

## PROCESSOS EROSIVOS NA VOÇOROCA DO BURACO FUNDO, CENTRO-OESTE DO RS

*EROSIVE PROCESSES IN BURACO FUNDO'S GULLY, MIDWEST OF RS*

*PROCESOS EROSIVOS EN LA CÁRCAVA DEL BURACO FUNDO, MEDIO OESTE  
DE RS*

GIORGE GABRIEL SCHNORR <sup>1</sup>  
ANDERSON AUGUSTO VOLPATO SCCOTI <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduação em Geografia na Universidade Federal de Santa Maria/UFSM.  
E-mail: giorgeschnorr@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7305-872X>

<sup>2</sup> Professor do departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria/UFSM.  
E-mail: ascoti2@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8667-0432>

### RESUMO

O presente trabalho objetiva identificar e mapear as formas e os processos erosivos acelerados na voçoroca do Buraco Fundo, Centro-Oeste do RS, associando-os a processos antrópicos que se dislocam nas bordas e interior da voçoroca. Para isso, organizou-se o trabalho partindo de uma visão sistêmica com a elaboração de um banco de dados georreferenciado, com base em trabalhos de campo e bases cartográficas. O processo se desenvolve, principalmente, em um espesso manto de materiais alterados e inconsolidados, cuja estrutura e textura resultam em processos de solapamento de bordas, caracterizada como erosão remontante, tendo a intervenção antrópica como condicionante dos processos. É preciso que sejam tomadas ações que reduzam efeito do *splash* e do escoamento superficial, com a manutenção de uma cobertura composta de vegetação de gramíneas ou arbórea/arbustiva que promova proteção do solo.

**Palavras-chave:** Erosão. Mapeamento. Geomorfologia. Pipes.

### ABSTRACT

This article aims to identify and map the shape and accelerated erosive processes in the Buraco Fundo's gully, Midwest of Rio Grande do Sul State, associating them with anthropic processes that take place on the edges and interior of the gully. The work was organized based on a systemic view, with a georeferenced database, that was prepared based on fieldwork and cartographic bases. The process develops mainly in a thick mantle of altered and unconsolidated materials, whose structure and texture results in edge undermining processes, characterizing upstream erosion, that have anthropic intervention as a conditioning factor for the processes. Actions must be taken to reduce the effect of splash and surface runoff, with the maintenance of a cover composed of grass or tree/shrub vegetation that provides protection over the soil.

**Keywords:** Erosion. Mapping. Geomorphology. Pipes.

### RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo identificar y mapear la forma y los procesos de erosión acelerada en la cárcava del Buraco Fundo, en el Medio Oeste de Río Grande do Sul, asociándolos a procesos antrópicos que tienen lugar en los bordes e interior de la cárcava. Para eso se organizó el trabajo a partir de una visión sistémica y se elaboró una base de datos georreferenciada a partir de trabajos de campo y bases cartográficas. El proceso se desarrolla principalmente en un espeso manto de materiales alterados y no consolidados, cuya estructura y textura resultan en procesos de socavación de bordes, caracterizando la erosión regresiva, teniendo la intervención antrópica como condicionante de los procesos. Se deben tomar acciones para reducir el efecto del *splash* y escorrentía superficial, con el mantenimiento de una cobertura compuesta por pasto o vegetación arbórea/arbustiva que brinde protección al suelo.

**Palabras clave:** Erosión. Cartografía. Geomorfología. Pipes.

## INTRODUÇÃO

Uma voçoroca pode ser definida como um canal profundo na encosta, podendo ser cortado por água corrente, no qual o fluxo, geralmente, não é perene (KIRKBY e BRACKEN, 2009), a sua formação representa um processo erosivo marcante na paisagem, pois dentre as formas de erosão, é a qual possui os maiores impactos e destruição (RADEMANN, 2019). Isso se deve ao fato desse tipo de processo surgir de uma sequência de fatores, os quais juntos dão origem a ocorrência de incisões, que além de grandes, acabam por atingir o lençol freático. Além disso, vale ressaltar que os processos que envolvem tanto a formação quanto o recuo de uma voçoroca são controlados por fatores como litologia, tipo de solo, clima, topografia, uso da terra e cobertura vegetal (CAPRA, 2013).

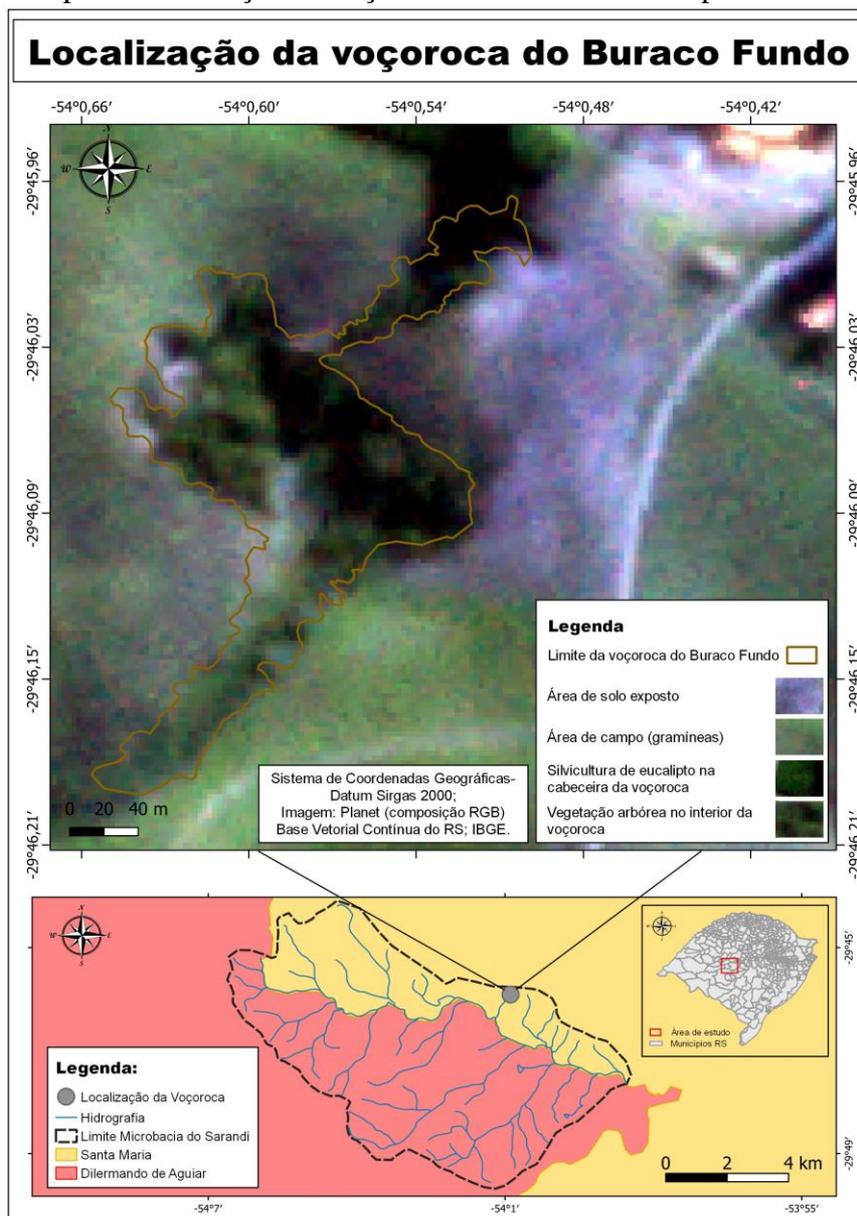
As regiões Central e Oeste do Rio Grande do Sul, possuem áreas bastante suscetíveis aos processos erosivos, ocorrendo principalmente pela presença de rochas sedimentares mais friáveis da depressão periférica, bem como o uso intenso do solo para fins agropecuários (SUERTEGARAY, 1998; ROBAINA et al., 2002; AVILA, 2009; DALLA LANA et al., 2017; CABRAL et al., 2020; RADEMANN e TRENTIN, 2020). Para Gaberti (2022), historicamente, o uso intensivo da terra para fins de desenvolvimento econômico no Oeste do Rio Grande do Sul potencializou a degradação do meio ambiente. Logo, sem o controle e monitoramento das áreas mais suscetíveis aos processos erosivos acelerados, existe maior possibilidade de problemas ambientais que podem afetar severamente as diversas formas de vida, gerando potenciais perdas econômicas e sociais.

