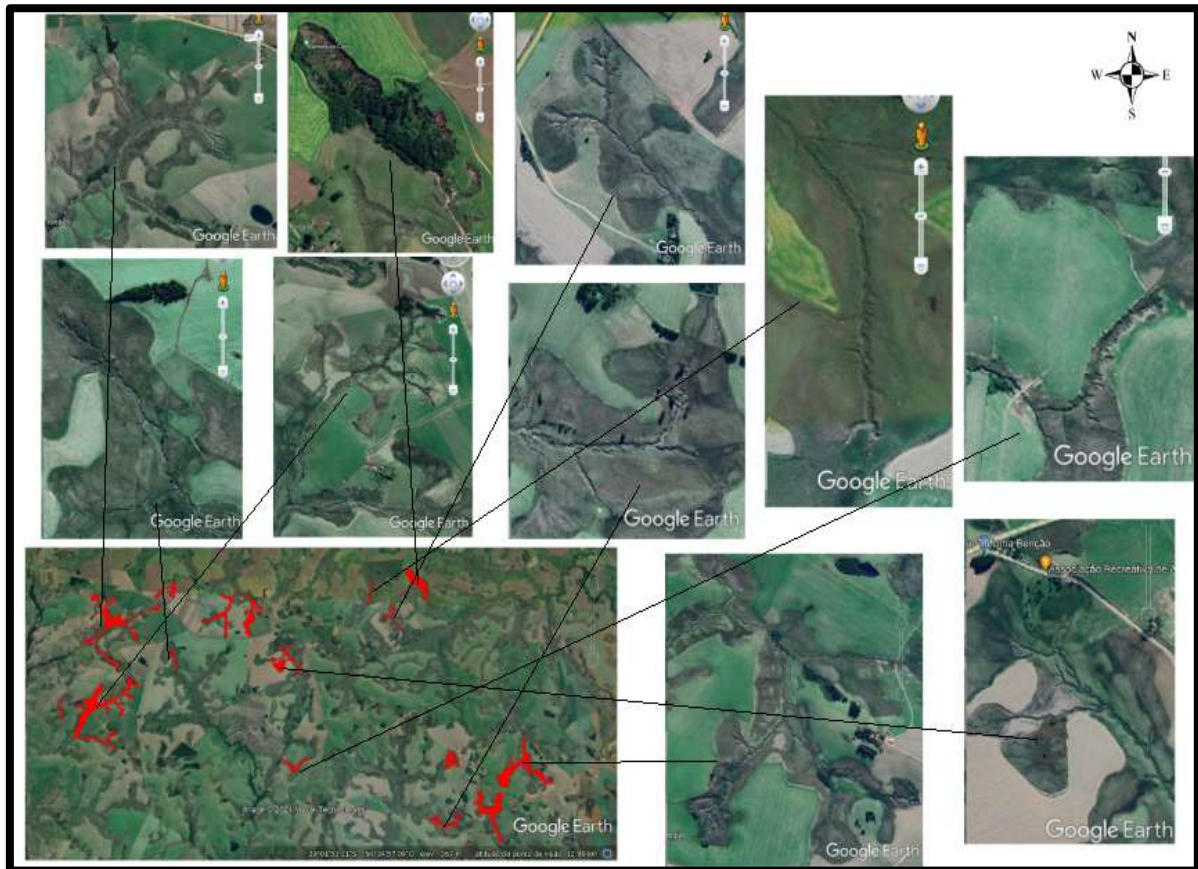
Após análise e interpretação das imagens do Google Earth foi identificada previamente 33 voçorocas concentradas na porção sul do município de Capão do Cipó, as quais foram analisadas e classificadas de acordo com atributos atribuídos na pesquisa, figuras 23 e 24.

Figura 23: localização das voçorocas



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 24: localização das voçorocas



Fonte: Elaborado pela autora (2021).



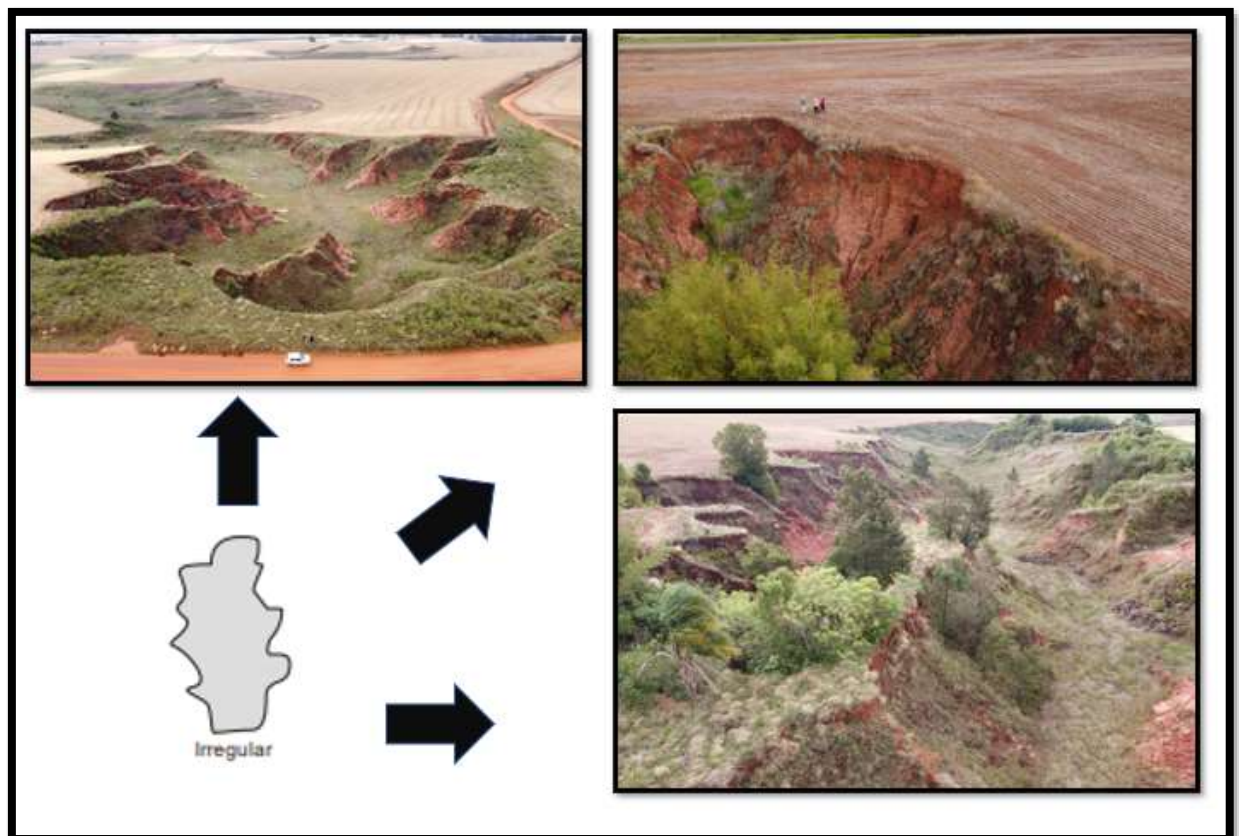
## 5 CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS PELAS FORMAS

As voçorocas foram classificadas em cinco formas distintas: irregular, ramificada, bifurcada, retangular e lineares de acordo com suas características predominantes analisadas no decorrer da pesquisa.

### ✓ Irregular

A forma irregular está apresentada na figura 25 com um padrão irregular em sua distribuição pela superfície, grande profundidade e largura e braços não muito espalhados, esses tipos foi encontrado 3 vezes no município.

Figura 25: Voçorocas Irregulares



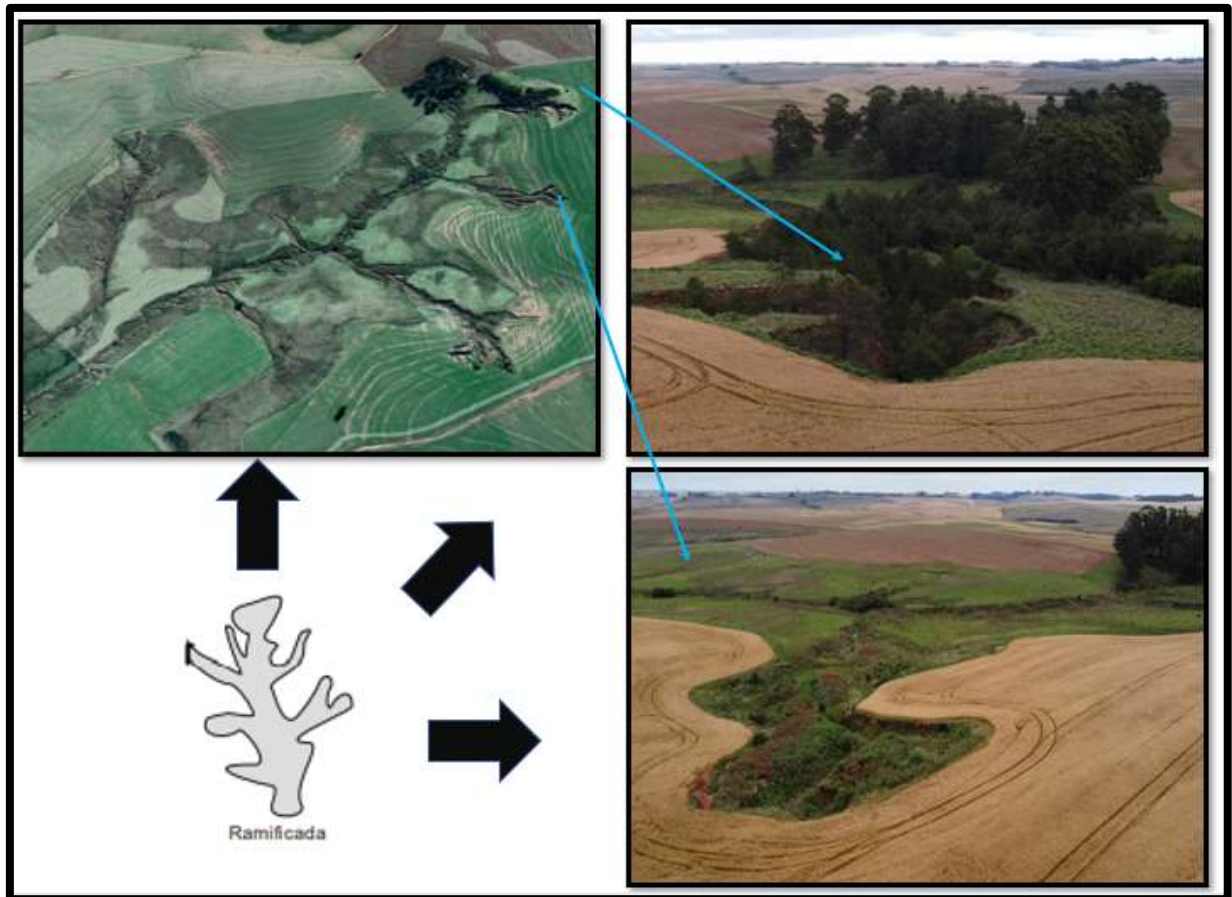
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### ✓ Ramificada

As Voçorocas Ramificada apresentam um padrão com mais braços espalhados pelo terreno, sendo que essas ramificações podem ser ou não profundas dependendo

da sua evolução conforme figura 26, esse tipo foi o que mais se encontra presente no município tendo sido classificadas 25 com essas características.

