

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

**O USO DE IMAGENS DE ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO NO MONITORAMENTO DE
VOÇOROCAS**

Rafaella Aguiar Silva

Prof(a).Dr(a). Cenira Maria Lupinacci

Rio Claro (SP)

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

Rafaella Aguiar Silva

O USO DE IMAGENS DE ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO NO MONITORAMENTO DE VOÇOROCAS

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Bacharel e
Licenciatura em Geografia.

Rio Claro - SP
2024

S586u Silva, Rafaella Aguiar
O uso de imagens de altíssima resolução no monitoramento de voçorocas / Rafaella Aguiar Silva. -- Rio Claro, 2024
53 p. : tabs., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura - Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientadora: Cenira Maria Lupinacci

1. Erosão. 2. VANT. 3. Uso e Cobertura. 4. Geomorfologia. 5. Bacia Hidrográfica. I. Título.

RAFAELLA AGUIAR SILVA

O USO DE IMAGENS DE ALTÍSSIMA RESOLUÇÃO NO MONITORAMENTO DE VOÇOROCAS

Trabalho de Graduação apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas -
Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho,
para obtenção do grau de Bacharel e
Licenciatura em Geografia.

Comissão Examinadora

Cenira Maria Lupinacci (orientador)
Danilo Marques de Magalhães
Melina Fushimi

Rio Claro, 22 de Novembro de 2024.

Assinatura do(a) aluno(a)

Assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão à minha mãe, Clemilza Aguiar. Seu amor incondicional, apoio constante e cuidados ao longo dos meus 23 anos foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Sem você, eu não seria quem sou hoje.

Agradeço também aos meus amigos Rodrigo Agostinho, Arthur Makoto, Lucca Martau, Marcos Paulo, Arthur Teixeira, Matheus Lima, Fernanda Pedroso e Sophia Pedroso. Suas amizades me acompanharam, me fortaleceram e trouxeram alegria aos meus momentos altos e baixos. Sou imensamente grata por cada um de vocês.

Gostaria de agradecer à UNESP por ter me aberto diversas portas acadêmicas e por todo o conhecimento adquirido. Agradeço a todos os professores que passaram por meu caminho e iluminaram minha trajetória. Um agradecimento especial à minha orientadora, Cenira Lupinacci, e a Estêvão Stefanuto, por todo o apoio e orientação que tornaram minha jornada acadêmica ainda mais significativa.

Por fim, agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao processo nº 2023/16492-1, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio ao projeto.

RESUMO

A erosão constitui-se em um fenômeno discutido mundialmente, devido a sua grande capacidade de degradação dos solos, cabendo destaque para as faixas do globo submetidas a climas tropicais e a ação humana através da pecuária. Assim, este trabalho tem como objetivo monitorar, trimestralmente, a dinâmica de uso e cobertura da terra de uma área com a presença de voçoroca localizada no município de Analândia (SP), na Alta Bacia do Córrego Santa Terezinha. Para tal, utilizaram-se imagens de altíssima resolução provenientes de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), as quais possibilitaram a formulação de MDE, carta de fluxo, carta de declividade, mapas de uso e ocupação da terra e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Os resultados revelaram como a topografia, o escoamento superficial e a cobertura vegetal influenciam os processos erosivos. Comparando diferentes cenários, observou-se que áreas de reflorestamento têm menor perda de material em relação às de pastagem, devido à ausência de gado e maior cobertura vegetal. A evolução do talude erosivo pode estar ligada com a cobertura vegetal, indicando que em cenários que apresentam uma boa parte do talude com solo recoberto, mesmo possuindo um alto índice pluviométrico no trimestre, a evolução erosiva foi mais contida. Já o NDVI, por ter sido obtido com a ausência do infravermelho próximo, gerou um falso resultado.

Palavras-chaves: Bacia Hidrográfica. Voçoroca. Erosão. VANT.

ABSTRACT

Erosion is a globally discussed phenomenon due to its significant capacity for soil degradation, with particular attention given to regions under tropical climates and human activity through livestock farming. This study aims to monitor the quarterly dynamics of land use and cover in an area with the presence of a gully located in the municipality of Analândia (SP), within the Upper Basin of the Santa Terezinha Stream. To achieve this, high-resolution images from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) were used, which enabled the creation of Digital Elevation Models (DEM), flow maps, slope maps, land use and land cover maps, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The results revealed how topography, surface runoff, and vegetation cover influence erosion processes. Comparing different scenarios, it was observed that reforested areas experienced less material loss compared to pasture areas, due to the absence of cattle and increased vegetation cover. The evolution of the erosive slope may be linked to vegetation cover, indicating that in scenarios where a significant part of the slope is covered with soil, even with high rainfall during the quarter, erosive progression was more contained. However, the NDVI, obtained without near-infrared data, produced inaccurate results.

Keywords: Drainage Basin. Gully. Erosion. UAV.