O monitoramento da conversão dos tipos de uso e cobertura da terra, associado ao processo de cartografar e monitorar as formas e micro formas associadas às voçorocas, representam um importante instrumento não estrutural, que pode auxiliar na contenção e na tomada de medidas preventivas de eventuais danos socioeconômicos gerados pela evolução rápida dessas feições.

Nesse sentido, apresentam-se soluções relacionadas ao uso e aplicação de geotecnologias, que demarcam uma importante possibilidade de entendimento do espaço, com análises mais rápidas e práticas. As geotecnologias são compostas por *hardware* e *software* e representam um conjunto de tecnologias que buscam coletar, processar, analisar e ofertar informações com referência geográfica, constituindo-se em poderosas ferramentas para tomada de decisão (ROSA, 2005; LOUREIRO et al., 2020). Para Storto e Cocato (2018), as geotecnologias são grandes aliadas no fornecimento de ferramentas de caracterização, monitoramento e gestão do espaço, onde é possível atuar de forma eficaz na detecção de possíveis impactos. Assim, a evolução das geotecnologias permite também maior detalhamento dos dados colhidos em campo para posterior análise e trabalho em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), como por exemplo a obtenção de dados por meio de Aeronave Remotamente Pilotadas (ARP).

Portanto, a partir dos pressupostos apresentados, este trabalho tem por objetivo identificar e mapear as formas e os processos erosivos acelerados na voçoroca do Buraco Fundo no Centro-Oeste do Rio Grande do Sul, associando-os a processos antrópicos que se discorrem nas bordas e interior da voçoroca. A voçoroca está localizada em uma área rural, no oeste do município de Santa Maria/RS (Figura 1). O processo erosivo está inserido em um local onde a estrutura é formada por rochas sedimentares.

Figura 1 - Mapa de localização da voçoroca no oeste do município de Santa Maria/RS.



Fonte: Adaptado e organizado pelos autores (2023).

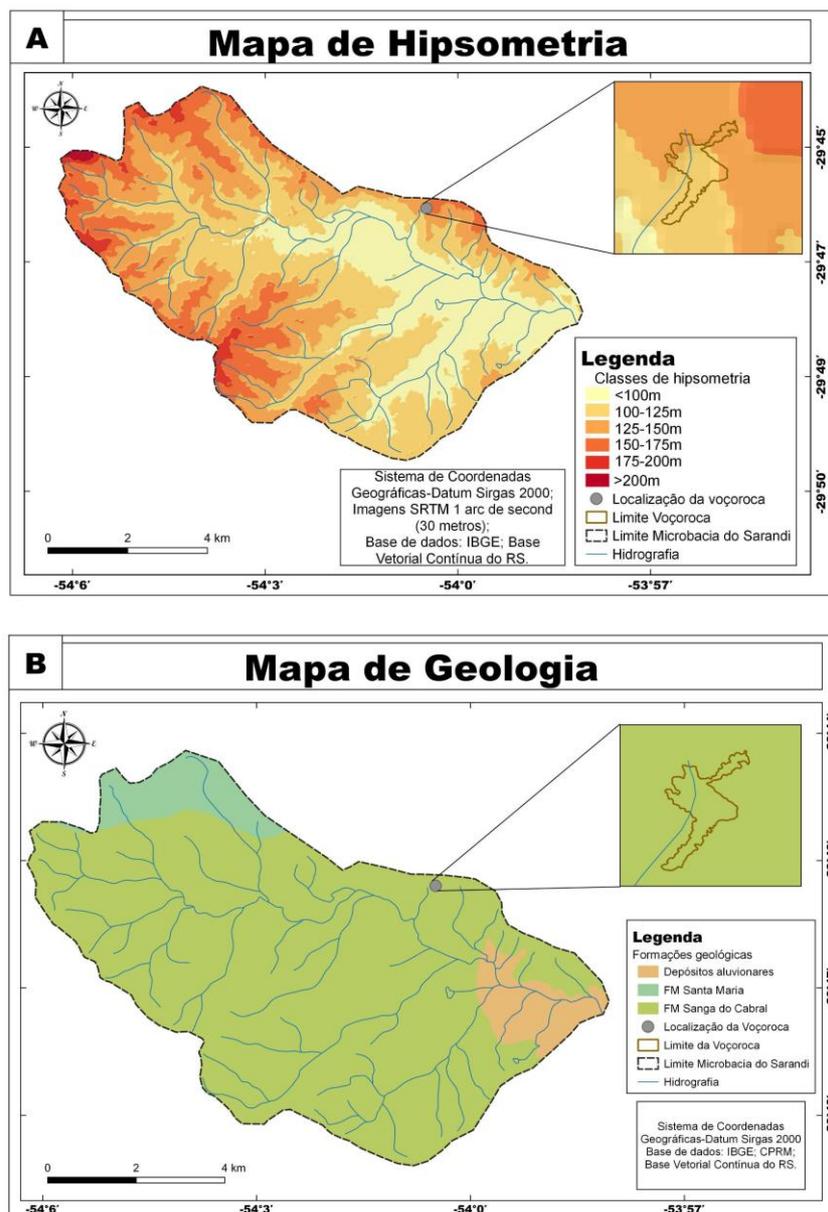
## CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