Figura 26: Voçorocas Ramificadas

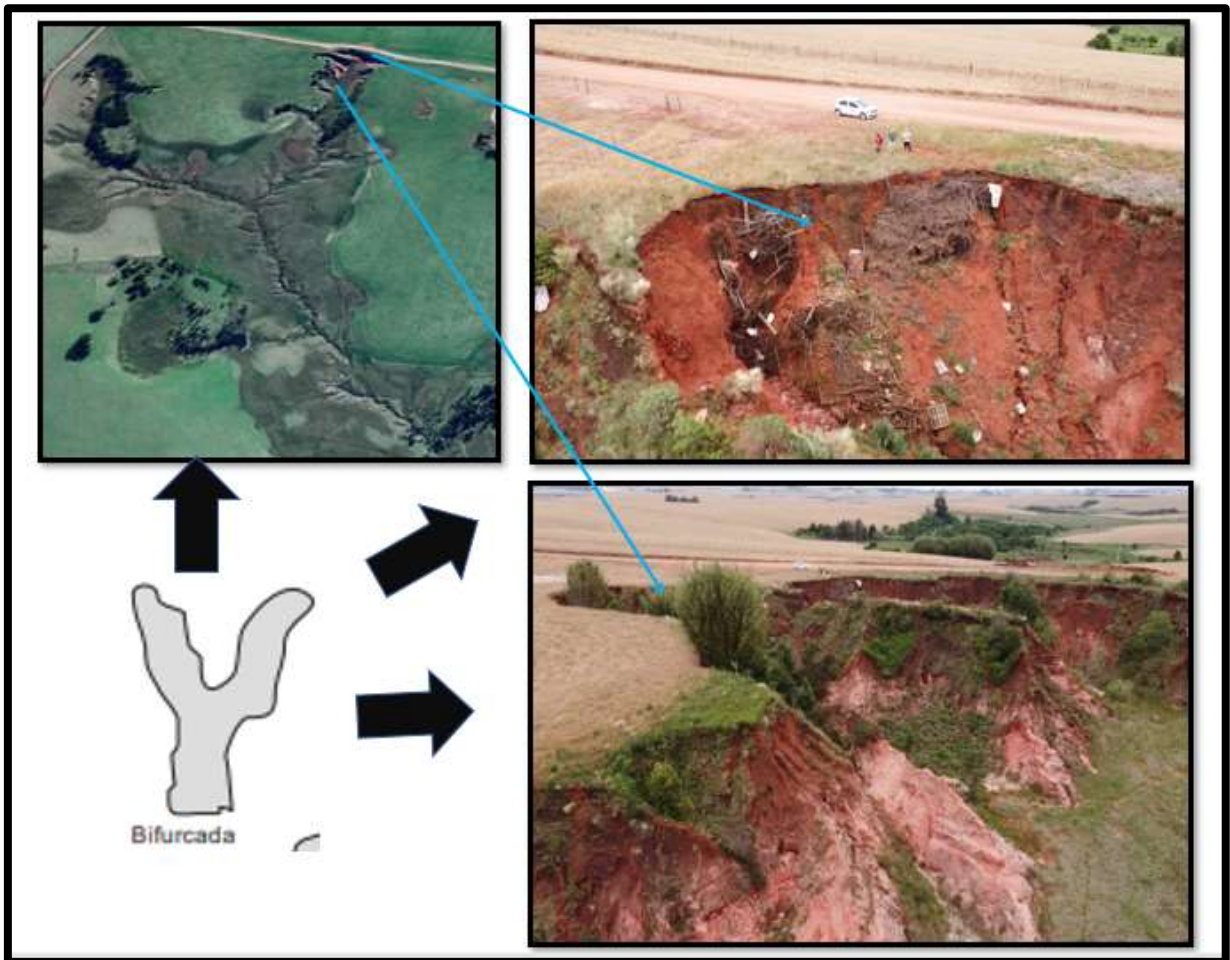


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### ✓ Bifurcada

A classificação da voçoroca bifurcada se dá por ela ter duas ramificações principais e seu restante segue sem ramificações até o encontro com a rede de drenagem conforme representa a figura 27, foram classificadas 3 voçorocas com nesse modelo.

Figura 27:Voçorocas Bifurcadas

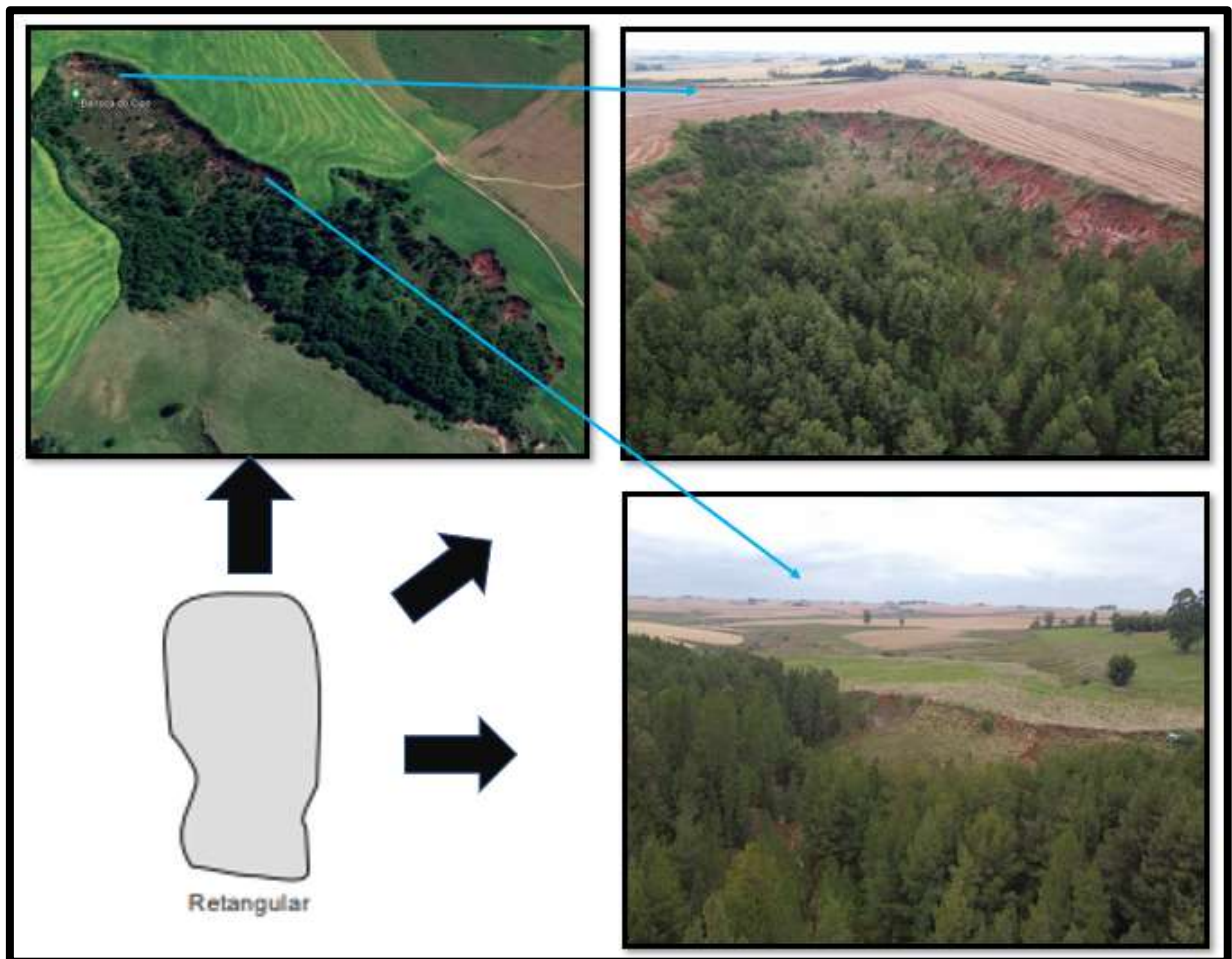


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### ✓ Retangular

Essa forma é caracterizada por apresentar um tamanho muito elevado em comparação as demais classificações, sendo uma das últimas evoluções como a próprias imagens mostra essas voçorocas tem muitos pontos já estabilizados chegando no lençol freático e ao em suas ramificações com vegetação já apresentando mais estabilidade conforme figura 28, no município foi identificada apenas uma com essas características.

Figura 28:Voçoroca Retangular

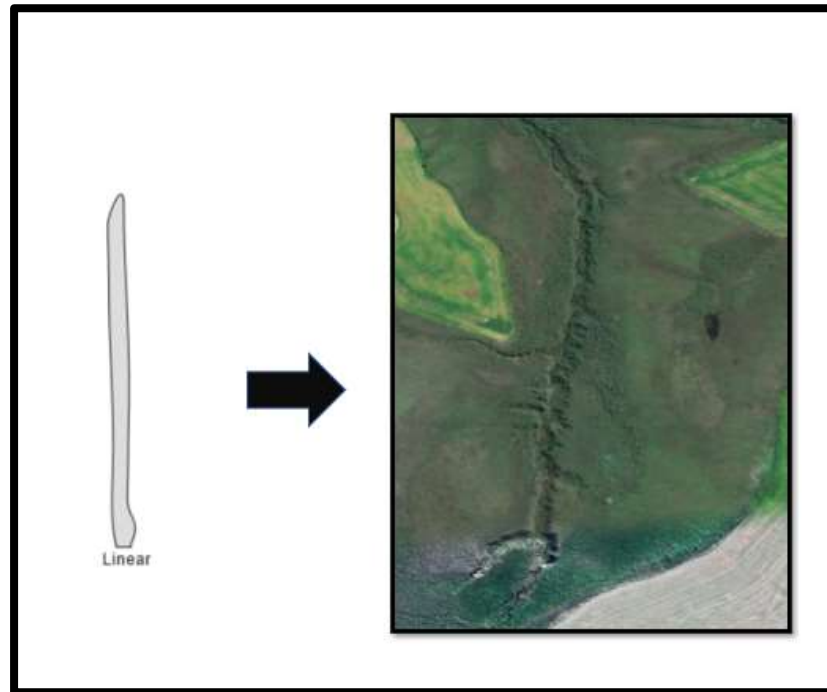


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### ✓ Linear

As voçorocas lineares são classificadas por apresentarem geralmente pouca profundidade e largura, sendo o comprimento a característica principal de sua diferenciação, podem evoluir para qualquer uma das outras classificações, seriam o começo do processo de voçorocamento, no município foi classificada apenas uma como representa a figura 29.

Figura 29:Voçoroca Linear



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

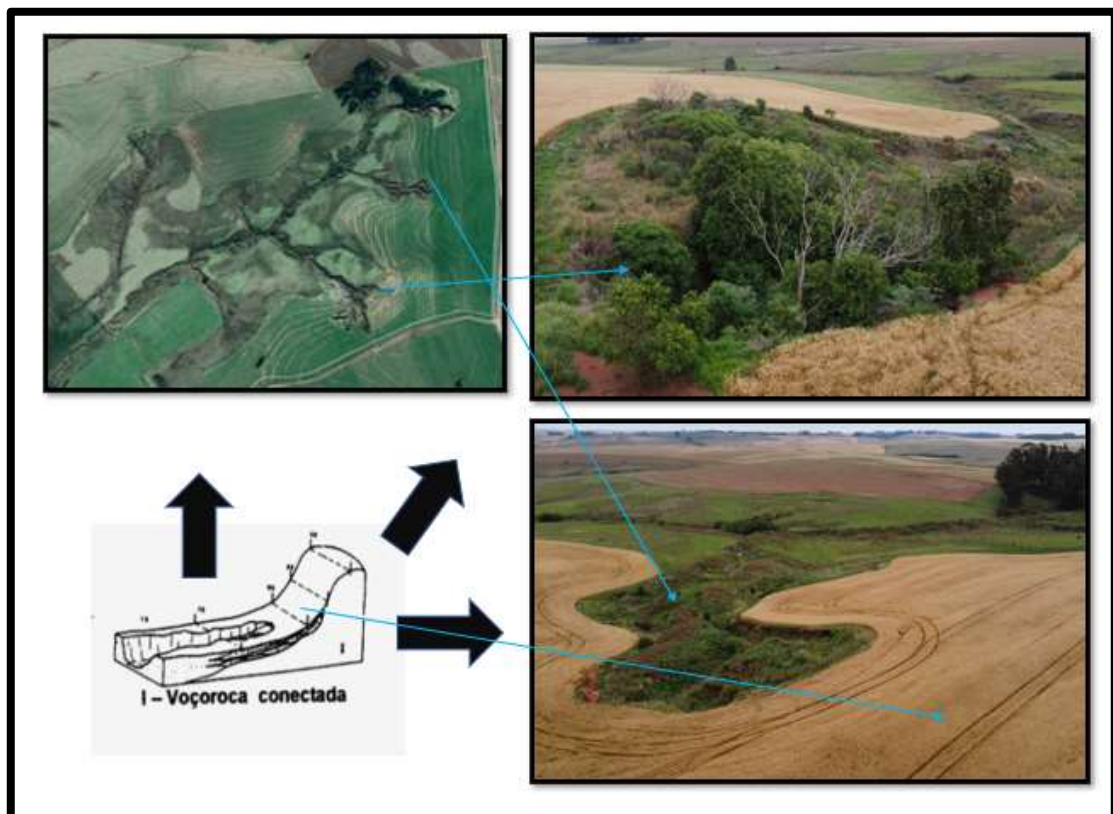
## 6 CLASSIFICAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO SUA RELAÇÃO COM A REDE DE DRENAGEM

Nesse capítulo serão apresentados os três tipos de relação das voçorocas com a rede de drenagem sendo eles os tipos conectados, desconectadas e integradas, os quais estão classificados de acordo com suas características predominantes.

### ✓ Conectadas

As Voçorocas Conectadas apresentam-se associadas com a rede de drenagem, mas estando localizadas nas baixas encostas, como representa a figura 30. No município de Capão do Cipó identificou-se 10 voçorocas com essas características

Figura 30: Voçorocas Conectadas



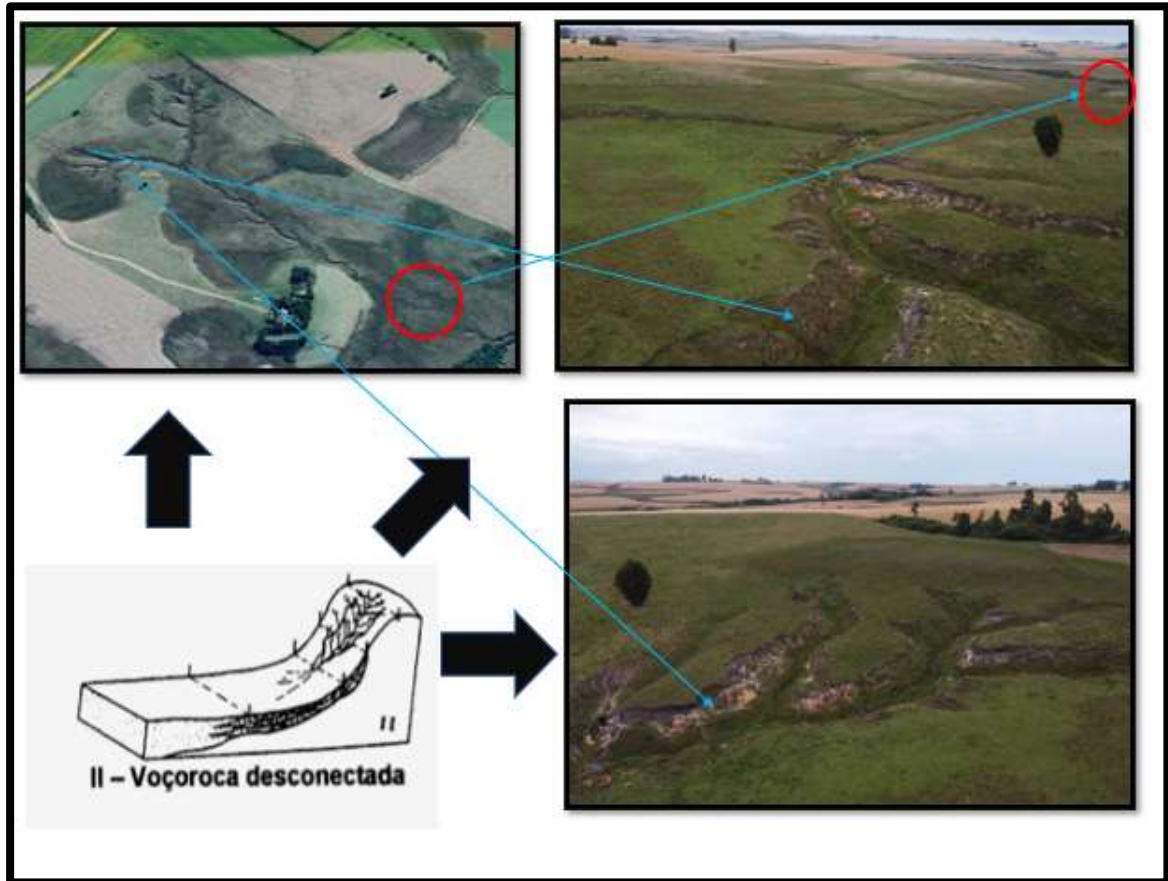
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

### ✓ Desconectadas

As voçorocas Desconectadas como nome já dizem não possui conexão com nem uma rede de drenagem, encontrando-se na parte superior da encosta, estão

ligadas ao escoamento superficial como pode ser observado na figura 31, na área de estudo foram identificadas 6 voçorocas com essas características.