A voçoroca do Buraco Fundo (AVILA, 2009) localiza-se no Centro-Oeste do Rio Grande do Sul, na Microbacia Hidrográfica do Arroio Sarandi (MBHAS), na porção oeste do município de Santa Maria. Na MBHAS, as altitudes variam entre 70 e 223 metros (Figura 2), delimitando amplitude altimétrica de 153 metros. As maiores altitudes se encontram na porção Noroeste, Norte e Sudoeste. Ao longo do canal principal, o Arroio Sarandi, e dos seus principais tributários, estão presentes as menores altitudes, formando uma planície de inundação na direção Oeste-Leste. Já a Voçoroca do Buraco Fundo está inserida junto às nascentes de um tributário do arroio Sarandi e se encontra em altitudes que variam entre 100 e 175 metros, com maior altitude ao Norte e menor ao Sul.

Na MBHAS, a declividade varia de 0 a 40%, as áreas mais inclinadas, localizam-se, principalmente, em porções de vales nas cabeceiras da bacia, bem como delimitam áreas com a presença de colinas. Em adição, à Voçoroca do Buraco Fundo está situada em uma vertente com inclinação variando de 10 a 20%.

Em relação à geologia presente na área de estudo, segundo o mapeamento geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2008), a MBHAS apresenta rochas sedimentares originárias da bacia Sedimentar do Paraná, com a predominância da Formação Sanga do Cabral em maior parte da área, e Formação Santa Maria ao Noroeste. Ao longo do canal principal em direção a foz, há a ocorrência de depósitos aluvionares recentes. A Voçoroca do Buraco Fundo está localizada sobre rochas sedimentares da Formação Sanga do Cabral, que se caracteriza por origem sedimentar continental fluvial, com siltito e raro argilito (CPRM, 2008).

Figura 2 - Mapa de hipsometria da MBHAS (A); Mapa de geologia da MBHAS (B).



Fonte: Adaptado e organizado pelos autores (2023).

Na área da MBHAS há o predomínio de Argissolos, e na voçoroca do Buraco Fundo ocorre a classe de Argissolo Vermelho Alumínico (IBGE, 2015). Os Argissolos da Depressão Central do Rio Grande do Sul apresentam textura média arenosa com espessura variável em horizonte superficial (PEDRON et al., 2012). Já o horizonte B tem como característica grande presença de argila, que interfere no comportamento do escoamento subsuperficial, tendo em vista a dificuldade de penetração da água em função da retenção na camada argilosa. Em termos climáticos, seguindo a classificação de Rossato (2011) a área de estudo está inserida no clima Subtropical II, com médias de precipitação anual que variam entre 1.500-1.700 mm, distribuídas entre 90 e 110 dias de chuva. Na Figura 3 é possível visualizar a atual situação da voçoroca.

**Figura 3** – Visualização da Voçoroca do Buraco Fundo.



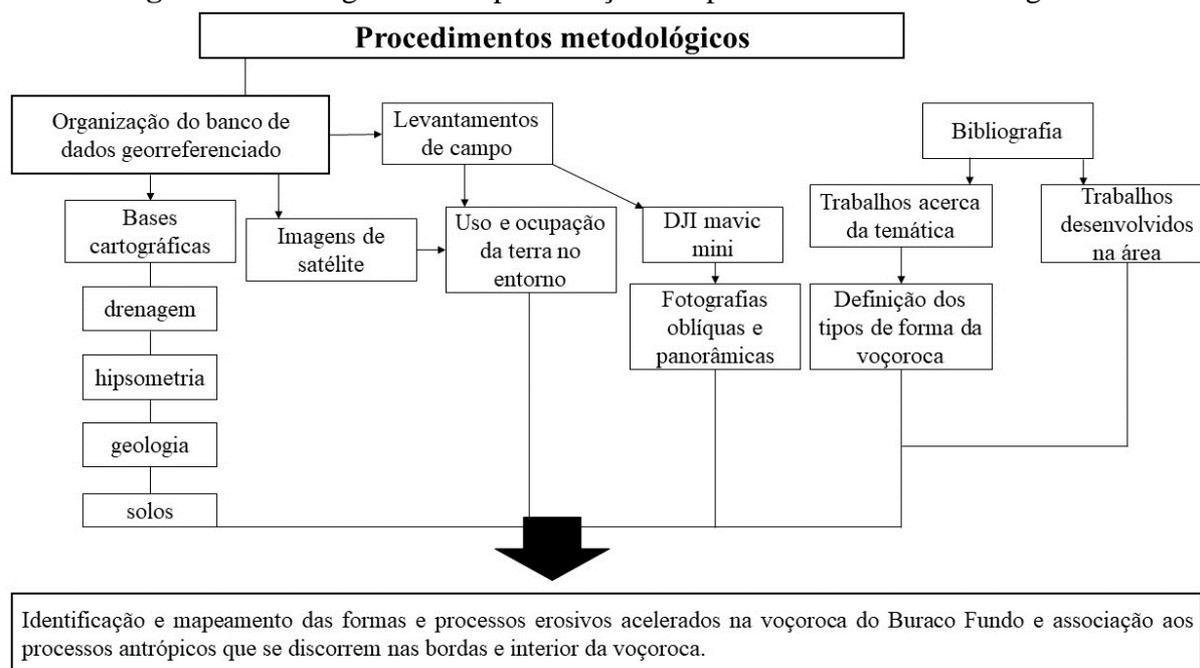
Fonte: Autores (2023).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a organização dos procedimentos metodológicos, buscou-se na abordagem sistêmica o aparato epistêmico necessário para a compreensão dos processos erosivos. Portanto, partindo dos pressupostos da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1976), as variáveis do ambiente foram analisadas e interpretadas com base na dialética, com a intenção de discutir as causas e efeitos atreladas à ocorrência e evolução dos processos erosivos.