Figura 31: Voçorocas Desconectadas

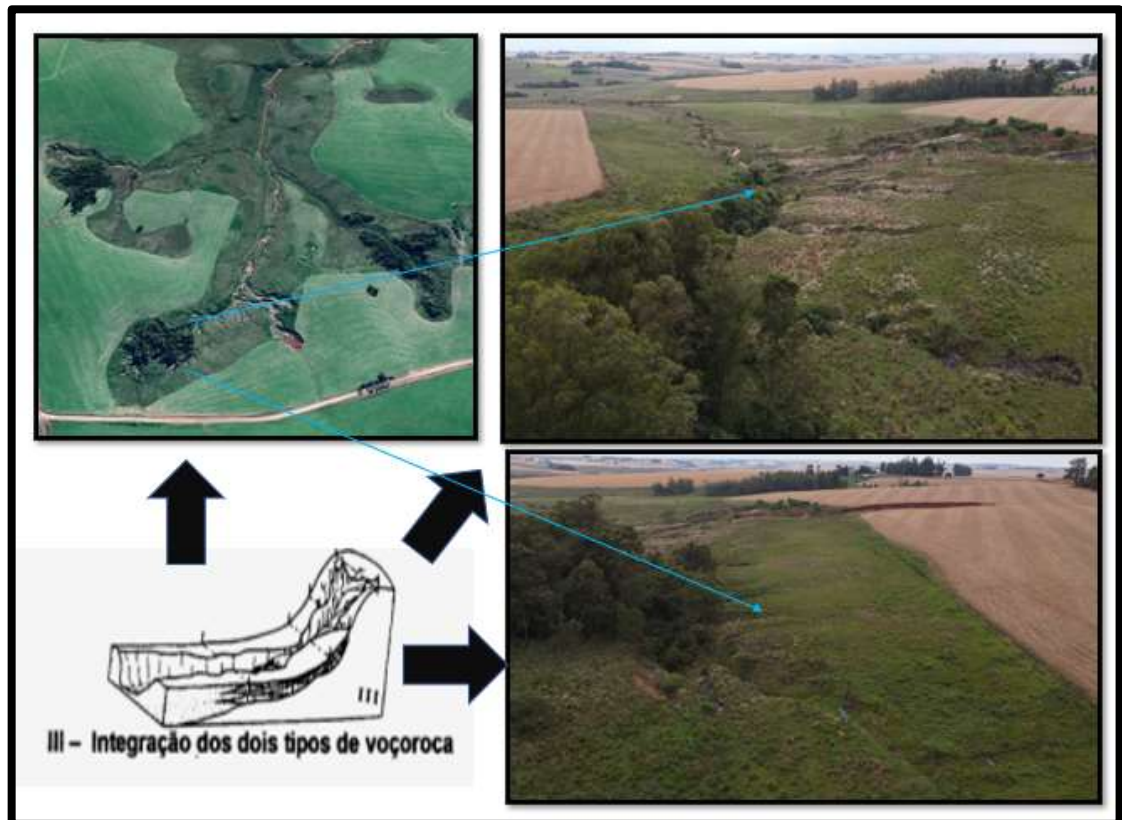


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### ✓ Integradas

As voçorocas Integradas são as junções das Conectadas e das Desconectadas, são quando essas duas se ligam, formando uma só incisão erosiva, conforme pode se observar na figura 32 onde uma voçoroca desconectada se ligou a rede de drenagem, no município de Capão do Cipó foram identificadas 15 com essas características.

Figura 32: Voçorocas integradas



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

De uma forma geral pode se destacar que as formas das voçorocas apresentam como predominância um padrão de ramificadas sendo que das 33 voçorocas identificadas 25 apresentam essas características. Em relação com a rede de drenagem ressalta-se que as integradas que são a junção das desconectadas e conectadas apresentou maior abrangência no município com 15 das 33 identificadas.



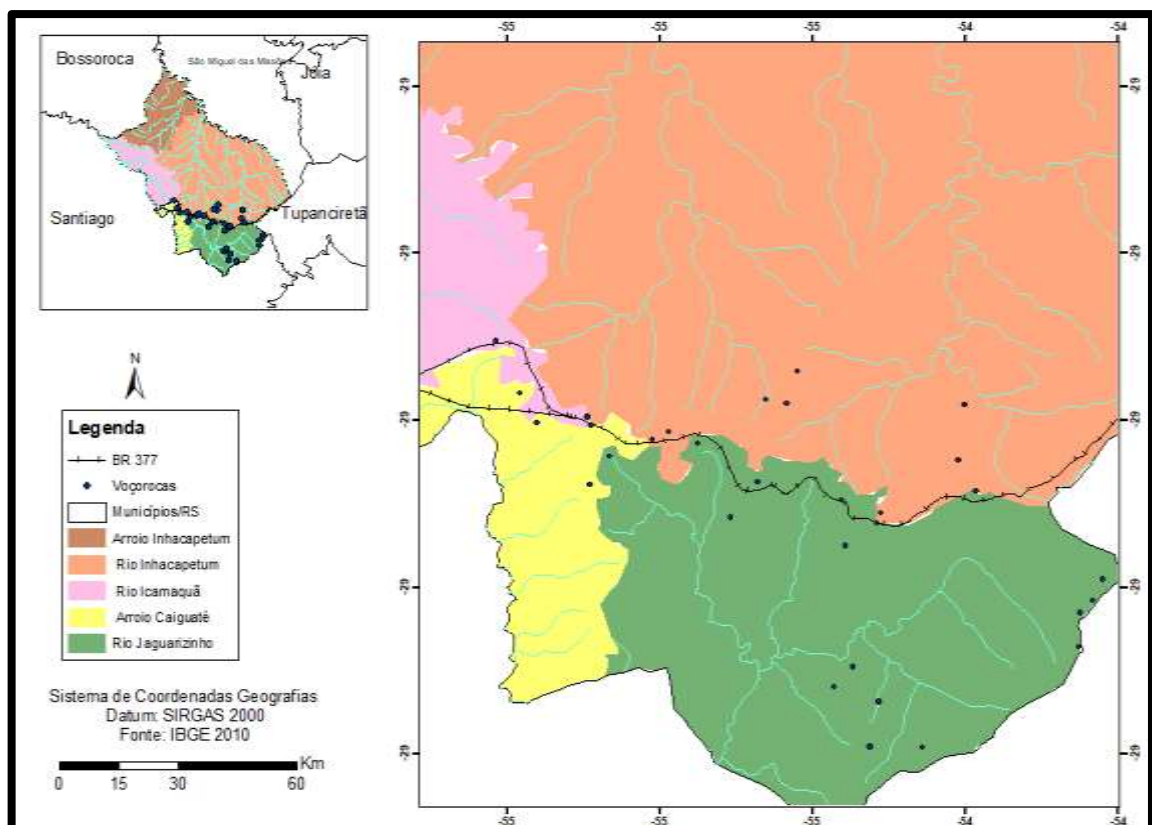
## 7 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS NO MUNICÍPIO DE ACORDO COM CADA PARÂMETRO ANALISADO

Nesse capítulo serão tratadas as relações das voçorocas com as características da paisagem, sendo ela hidrografia, hipsometria, declividade curvaturas da vertente, elementos e formas do relevo, litologia, solo e uso e ocupação da terra.

### 7.1 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM A HIDROGRAFIA

As voçorocas identificadas estão em sua maioria na sub-bacia hidrográfica do Rio Jaguarizinho sendo 18 voçorocas no total, sendo que sub-bacia hidrográfica do Rio Inhacapetum pois a presença de 10 voçorocas ao total, na sub-bacia hidrográfica do Rio Icamaguã estão presentes 5 voçorocas e a sub-bacia hidrográfica do Rio Caignatê pois a presença de apenas uma voçoroca conforme figura 33, e a sub-bacia hidrográfica do arroio Inhacapetum não conta com nem uma voçoroca.

Figura 33:Relação das Voçorocas com a Hidrografia

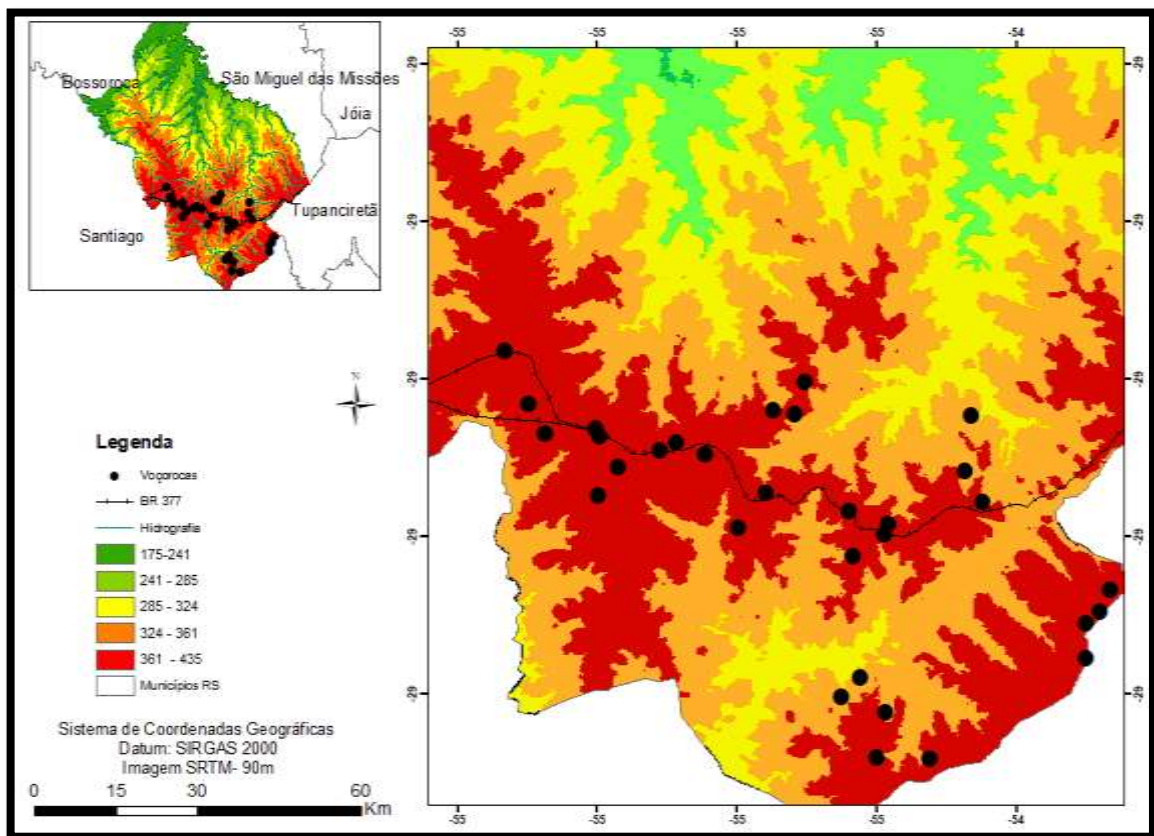


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 7.2 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM A HIPSOMETRIA

As voçorocas identificadas estão em sua maioria na classe entre 361 a 435m onde está a altitude. Das 34 existentes 28 delas estão nessa classe, e as outras 6 então nas classes 324 a 361m, indicando sua associação com as áreas de cabeceiras de drenagem, conforme figura 34.

Figura 34: Relação das Voçorocas com a Hipsometria

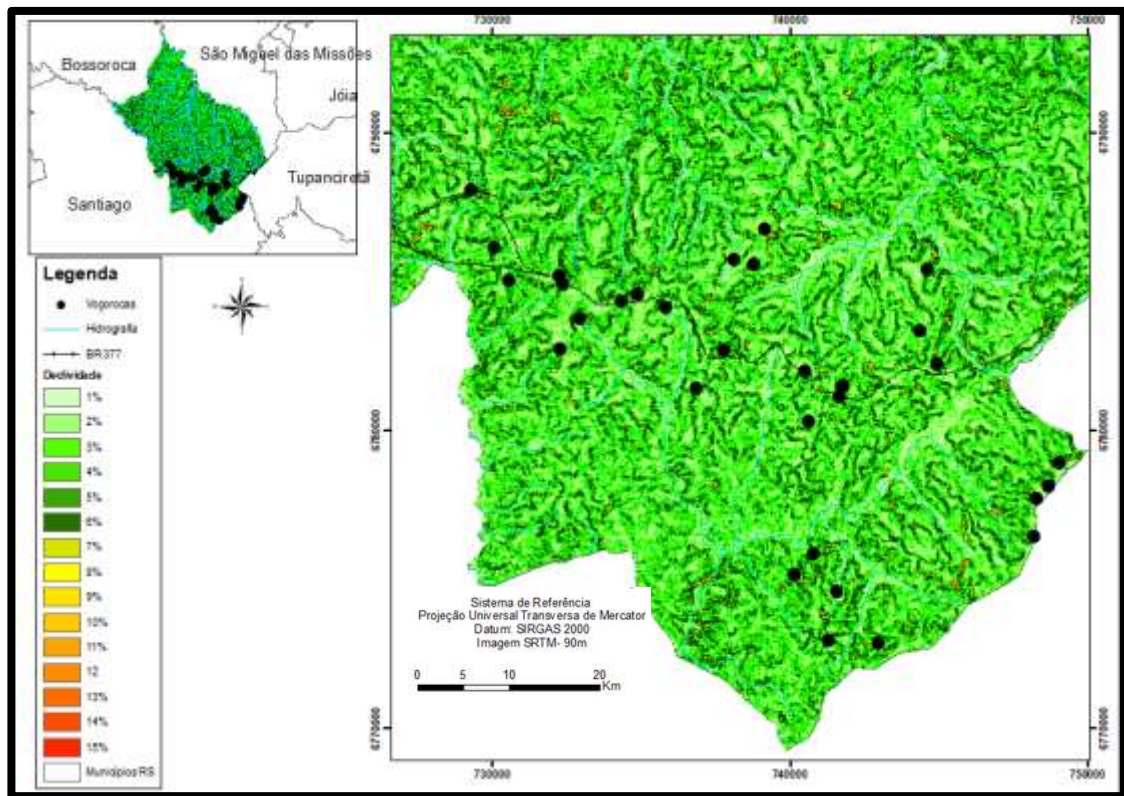


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 7.3 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO A DECLIVIDADE

Em relação a declividade todas os pontos de máxima expansão a montante das voçorocas ocorrem em declividades inferiores a 10%. Pode-se observar que 13 estão localizadas em declividades de 6%, 4 voçorocas em declividades de 5%, 15 voçorocas em declividades de 4% e 3 voçorocas ocorrem em declividades de 3% e conforme figura 3. Isso pode se associar a maior influência da erosão subterrânea em relação a superficial.

Figura 35: Relação das Voçorocas Quanto a Declividade

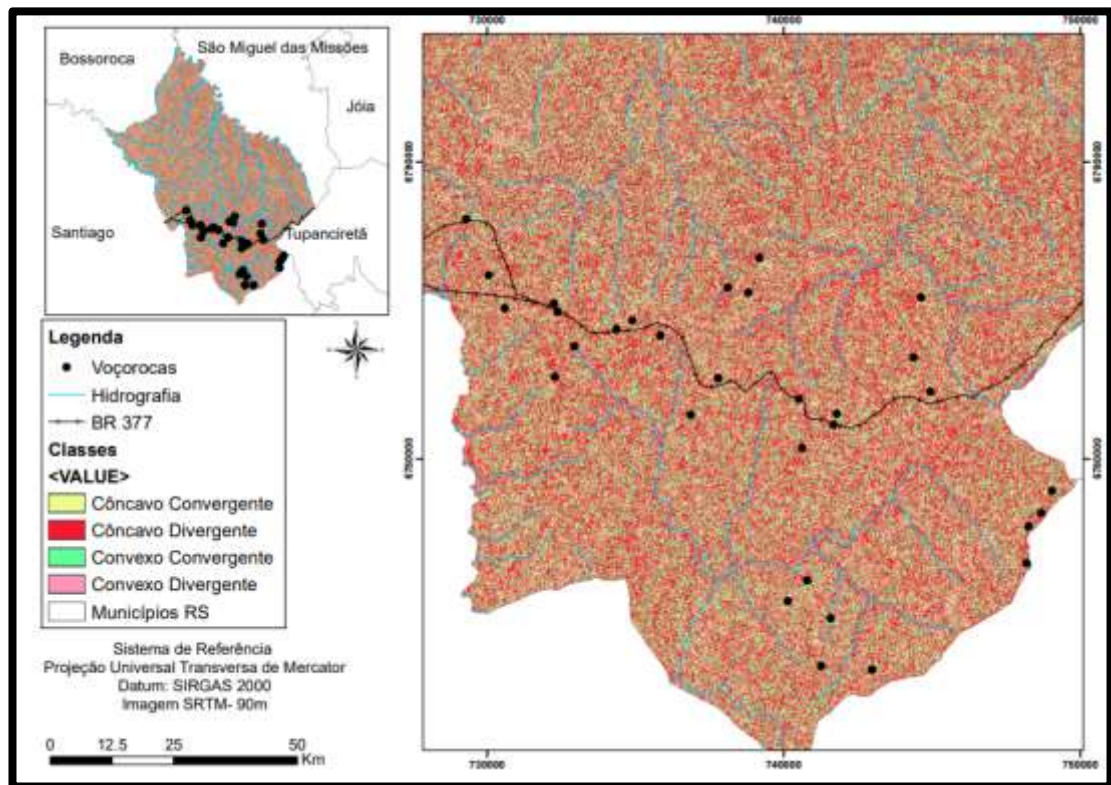


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

#### 7.4 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS QUANTO A CURVATURA DAS VERTENTES

Com relação as curvaturas das vertentes, destaca-se a grande presença na classe côncavo-convergente, devido ao acúmulo e concentração máxima do fluxo de escoamento das vertentes propiciando processos erosivos, sendo que essa classe se encontram 21 voçorocas. A outras classes onde pode-se observar a presença de voçorocas são as convexo-convergente por apresentar aumento da energia de fluxo superficial, com grande infiltração no terreno e também por apresentar início da concentração dos escoamentos, sendo que essa classe apresenta 12 voçorocas, conforme figura 36.

Figura 36: Relação das Voçorocas Quanto a Curvatura das Vertentes



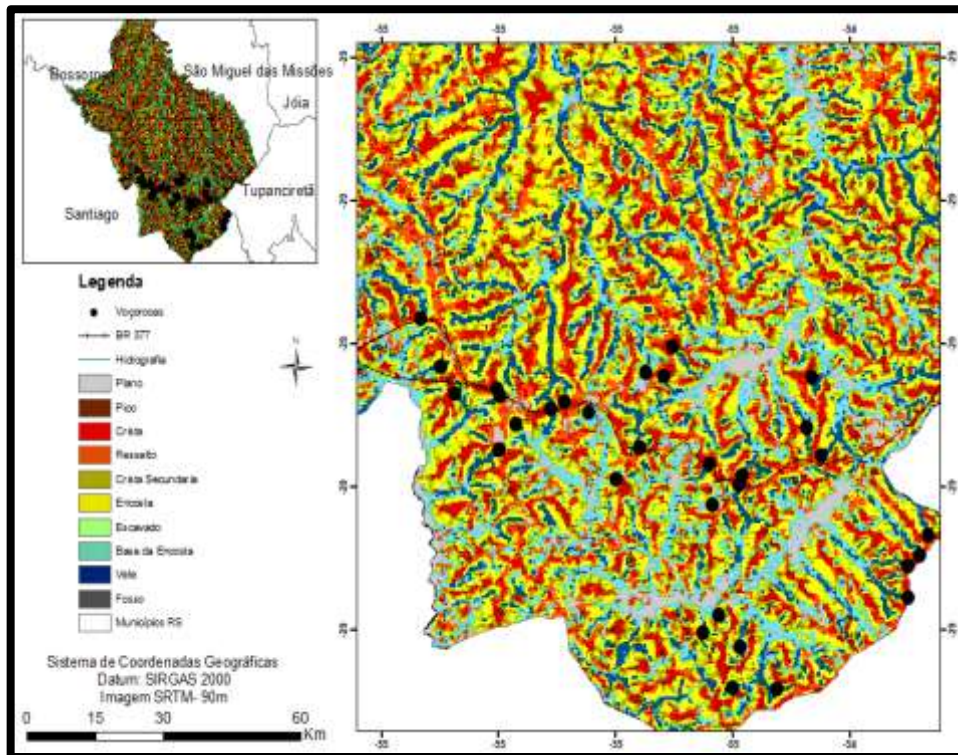
Fonte: A autora (2022).

## 7.5 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM ELEMENTOS E FORMAS DO RELEVO

Com relação aos elementos de relevo pode destacar a presença de voçorocas em vales, base de encostas e ressaltos, os vales são os que maior apresentaram a concentração de voçorocas sendo 19 ao total, seguido pelas bases de encostas que apresentaram 12 voçorocas e a classes denominada ressalto apresentou 3 voçorocas, conforme figura 37.