A estruturação dos procedimentos metodológicos necessários para a obtenção dos resultados estipulados, está descrita no fluxograma da Figura 4. Os procedimentos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa, estiveram atrelados aos processos técnicos e teóricos, baseados na busca de material cartográfico, informações de campo e dados bibliográficos que possibilitassem a descrição dos processos e das formas observadas na voçoroca. Cabe destacar, que este artigo tem como uma de suas bases o trabalho de dissertação de mestrado de Avila (2009). Com base nisso, espera-se descrever, por meio da comparação de dados, a evolução da voçoroca e das formas de uso e cobertura da terra no seu entorno.

Figura 4 – Fluxograma de representação dos procedimentos metodológicos.



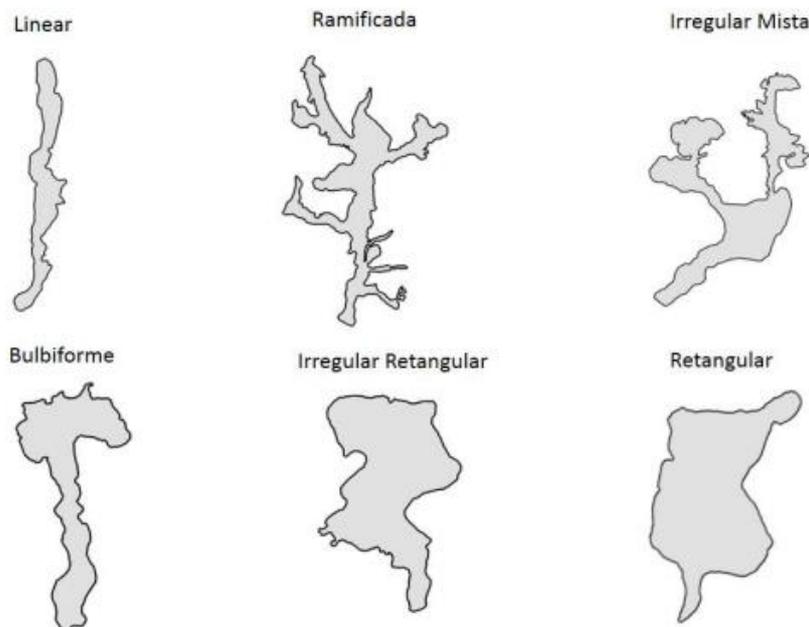
Fonte: Autores (2023).

Para elaboração dos mapas e análise dos componentes ambientais, foi necessário organizar um banco de dados com as informações vetoriais. Os limites dos municípios foram extraídos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019); a rede de drenagem foi extraída da Base Vetorial Contínua do RS (HASENACK e WEBER, 2010), na escala de 1:50.000. O *software* utilizado no trabalho foi o QGIS, na versão 3.22.

Para caracterização inicial, foram apresentadas as características morfométricas e morfológicas da MBHAS, trazendo dados de relevo, hipsometria, geologia, lineamentos estruturais e solos. Os dados relacionados à hipsometria foram obtidos com base em um modelo digital de elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros (1 *arc de second*), obtido no site da USGS - *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>); as informações relacionadas à geologia foram obtidas através do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2008), na escala de 1:750.000, enquanto que os lineamentos de falhas foram delimitados com base em Avila (2009); e em relação aos solos, o trabalho teve como base a classificação do IBGE (2015), na escala de 1:250.000. Já para a representação espacial da área através dos mapas, foi utilizada uma imagem de satélite, com 4 metros de resolução espacial, obtida através da plataforma *Planet* (<https://www.planet.com/explorer/>). Através destes dados foi possível a elaboração de mapas temáticos e descrição de algumas das condições ambientais do entorno da voçoroca.

Na sequência, para caracterização e descrição da voçoroca, foram consideradas: forma; descrição dos processos; e microformas presentes. Em relação à forma, baseou-se no trabalho de Cabral (2018) (Figura 5). Para isso, foram utilizados trabalhos de campo, que permitiram captura e análise de fotos por meio de ARP (DJI mavic mini).

**Figura 5** – Formas de voçoroca conforme a classificação de Cabral (2018).



**Fonte:** Cabral (2018).

Após a caracterização inicial, a voçoroca foi dividida em cinco setores para melhor compreensão e análise das formas e processos. A divisão ocorreu com base nos padrões de evolução e formas na voçoroca. Os setores foram delimitados no QGIS, após estudo e análise em trabalhos de campo.

Para apresentação de uma discussão mais detalhada dos processos erosivos na Voçoroca do Buraco Fundo, foram definidos 6 pontos com base na análise de campo, nos quais os processos erosivos estão ativos, com maior potencial erosivo e representatividade de erosão. Reforçamos que, partindo do trabalho de Avila (2009), pretendeu-se demarcar pontos com destaque na evolução da voçoroca, indicando áreas de ativação/reativação do processo.

## RESULTADOS

A Voçoroca do Buraco Fundo possui área de 3.000 m<sup>2</sup> e um canal de drenagem perene, de primeira ordem. Com base em Cabral (2018), a voçoroca pode ser classificada como ramificada em termos de forma, o que reflete tanto as características estruturais, quanto os processos exógenos presentes no local, associados à ação fluvial e pluvial.

No interior da voçoroca, observa-se a presença de vegetação arbórea de médio a grande porte. Segundo Avila (2009), isso se deve ao horizonte A (orgânico) ser levado por escorregamento e consigo a vegetação, que, ao longo do tempo, regenera-se na base do talude, essa característica adere estabilidade parcial ao processo. Além disso, o fato de existirem indícios de cercas no entorno da voçoroca mostra que, em algum momento, o acesso do gado ao interior da voçoroca foi restringido, o que possibilitou o desenvolvimento da vegetação.

No seu entorno, em geral, o uso e ocupação da terra se relaciona a áreas de pecuária extensiva com campo; áreas de lavoura; e de silvicultura de espécie exótica (eucalipto). Na margem esquerda da voçoroca, ocorre a presença de lavouras temporárias. Na porção da cabeceira, aconteceu recente a retirada de importante quantidade de eucaliptos, os quais deram lugar ao solo exposto. No trabalho de Avila (2009), é possível observar que o uso e cobertura da terra no entorno da voçoroca era exclusivamente de pecuária extensiva, onde o gado (bovino)

tinha acesso à voçoroca, por toda sua extensão. A instalação de lavouras restringiu o acesso na margem esquerda, porém, as técnicas inadequadas de manejo do solo estão promovendo a ação rápida dos agentes erosivos (pluviais). Já a margem direita ainda concentra áreas de campo com finalidade de criação extensiva do gado.