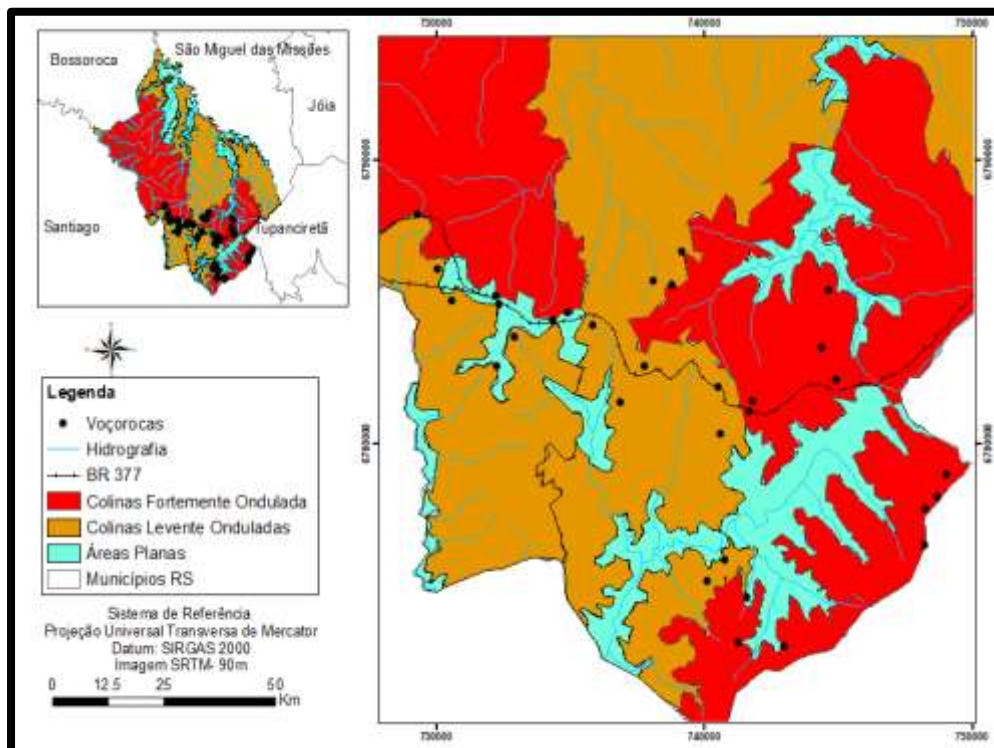
Em relação as voçorocas foram identificadas uma predominância em áreas classificadas como colinas fortemente ondulas sendo que 15 estão localizadas nessa classe, 13 estão localizadas em colinas levemente ondulas 6 voçorocas estão localizadas em áreas planas, conforme 38.

Figura 37: Relação das Voçorocas com os Elementos do Relevo



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 38: Relação das Voçorocas com as Formas do Relevo



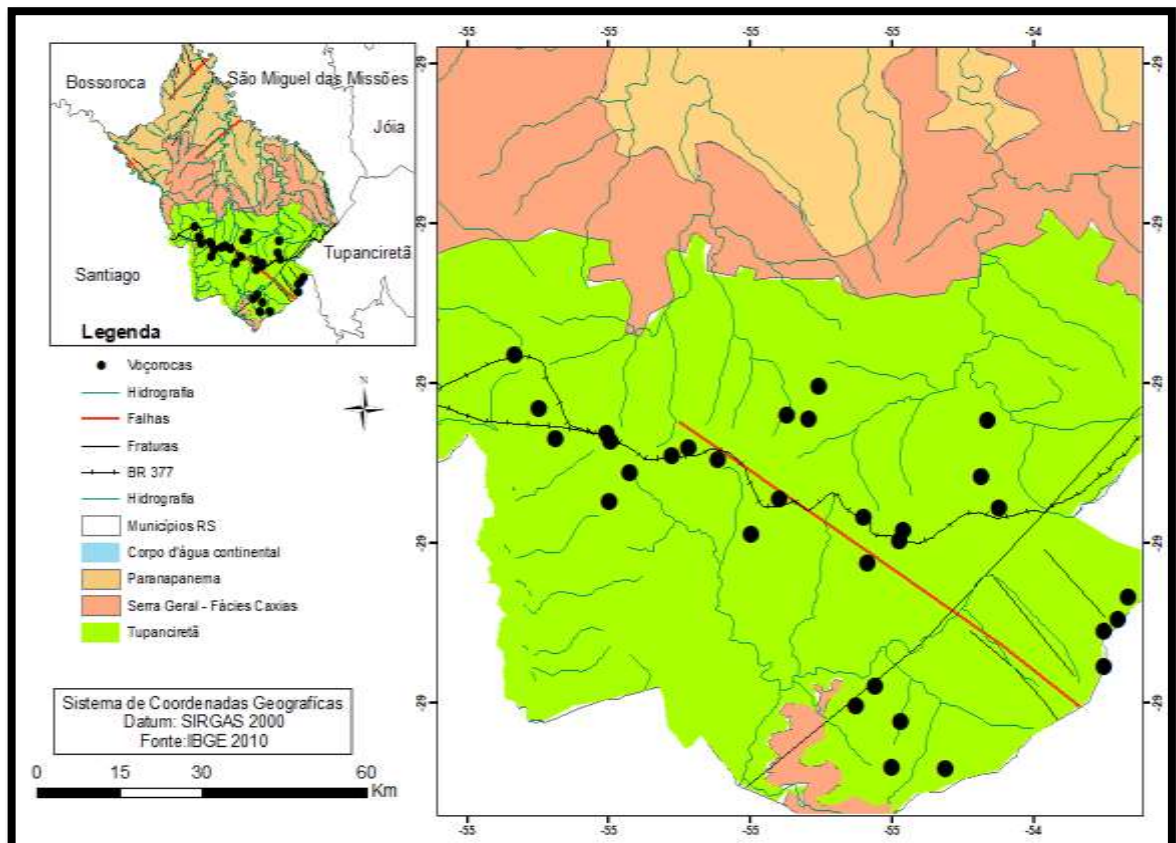
Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 7.6 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM LITOLOGIA E SOLOS

Em relação as litologias podem-se destacar a importância das litologias da Formação Tupanciretã visto que todas são encontradas nessa unidade. Essa uniformidade se dá em decorrência das características dessa litologia formada por arenitos friáveis sobrepostos aos derrames vulcânicos, conforme figura 39.

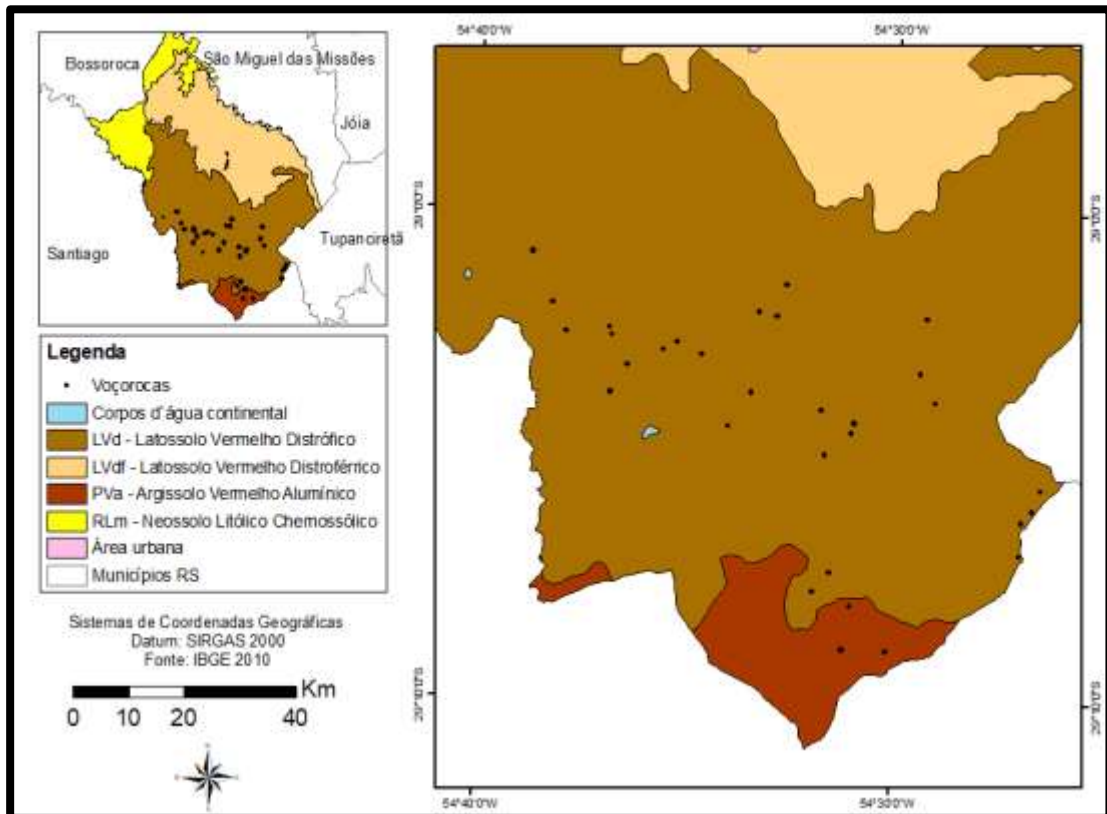
Com relação as classes de solos do município podem destacar uma grande presença de voçorocas em solos classificados como Latossolo Vermelho Distrófico, isso ocorre, pois, esses solos são bem drenados favorecendo os processos erosivos, foram identificadas 30 voçorocas nessas classes de solo e somente 3 voçorocas nas classes de solo denominada Latossolo Vermelho Alumínio, conforme representa figura 40.

Figura 39:Relação das Voçorocas com a Litologia



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 40:Relação das Voçorocas com os Solos

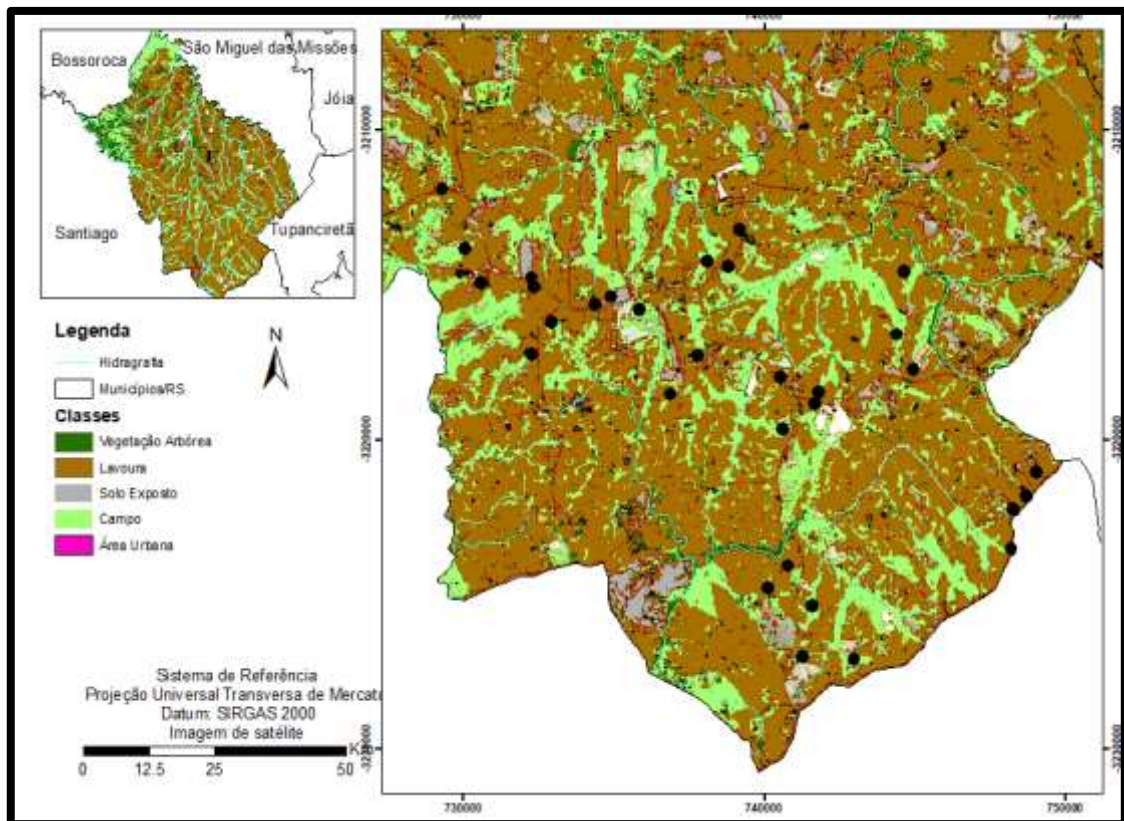


Fonte: Elaborado pela autora (2022).

## 7.7 RELAÇÃO DAS VOÇOROCAS COM USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

Pelo uso e ocupação da terra ser potenciaste agrícola a grande maioria das voçorocas se encontra localizadas em áreas de agricultura ou campo, destaca-se que 15 estão localizadas em áreas agrícolas de 10 em áreas de campo, e 8 voçorocas se encontram localizadas tanto em áreas agricultáveis com campos. Essas classificações foram identificadas em campo pois muitos produtores plantam muito próximo as voçorocas, e em outros lugares onde as áreas próximas as voçorocas eram mais úmidas e não podem sofrer inversão mecanizadas, são destinadas a campo e inseridos animais para manejo, como representada na figura 41.

Figura 41:Relação das Voçorocas com os Solos



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para concluir pode-se considerar que a relação das voçorocas com as características da paisagem indica uma predominância em relevo de colinas associadas ao elemento vale, com pontos de máximo avanço junto as áreas de cabeceiras de drenagem marcada pelas maiores altitudes, declividade ao redor de 5% e formas côncavas-convergentes. Se associam e litologias areníticas friáveis e Latossolos espessos e com uso agrícola.



## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho permitiu analisar as principais formas das voçorocas, suas relações com a paisagem do município, sendo relevante pois foi possível entender os fatores controladores do desenvolvimento dos processos, podendo apoiar propostas de planejamento e gestão.

De uma forma geral pode se destacar que as formas das voçorocas apresentam como predominância um padrão de ramificadas sendo que 25 apresentam essas características. Com relação a classificação quanto sua relação com a rede de drenagem é destacável que 15 voçorocas são integradas a rede de drenagem.

Considerando a relação das voçorocas com as características da paisagem foi possível identificar superioridade de relevo de colinas associadas ao elemento vale, declividades em sua maioria de 5% e formas predominantes de côncavas-convergentes, uso do solo predominantemente utilizado para agricultura em decorrência de suas estruturas de solo que favorecem esse uso.

Sendo que a metodologia proposta foi adequada comparando-se os mapeamentos obtidos através das ferramentas de geoprocessamento utilizadas, observações e recursos de campo, dando embasamento para a realização do trabalho e atendendo aos objetivos propostos.

Por fim, pode-se dizer que os dados desta pesquisa puderam auxiliar no entendimento de processos erosivos contribuindo na identificação das erosões lineares profundos e determinando quais as condições ambientais em que ocorrem no município podendo assim auxiliar pesquisas futuras em outras regiões com características geológicas e geomorfológicas semelhante.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; ENDER, M; SANGOI, L. Efeitos da integração lavoura pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.

AGNESI, V. Análise multiparamétrica GIS para avaliar a susceptibilidade à erosão de ravinas: um teste no sul da Sicília, Itália. **Landform Anais**. P.17, 2001.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.1046-1059, 2010

ANDRADE, E.E.; MARCHIORO, E; OLIVEIRA, J.C. Evolução Espaço-Temporal de Voçorocas no Espírito Santo: Estudo de Caso nos Municípios de Afonso Cláudio. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 17, nº 1 (2016).

ANGULO-MARTÍNEZ, M., BERGUERIA, S., NAVAS, A., MACHÍN, J. *Splash erosion under natural rainfall on three soil types in NE Spain*. **Geomorphology** 175- 176, 38 – 44 p. 2012.

ARAÚJO FILHO, M. & MENESES, P. & SANO, E. (2007). **Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra com Base na Análise de Imagens de Satélite**. *Revista Brasileira de Cartografia*. 59.

AUGUSTIN C. H.R.R. 1999. *The relationship between gully erosion and land use in Gouveia, Minas Gerais*. In: Abstracts of Regional Conference on Geomorphology, IGA, Rio de Janeiro. p.17-22.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; ARANHA, P.R.A. **Ocorrência de voçorocas em Gouveia/MG: características e processos associados**. *Geonomos*, v 14, n. 1, 2, p. 75-86, 2006.

ARAÚJO FILHO, M. & MENESES, P. & SANO, E. (2007). **Sistema de Classificação de Uso e Cobertura da Terra com Base na Análise de Imagens de Satélite**. *Revista Brasileira de Cartografia*. 59.

BACELLAR L. A. P. 2000 **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá**. Ouro Preto, MG, 2000. COPPE/UFRJ, (Eng. Civil) Tese (Doutorado)

BATISTA, D. C. L.; MARINHO, R. R.; VIEIRA, A. F. S. G. **Utilização do "google earth pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus- AM, brasil**. *Geosaberes*, Fortaleza, v. 10, n. 20, pág. 1 - 12, dez. 2018. ISSN 2178-0463. Disponível em: < <http://www.geosaberes.ufc.br/geosaberes/article/view/689> >. Acesso em: 09 jan. 2021.

BERTONI, I.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone Editora Ltda., 1990. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 5ª ed. São Paulo: Ícone, 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO. F. **Conservação do Solo**. Piracicaba, SP: Editora Livrocere, 1985. 392p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4 ed. São Paulo: Editora Ícone, 1999. 355p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8 ed. São Paulo: Editora Ícone, 2012. 355p.

BIEGANOWSKI, A.; POLAKOWSKI, C.; RYZAK, M. **Effect of soil moisture content on the splash phenomemon reproducibility**. PLoS One 1, 1- 15 p. 2015.

BOARDMAN, J. **The value of Google Earth™ for erosion mapping**, CATENA, Volume 143, 2016, Pages 123-127. < disponível

em><https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.031>. Acesso em 12 de janeiro de 2021

BOURROUGH, P.; McDONNELL, R. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assentment**. New York: Oxford University Press, 1989.

BRITO, N. **Erosividade da chuva no médio são Francisco**, Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, n. 1, p. 129-133,1993.

CALDERANO FILHO, VALADÃO R.C. & SILVEIRA J.S. 1992 – Estratigrafia quaternária e evolução do relevo no Complexo do Baçõ. Dados preliminares.

**Revista da Escola de Minas**, v. 45, n. 1-2 pp. 85-87, 1992.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.; D'alge, J.C. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2003.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; LIMA, M. C. & MORTARI, D. **Considerações sobre prevenção e controle de voçorocas**. 7º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE, Goiânia - GO. 2001.

CAMAPUM DE CARVALHO, J. (Org.); SALES, M. M. (Org.); SOUZA, N. M. (Org.); MELO, M. T. S. (Org.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília: Universidade de Brasília. FINATEC. 464 p. 2006.

CARVALHO JUNIOR, O. A.; VALERIANO, M. M. **Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias**. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

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

COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração**

**animal e tratorizada.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.25, p.683-692, 2001.

CONTADOR, F. L. *et. al.* *Studying the influence of livestock pressure on gully erosion in rangelands of SW Spain by means of the UAV+SfM workflow.* **Boletín de la**

**Asociación de Geógrafos Españoles**, v. 78, p. 66–88, 2018.

CURI, N. *et. al.* Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09 n. 01, 016-031, 2016.

DAEE/IPT. **Controle de Erosão.** Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), São Paulo, 1990.

DANESHFAR M. *et. al.* **Gully erosion susceptibility mapping using artificial intelligence and statistical models.** Geocarto Int. 32(2):1–187. (17) (PDF)].