Levando em consideração que o gado ocupa tanto o interior quanto as bordas e margem direita da voçoroca, executa um papel de compactação do solo, ocasionando a formação de trilhas através do pisoteio, como pode ser observado nas imagens da Figura 6.

**Figura 6** – Visualização da superfície do solo (esquerda) e panorâmica (direita) mostrando efeitos do pisoteio de gado no entorno da Voçoroca do Buraco Fundo.



Fonte: Autores (2023).

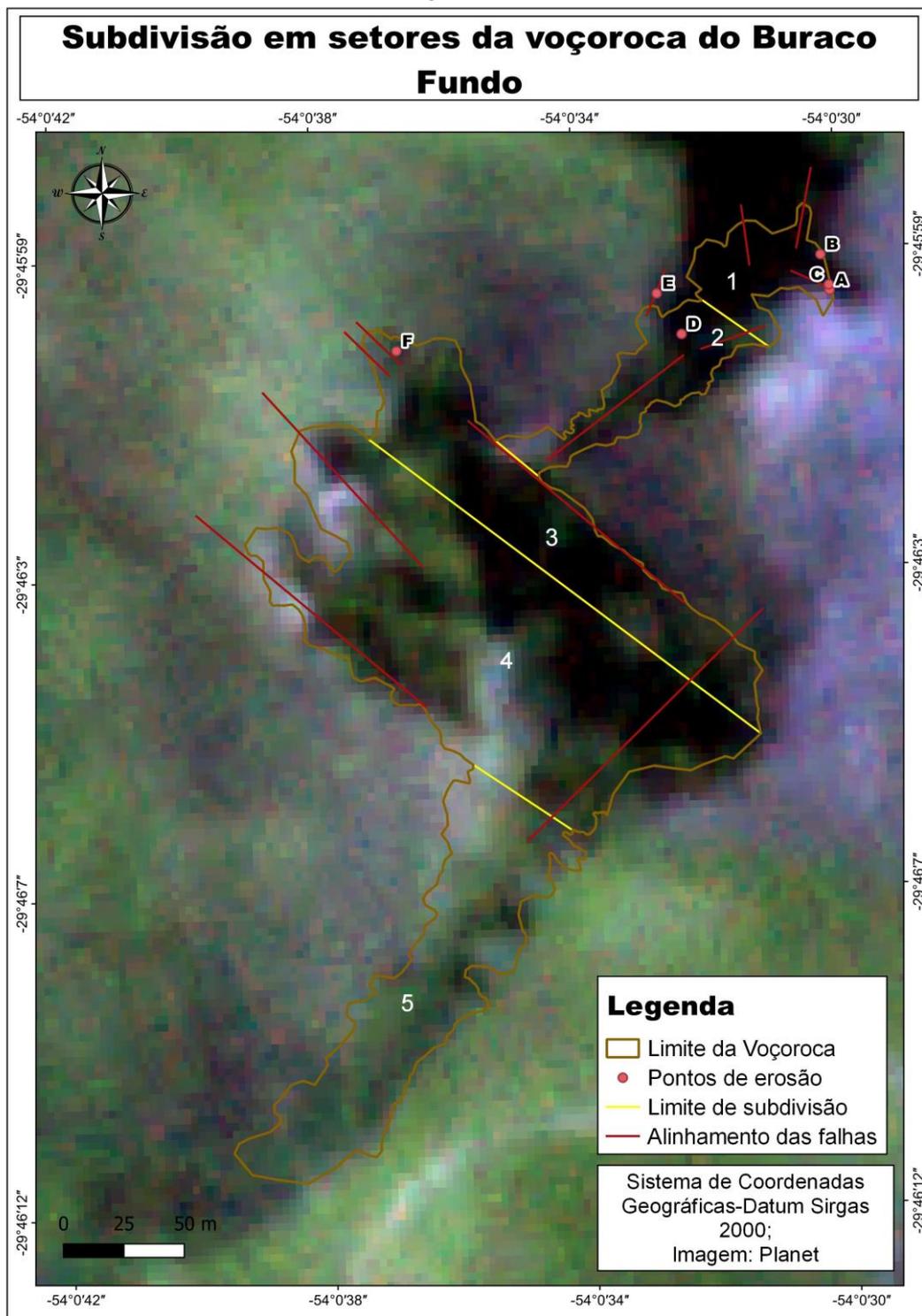
Essas trilhas favorecem o escoamento superficial e, devido à compactação, dificultam os processos de infiltração e percolação de água no solo (COSTA e SILVA, 2015; SOUZA e FERREIRA, 2017; PETSCH et al., 2023). Logo, ocorre o aumento da erosão superficial, tendo em vista que muitas das trilhas direcionam o escoamento da borda para o interior da voçoroca. Uma série de trabalhos comentam acerca do desenvolvimento e aumento espacial de feições erosivas lineares profundas em função do pisoteio do gado e aumento do escoamento superficial (AUGUSTIN e ARANHA, 2006;), bem como a importância do controle deste fator (FILIZOLA et al., 2011).

Em adição, Nabinger et al., (2009) comentam que a compactação do solo é conduzida pelo sobrepastoreio, o que favorece a erosão superficial, tendo em vista o aumento do escoamento e a menor velocidade de infiltração de água. Gaberti (2022) complementa que na pecuária podem se desenvolver processos erosivos com a conversão da pastagem natural e o pisoteio do gado, gerando compactação do solo, diminuindo a infiltração de água e aumentando o escoamento superficial.

É possível identificar dois processos na área de entorno: o de erosão superficial e o de erosão subsuperficial. No caso da erosão superficial, este processo é acelerado pela compactação do solo, conforme já comentado. Já a erosão subsuperficial, possui relação com o horizonte B textural e ao seu elevado teor de argila, o qual se relaciona à formação de *pipes* e de gretas de contração, conforme observação feita em campo.

Para maior detalhamento dos processos que ali ocorrem, realizou-se a divisão da voçoroca em 5 setores, como pode ser observado na Figura 7. Cada setor apresenta diferentes conjuntos de formas e processos. Em campo foi possível observar as áreas onde a erosão está mais acentuada.

Figura 7 – Mapa representativo da erosão, com processos diferentes de acordo com cada setor, na Voçoroca do Buraco Fundo.



Fonte: Adaptado e organizado pelos autores (2023).

Por meio da Figura 8 é possível observar o alinhamento das direções de falha na voçoroca, marcados por Avila (2009). Destaca-se que é por onde ocorre o desenvolvimento das principais ramificações, trazendo a característica de forma ramificada.

**Figura 8** – Alinhamento das direções de falhas na voçoroca do Buraco Fundo. Na imagem é possível visualizar a voçoroca no ano de 2009.



Fonte: Avila (2009).

O Setor 1 se refere à cabeceira da voçoroca, local onde se concentram os processos erosivos em maior atividade. Neste Setor, a ação antrópica é bem incisiva e vem auxiliando na aceleração e reativação dos processos erosivos. No local, ocorreram intervenções recentes, com o objetivo de controlar os processos erosivos, como descarte de lixo com finalidade de conter o fluxo hídrico e escoamento superficial. Recentemente, com a retirada dos eucaliptos, restos de troncos e raízes foram lançados no interior da voçoroca. Contudo, estes métodos são equivocados e além de contribuírem para o avanço do processo erosivo por não possuir consistência e estabilidade, o que facilita movimentos de massa após episódios chuvosos, ainda contribui (no caso do lixo) para a contaminação da água superficial e subterrânea.

Na Figura 9, os pontos “A” e “B” se referem a rachaduras na borda da cabeceira. Nestes locais, a erosão subsuperficial causa desestabilização, gerando solapamento e início dos movimentos de massa, provocando trincas nestas porções da cabeceira de drenagem. Logo, o material tecnogênico (material depositado, que é fruto do descarte de atividades antrópicas, a exemplo de plásticos, metais, restos de construção civil, entre outros) depositado na cabeceira da voçoroca, com o objetivo de preencher essa porção, não possui consistência e coesão, o que gera espaços vazios, criando em subsuperfície áreas sem material, o que facilita a origem de alcovas de regressão e consequentes processos de colapso (FROTA FILHO et al., 2020).

**Figura 9** – Imagens que representam os pontos A, B e C no Setor 1.



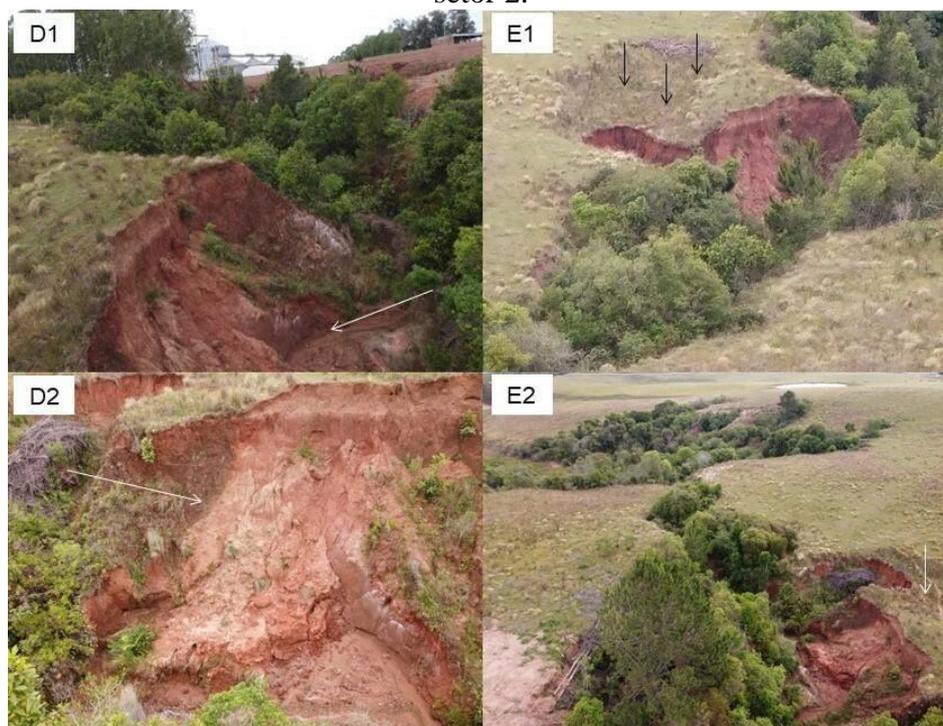
Fonte: Autores (2023).

O ponto “C” marca o processo de *piping* na cabeceira, próximo à rachadura do ponto “A” (Figura 9). Mesmo que os materiais preencham essas áreas da cabeceira, a erosão subsuperficial ainda continua ativa, principalmente depois de episódios chuvosos, com o lençol freático aflorando. Os *pipes* se caracterizam como erosão subsuperficial, que promovem o colapso, principalmente, de cabeceiras de drenagem, dando início a processos erosivos acelerados. Este processo é consequência do crescimento da voçoroca, avançando em subsuperfície na forma de tubos (CABRAL, 2018).

No Setor 2, a cobertura vegetal é maior que a registrada no setor anterior e a ação antrópica ocorre por meio da criação de bovinos. Na parte central deste setor, bem como na margem esquerda da voçoroca, os processos erosivos se encontram com maior estabilidade, havendo vegetação arbórea alta. O lineamento de falha presente neste setor, na borda da voçoroca, faz com que haja alargamento em sentido horizontal (Figura 10 “D” e “E”).

O ponto “D” delimita a face mais ativa dos processos erosivos. Eles ocorrem na margem côncava (erosiva) do canal no interior da voçoroca, havendo solapamento, após a ação mecânica da água. Neste local, a erosão atinge o saprólito e a rocha matriz. No ponto “E”, a erosão subsuperficial deu origem a um degrau de abatimento na borda da voçoroca. Esse abatimento possibilita uma concentração dos fluxos superficiais, os quais auxiliam a erosão nesse local.

**Figura 10** – Fotografias panorâmicas dos pontos de maior atividade do processo erosivo no setor 2.



Fonte: Autores (2023).

Na imagem “D1” destaca-se a erosão hídrica causada na margem côncava, na qual a água, através da força física, desloca o solo e os sedimentos. Na imagem “D2” é possível observar a queda dos sedimentos, materiais de solo e rocha. Já nas imagens “E1” e “E2”, pode-se observar com maior clareza o rebaixamento causado pela erosão subsuperficial, onde a superfície apresenta importante deslocamento se comparado ao seu entorno.