DING, H. *et. al.* *Detection of Catchment-Scale Gully-Affected Areas Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) on the Chinese Loess Plateau.* **Internation Journal of Geo-Information**, v. 5, 2016.

D'OLEIRE-OLTMANN, S.; MARZOLFF, I.; PETER, K. D.; RIES, J. B. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. **Remote Sens**, v.4, p. 3390-3416, 2012.

ELTNER, A.; KARRASCH, P.; STÖCKER, C. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close-range photogrammetry — A case study from Andalusia, Spain. **Catena**, v. 132, p. 1–11, 2015.

EMATER. Produção Agrícola Municipal - Cereais, Leguminosas e Oleaginosas 2007 - Dados econômicos, estatísticos e políticos (informacoesdobrasil.com.br). Acesso em 10 jun. 2021.

FERNANDES, L. P. **Avaliação da erodibilidade de um perfil de solo típico da área do campo de instrução de Santa Maria – RS.** Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria – RS, Dissertação de Mestrado. 150 p. 2015.

FERRAZ, J.M.G.; MARQUES, J.F.; SKORUPA, L.A. Indicadores de sustentabilidade em agroecossistema. Jaguariúna, SP: **Embrapa Meio Ambiente**. 2003.

FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M. **Apostila Técnica de Estabilização de Voçorocas.** Nazareno: Centro Regional Integrado de Desenvolvimento Sustentável, 2009.

FERREIRA, A.R.; SANTANA, J.E.R. **Análise da Fragilidade Ambiental a Partir de Processos Erosivos na Sub-bacia do Córrego Peraputanga, Reserva do Cabaçal - MT.** Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, 2017.

FERREIRA, P. S., SILVA, C. A. O método AHP e a Álgebra de Mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul / Brasil), proposições para a gestão do território. **Confins**. n. 26, 2020.

FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FITZ, P.R. **Geoprocessamento Sem Complicação**. Oficina de Textos, São Paulo, 2008.

FOX, G. *et. al.* **Sediment detachment and transport processes associated with internal erosion of soil pipes**. *Earth Surface Processes Landforms*, v. 43, 45 -63 p. 2017.

GUERRA, A.J.T. (1994). Processos erosivos nas encostas. In: **GUERRA, A. J.T. & CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 149-209.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. Novo dicionário geológico-geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, 648p.

HOSSEINALIZADEH, M.; KARIMINEJADA, N.; CHEN, W.; POURGHASEMI, H. Z.; MOHAMMAD ALINEJA, M.; BEHBAHANI, A. M.; TIEFENBACHER, J. P. Spatial modelling of gully headcuts using UAV data and four best-first decision classifier ensembles (BFTree, Bag-BFTree, RS-BFTree, and RF-BFTree). **Geomorphology**, v. 329, p. 184–193, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Cidades**  
<https://www.ibge.gov.br/busca.html?searchword=capão+do+cipo+>, acesso em 28 de mar, 2021.

JASIEWICZ, J. e STEPINSKI, T. F. **Example-Based Retrieval of Alike Land-Cover Scenes from NLCD2006 Database, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters** 10(1). 2013, p.45. 155-159.

KARYDAS, CHRISTOS; PANAGOS, PANOS. 2020. "Towards an Assessment of the Ephemeral Gully Erosion Potential in Greece Using Google Earth" *Water* 12, no. 2: 603. <https://doi.org/10.3390/w12020603>.

KNIERIN, I.S., TRENTIN, R., ROBAINA, L.E.S. Relação dos Processos Erosivos Lineares Com Os Atributos Do Relevo No Município De Unistalda – Rs. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 32, p. e23397, 2018 | DOI: 10.12957/geouerj.2018.23397

LAFAYETTE, K. P. V. **Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti – Cabo de Santo Agostinho/PE**. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil. Recife – PE. Tese de Doutorado. 391 p. 2006.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1988. p.141-160.

LAL, R. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. Columbus: Ohio State University, Department of Agronomy, 1994. 78 p. (SMSS Technical Monograph, 21).

LEITE, E.F.; ROSA, R. **Análise do Uso, Ocupação e Cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins**. OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo. Oficina de Textos. 455 p. 2011.

LOPES, S.L; GUERRA, A; J.T. Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis-SC. In. VII **Simpósio Nacional de Controle de Erosão**, Goiânia-GO, 2001. V. 1, N. 1, p. 106.

MATHIAS, D.T. **Contribuição metodológica para o diagnóstico da dinâmica erosiva linear e seu prognóstico evolutivo visando subsidiar projetos de recuperação tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão água da cachoeira, em Paraguaçu Paulista**.2016, tese (Doutorado) curso de geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente,2016.

MENEZES, M.D.; LEITE, F.P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, região centro-leste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 34, 2011.

MORGAN, R.P.C. Soil erosion and conservation. Oxford. Publishing Blackwell, 3. ed., 2005. 304 p.

Moreira C.V.R. 1992. **Fatores condicionantes das voçorocas na sub-bacia do rio Santo Antônio, Bacia do rio Grande, MG**. IG/UFMG, Belo Horizonte. (Dissertação de Mestrado).

PEÑALVA BAZZANO, M. G. **Coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quarai e Rio Grande, RS**. Santa Maria: UFSM, 2005. 64p. Dissertação Mestrado

PONÇANO W.L. & PRANDINI F.L. 1987. Boçorocas no estado de São Paulo: uma revisão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 4, 1987, Marília. **Anais...** São Paulo: ABGE/DAEE, 1987. v.1, p149-177.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. Parêntese Editora, São José dos Campos, SP, 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAPÃO DO CIPÓ. **História**. Disponível em <capaodocipo.rs.gov.br> Acesso em 14 de outubro de 2020.

QUEIROZ, E. A. **A utilização do Sistema de Informações Geográficas no estudo da dinâmica do escoamento superficial de áreas urbanas: aplicação na bacia do Córrego do Gregório, São Carlos, SP**. 1996. 207p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

RADEMANN, L.K. **Identificação E Caracterização Dos Mecanismos Erosivos Atuantes Na Voçoroca Do Areal No Município De Cacequi Com Auxílio De Veículo Aéreo Não Tripulado**. 158 p. (mestrado em geografia) -Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

RAHMATI, O., HAGHIZADEH, A., POURGHASEMI, H.R. *et al.* Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. *Nat Hazards* 82, 1231–1258 (2016). <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2239-7>.

ROBAINA, L. E. S. et al. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010. Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php?journal=rbg&page=article&op=view&path%5B%5D=148>>. Acesso em: 12 jan. 2016.

ROBAINA, L. E. S. et al. Zoneamento Morfológico da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí e sua Relação com os Processos Superficiais e o Uso do Solo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 63-77, 2015. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php?journal=rbg&page=article&op=view&path%5B%5D=630&path%5B%5D=444>. Acesso em: 01 abr. 2016.

ROBAINA, L. E. S.; SCHIRMER, G. J. Estudo Geoambiental na Geografia e sua Importância como Base para o Planejamento e Ordenamento Territorial. In: FIGUEIRÓ, A. S.; FIGUEIREDO, L. C. (Orgs.). **Fronteiras da Pesquisa em Geografia**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2012. p. 440-467.

RIBEIRO E SALOMÃO. Suscetibilidade Dos Solos À Erosão Na Microbacia Do Córrego Fonseca, Região Serrana Do Estado Do Rio De Janeiro. **Revista Geociências**. v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003. Disponível em <[http://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/22\\_1/8.PDF](http://revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/22_1/8.PDF)>. Acesso em: 20 jan. 2021.

RODRIGUES J.E. 1984. Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (voçorocas). In: Anais do IV Congr. Bras. Geol. Eng., pp. 169-182. Belo Horizonte.

SANTOS, C. A. Diagnóstico e zoneamento geoambiental da APA da Bacia Hidrográfica do Rio Machado-MG. **Caderno de Geografia**, v.29, Número Especial 1, 2019.

SELBY, M.J. Hillslope Materials and Processes. **Oxford University Press**, Oxford, 1993. 451p.

SCHIRMER, G. J. **Mapeamento Geoambiental dos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Nova Palma e Pinhal Grande-RS. 2012.**

156p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SCHIRMER, G.J. **Zoneamento Geoambiental da Quarta Colônia – Rio Grande do Sul**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Geociências, Santa Maria, RS, 2015.

SILVA, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 236p.

TRENTIN, R. **Definição de Unidades Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul**. 2007. 140p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

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

TÔSTO, S.G. Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do município de Araras, SP. Tese de Doutorado. Instituto de Economia, UNICAMP, Campinas, 2010. 217 p.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; YONG LI. (2005). Gully erosion: impacts, factors and control. **In: Catena**. No. 63. p. 132-153.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento E Distribuição De Voçorocas Em Manaus (Am): Principais Fatores Controladores E Impactos Urbano-Ambientais**. 2008. 315p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.

VIEIRA, C.L. **Emprego de técnicas mecânico-vegetativas em ravinamento no areal em São Francisco de Assis - sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2012. 163 f. il. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PAULA, P.M.; ROBAINA, L.E.S. Mapeamento de Unidades Geológicas Geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Arroio Lajeado Grande/RS. São Paulo: UNESP, **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 175-184, 2003.

VERDONK, S. C. **Gully volume estimates using UAV Photometry in the Salagou area**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Utrecht, 2015.

VIEIRO, A. C. **Análise Da Geologia, Geomorfologia E Solos No Processo De Erosão Por Voçorocas: Bacia Do Taboão, RS, dissertação**, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul Instituto De Pesquisas Hidráulicas, Maio de 2004.

WU, B.; WANG, Z.; ZHANG, Q.; SHEN, N. LIU, J. Response of soil detachment rate by raindrop affected sediment-laden sheet flow to sediment load and hydraulic parameters within a detachment-limited sheet erosion system on steep slopes on Loess Plateau, China. *Soil & Tillage Research* v. 185. 9-16 p. 2019.



WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58p. Agriculture handbook 537.

ZEVENBERGEN, L.W.; THORNE, C.R. **Quantitative Analysis of Land Surface Topography**. Earth Surface Processes and Landforms, v.12, p.47-56, 1987.

SILVA, A. B. **Sistema de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. 236p.