O Setor 3 marca importante alargamento no sentido horizontal na forma da voçoroca, o que se deve ao falhamento estrutural, observado anteriormente na Figura 7 e conforme descrito no trabalho de Avila (2009). Na margem esquerda e porção central, há certa estabilidade dos

processos erosivos onde foi atingido o nível freático. O setor é recoberto horizontalmente por vegetação arbórea bem desenvolvida.

Já na margem direita, há uma ramificação, onde se localiza o ponto “F”. Esta ramificação no Setor 3 se caracteriza por apresentar um entorno mais íngreme e com maior energia de relevo, com forma côncavo-convergente da vertente (que concentra os escoamentos superficiais), bem como a presença de *pipes*. Fernandes (2011) complementa que nesta área a vertente côncava possui inclinação de cerca de 5°, e o fluxo superficial e subsuperficial se concentra na base, fazendo com que o material superficial fique exposto aos agentes erosivos.

Destaca-se, ainda, uma sequência de superfícies colapsadas (Figura 11) que se projetam em direção do topo da vertente. Até a primeira área de colapso identificada, ocorre o escoamento superficial, mas na sequência, com a presença dos demais *pipes*, o escoamento superficial é praticamente suprimido. Nesse ponto, a vegetação arbórea e arbustiva auxilia na contenção dos processos erosivos. Porém, destaca-se que esta é uma área muito frágil e suscetível a uma nova aceleração destes processos.

**Figura 11** – Fotografias oblíquas representativas do Setor 3 e do ponto F. As setas indicam as áreas de colapso dos *pipes*.



Fonte: Autores (2023).

Os Setores 3 e 4 apresentam processos similares. Neles, a passagem do horizonte A para o horizonte B do solo sofre solapamento devido à erosão. Nas camadas superiores ocorre uma importante estabilidade, gerada pelas raízes da vegetação de gramíneas (principalmente quando mais desenvolvidas) no horizonte superficial (A). Como as raízes promovem maior contenção no horizonte superficial, os horizontes subsuperficiais acabam perdendo material e ocasionando, com o tempo, o solapamento da superfície (Figura 12).

**Figura 12** – Imagens de representação dos horizontes superficial e subsuperficiais analisados, em uma borda da voçoroca.



Fonte: Autores (2023).

Entretanto, o Setor 4 se caracteriza por área mais estável em relação aos processos erosivos. A porção central já atingiu o nível freático e, assim como o Setor 3, há vegetação arbórea bem desenvolvida (Figura 13). Uma voçoroca passa por 4 fases, sendo a 3ª, o alargamento horizontal da feição, o encontro com o nível de base e posterior formação de fundo plano (GORSHKOV e YAKUSHOVA, 1970 *apud* MACIEL FILHO e NUMMER, 2011; MARCHIORO et al., 2016).

**Figura 13** – Fotografias oblíquas representativas do Setor 4. As linhas representadas nas fotografias marcam as áreas de dissipação e concentração de fluxos superficiais.



Fonte: Autores (2023).

Já o Setor 5 diz respeito ao terço inferior da vertente, a porção final da voçoroca, próxima ao nível de base local (Figura 14). Na margem esquerda o uso e ocupação da terra é de lavoura, com característica de plantio direto, o que auxilia no controle dos processos erosivos. Já na margem direita, há a presença de campo e criação extensiva de gado. Ali, a vegetação de gramíneas se desenvolve e o gado aproveita este local para se alimentar, além disso, acaba adentrando também, por este trecho, ao interior da voçoroca em busca de água e sombra. Em função disso, o pisoteio nas bordas gera terracetes, que além de gerados pelo gado, ainda são por este intensificados na locomoção do rebanho, ampliando os degraus e a compactação (GIROLDO, 2013).

**Figura 14** – Fotografias panorâmicas e oblíquas representativas do Setor 5, onde o processo erosivo encontra-se menos incisivo.



Fonte: Autores (2023).

A margem esquerda da voçoroca sofreu alterações no uso e cobertura da terra principalmente na última década. No trabalho de Avila (2009), a ocupação do solo no seu

entorno foi descrita como exclusiva para fins de pecuária extensiva, com presença de gramíneas nativas do bioma Pampa.

Por fim, nesse setor ocorre a deposição dos sedimentos que são erodidos. A erosão é menor e ocorre uma redução da seção transversal da voçoroca. O material que foi erodido flui para os cursos hídricos, o que vem a prejudicar a qualidade das águas e a dinâmica dos canais.

## CONCLUSÃO

Através dos procedimentos metodológicos estabelecidos, foi possível desenvolver uma caracterização da MBHAS, da área de entorno da voçoroca, bem como incrementar a discussão na área com base no trabalho de Avila (2009). Os processos erosivos identificados e citados ao longo do trabalho se relacionam intrinsecamente com o uso e ocupação da terra, agente antrópico e as variáveis físicas presentes em cada local.

Em trabalhos futuros, a recomendação dada é o trabalho com o detalhamento das características do solo e rocha, tendo em vista que o avanço da voçoroca está atrelado a erosão subsuperficial e formação de *pipes*. A elaboração de Modelo Digital de Elevação, com maior resolução espacial, também pode auxiliar no entendimento dos processos que ocorrem na voçoroca, o qual, devido a uma vegetação bem desenvolvida principalmente no setor 4 e nas áreas de maior controle dos processos erosivos, vem a necessitar de uma série de correções a fim de trazer dados mais fiéis à análise.

Algumas das ações que podem contribuir para a redução dos processos erosivos acelerados, estão relacionadas a certos cuidados com o uso e ocupação da terra, bem como, certo controle sobre o escoamento superficial e subsuperficial. Dessa forma, é necessário que sejam tomadas ações que reduzam, primeiramente a ação do efeito *splash* e do escoamento superficial, seja ele concentrado nos caminhos/trilha por onde o gado se desloca, ou a partir do escoamento difuso nas áreas com conversão do uso da terra mais incisiva. A manutenção de uma cobertura composta de vegetação de gramíneas ou arbórea/arbustiva poderá promover um grau de proteção sobre o solo. Além disso, o cuidado com o descarte de materiais e a contaminação das áreas de cabeceira da voçoroca, principalmente no Setor 1, também são necessários.

## REFERÊNCIAS

AUGUSTIN, Cristina Helena Ribeiro Rocha; ARANHA, Paulo Roberto Antunes. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: Características e processos associados. **Geonomos**, v.14, n.2, p. 75-86, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v14i2.112>. Acesso em: 23 nov. 2023.

AVILA, L. O. **Erosão na microbacia do arroio Sarandi**: voçoroca do buraco fundo. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/9316>. Acesso em: 22 jan. 2023.

BERTALANFFY, Ludwig von. **Teoria dos Sistemas**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro, 1976.

CABRAL, T. L. **Distribuição e classificação de voçorocas por meio de indicadores morfométricos em sub-bacias no município de Cacequi-RS**. 2018. 191 p. Tese (Doutorado

em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/17557>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CABRAL, Tiéle Lopes; NUMMER, Andrea Valli; BATEIRA, Carlos. Indicadores morfométricos como suporte para a classificação de voçorocas em sub-bacias hidrográficas no município de Cacequi, RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, p. 139-154, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1670> Acesso em: 23 nov. 2023.

CAPRA, Antonia. Ephemeral gully and gully erosion in cultivated land: a review. *In: Drainage Basins and Catchment Management*, p. 109-141, 2013.

COSTA, Gabriel Campos Pereira da; SILVA, Antonio Soares da. Aumento da erosão pela compactação do horizonte superficial causada pelo pisoteio bovino em Santo Antônio de Padua-RJ. *In: 15 Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Rio Grande do Sul*. 2015.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul**: escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM, 2008.

DALLA LANA, Najara Klafke et al. **Aplicação de geotecnologias para análise e mapeamento de processos erosivos na microbacia do Arroio Sarandi, Santa Maria, RS**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 5001-5010, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2208>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FERNANDES, J. A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. 2011. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7774>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FILIZOLA, Heloisa Ferreira et al. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **EMBRAPA Meio Ambiente**, Jaguariúna-SP, e. 1 p. 1-7, 2011. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/915009>. Acesso em: 22 nov. 2023.

FROTA FILHO, Armando Brito da; DA ABREU, Nádia Rafaela Pereira; VIEIRA, Antonio Fábio Sabbá Guimarães. Processo de voçorocamento e feições secundárias: um estudo de caso em Manaus-AM. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 74, p. 313-323, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/RCG217441778>. Acesso em: 23 nov. 2023.

GABERTI, M. M. **Análise dos condicionantes ambientais na formação de voçorocas no município de Capão do Cipó-RS**. 2022. 97 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/24105>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GIROLDO, Larissa. **Terracetes de pisoteio de gado e mudanças morfo-pedológicas em vertente amostral na bacia hidrográfica do rio Jacaré, Serra da Mantiqueira-SP**. 2013. 124 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.8.2013.tde-13032014-124205>. Acesso em: 22 nov. 2023.

HASENACK, Heinrich.; WEBER, Eliseu. (org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul** - escala 1:50.000. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha digital dos limites municipais do Rio Grande do Sul**. Escala 1:250.000. Rio de Janeiro, 2019.

KIRKBY, M. J.; BRACKEN, L. J. Gully processes and gully dynamics. **Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group**, v. 34, n. 14, p. 1841-1851, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.1866>. Acesso em: 23 nov. 2023.

LOUREIRO, Hugo Alves Soares; GUERRA, Antonio José Teixeira; DE ANDRADE, Aluísio Granato. Contribuição ao estudo de voçorocas a partir do uso experimental de laser scanner terrestre e VANT. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 871-892, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1880>. Acesso em: 23 nov. 2023.

MACIEL FILHO, Carlos. Leite.; NUMMER, Andrea Valli. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 4 ed. ver. e ampl. 456 p. Santa Maria: Editora da UFSM, 2011.

MARCHIORO, Eberval; ANDRADE, Edilene Evangelista; OLIVEIRA, João Carlos. Evolução espaço-temporal de voçorocas no Espírito Santo: estudo de caso nos municípios de Afonso Cláudio e Alegre. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 17, n. 1, p. 191-204, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i1.712>. Acesso em: 23 nov. 2023.

NABINGER, Carlos; FERREIRA, Eduardo Tonet; FREITAS, Aline K; CARVALHO, Paulo César de Faccio; SANT'ANNA, Danilo Menezes. Produção Animal com base no campo nativo: aplicação de resultados de pesquisa. In: PILLAR, Valério De Patta; MULLER, Sandra Cristina; CASTILHOS, Zé Maria de Souza; JACQUES, Aino Victor Ávila. **Campos Sulinos – conservação e uso sustentável da biodiversidade, Ministério do Meio Ambiente**, Brasil, p. 175-198, 2009.

PEDRON, Fabrício de Araújo; SAMUEL-ROSA, Alessandro; DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de Argissolos derivados de rochas sedimentares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1-9, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100001>. Acesso em: 23 nov. 2023.

PETSCH, Carina et al. Relação entre a seca e erosão do solo na formação campestre da bacia hidrográfica do rio Santa Maria (RS). **RAEGA-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 56, p. 162-181, abr. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v56i0.86421>. Acesso em: 23 nov. 2023.

RADEMANN, L. K. **Identificação e caracterização dos mecanismos erosivos atuantes na voçoroca do areal no município de Cacequi/RS com auxílio de veículo aéreo não tripulado**. 2019. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/21206>. Acesso em: 22 nov. 2023.

RADEMANN, Lucas Krein; TRENTIN, Romario. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da voçoroca do areal, Cacequi-RS. **GeoTextos**, Salvador, v. 16, n.1, p. 209-230, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/geo.v16i1.35474>. Acesso em: 23 nov. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Manual técnico de pedologia / IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 316 p. disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ROBAINA, Luis Eduardo Souza et al. Processo erosivo acelerado no RS: voçorocamento no município de Cacequi. **Geografia**, Rio Claro, v. 27, n.2, p. 109-120, 2002. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1817>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ROSA, Roberto. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 16, p. 81-90, abr. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>. Acesso em: 23 nov. 2023.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade, tendências e tipologia. 2011. 240 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32620>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SOUZA, Alik Timóteo; FERREIRA, Idelvone Mendes. Diagnóstico de voçorocas em área de pastagem no município de morrinhos (GO). **Espaço em revista**, v. 19, n. 2, p. 68-83, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/er.v19i2.47817>. Acesso em: 23 nov. 2023.

STORTO, Camila.; COCATO, Gabriel. Pereira. Análise de fragilidade ambiental a partir de técnicas de geoprocessamento: área de influência da hidrelétrica de Mauá-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 5, p. 1694-1708, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234927/30948>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Deserto grande do sul**: controvérsia. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.