SUMÁRIO

1. Introdução	Página 7
2. Objetivos	Página 11
3. Revisão Bibliográfica	Página 12
4. Materiais e Métodos	Página 15
4.1 Área de estudo	Página 15
4.2 O monitoramento da área do entorno da voçoroca	Página 20
4.3 A análise do relevo da bacia hidrográfica	Página 26
5. Resultados e Discussão	Página 30
6. Considerações Finais	Página 46
7. Referências	Página 48

INTRODUÇÃO

A ação antrópica na natureza pode desencadear diversos fatores relacionados à aceleração da erosão, ainda mais quando essa interferência é feita de maneira inadequada. A ocupação do solo, junto a fatores naturais, pode gerar fenômenos como sulcos, ravinas e voçorocas. As consequências desses fenômenos são de larga escala, e podem afetar áreas cultivadas, recursos hídricos, construções urbanas e obras civis. A reversão deste processo, além de ser cara, pode ser lenta, gerando assim inúmeros impactos na vida humana (Kertzman *et al*, 1995).

A Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2015) aponta que os países em desenvolvimento estão se preocupando cada vez mais com as questões referentes aos solos, pois essas podem desencadear, por exemplo, a pobreza rural, a qual, na América Latina, é 1,7 maior do que a pobreza em áreas urbanas, segundo o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA (2012). A proteção social deve ser implementada por esses países, para facilitar o crescimento econômico e sustentável e a transformação na agricultura, assim reduzindo desigualdades econômicas e sociais (FAO, 2015). A agricultura, a qual é fonte de renda para milhões de famílias brasileiras, deve ser feita de uma forma adequada, a qual não gere problemas futuros, como a erosão dos solos, e para que não prejudique a produtividade rural (FAO, 2015).

A erosão pode ser caracterizada de duas maneiras: a geológica, que é causada pelos agentes naturais (água, vento e gravidade), a qual não tem interferência das atividades humanas; e a erosão acelerada, que acontece quando ocorre um desequilíbrio por ações humanas, provocando uma degradação de maneira mais rápida, principalmente quando se utiliza o solo de maneira incorreta, como em áreas de superpastoreio ou desmatadas (Fendrich *et al.*, 1997).

Sarah (2005) aponta que para a estabilização do regime hídrico, precisa ocorrer um *feedback* positivo entre a estabilidade e o tamanho dos agregados. Isso ocorre devido ao fluxo superficial e à erosão do solo. As presenças de vegetação, de acordo com seu tipo, tamanho e predominância, assim como o clima e uso da terra, também vão desenvolver um papel importante para a estabilidade dos agregados (Lavee et al. 1998), e consequentemente, para

a erosão. Quando ocorre a eliminação da vegetação, (Neary e Folliot, 2005), é perturbado o processo de evapotranspiração, o qual terá um papel direto no processo de escoamento e erosão (Calvo-Cases et al. 2003).

Dentre diversos fatores, a erosão causada pelas chuvas merece especial atenção, pois constitui-se em um fenômeno em escala global, verificando-se como uma questão mais séria nos países em desenvolvimento, principalmente naqueles com características de climas tropicais ou semi áridos (Blaike, 1985). A cobertura vegetal, por exemplo, interage diretamente com os eventos pluviométricos, podendo atuar no amortecimento da energia cinética das gotas (Morgan, 1986). Quando a vegetação fica sobrecarregada, a chuva consegue atravessá-la e chegar ao solo (Guerra, 1994a), ocasionando a fragmentação da camada superficial do solo e o realocamento de partículas a partir da ação do *splash*. Posteriormente ocorre a infiltração e/ou o escoamento superficial da água, sendo que, de acordo com o volume da precipitação, o solo se satura, iniciando-se o escoamento da água e o carreamento de material. Ainda, é importante compreender que a infiltração pode influenciar na conservação do solo, devido ao fato de que o excesso de água pode retirar nutrientes importantes, necessários para o desenvolvimento das plantas (Guerra, 1994b).

Ainda, é importante destacar, que a chuva se constitui em fator que influencia inclusive no desenvolvimento de feições erosivas de grande magnitude e complexidade, como as voçorocas. Neste contexto, as voçorocas se desenvolvem quando existe um elevado escoamento superficial e transporte nos sulcos erosivos, formando assim uma feição erosiva que pode atingir grandes dimensões devido ao deslocamento de matéria do solo (Bertoni; Lombardi Neto, 2012).

Em regiões de clima tropical, devido a maior ocorrência de chuvas, a estrutura do solo apresenta uma estrutura mais frágil (Sarah, 2005). Em regiões pouco florestadas, se apresentam menores taxas de infiltração, e maior ocorrência de erosão (Blaikie, 1985). É frequente que, em regiões tropicais, áreas que apresentam feições erosivas, como ravinas e voçorocas, sejam invadidas por espécies de gramíneas (Poaceae) (Clark et al., 2015).

Outro fator importante ao analisar a degradação dos solos por erosão, são as atividades humanas. De acordo com a FAO (2015), os impactos humanos nos solos de regiões tropicais merecem atenção, pois podem gerar problemas futuros relacionados à erosão. O uso da terra pode desencadear impactos locais, regionais e mundiais, gerando erosão. A atividade antrópica, ao alterar a vegetação natural de um determinado espaço, junto com as práticas pastoris, tem aumentado ao longo das décadas, assim como possui a capacidade de enfraquecer o ecossistema e de produzir alimentos de maneira sustentável, de manter a capacidade de reserva de água e regular o clima e a qualidade do ar (Foley *et al.*, 2005). De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2012) o uso extensivo do pasto gera uma degradação da vegetação, levando assim, a retirada da proteção do solo e afetando a capacidade de infiltração, o que pode acarretar a ocorrência de processos erosivos. Valentin *et al.* (2005), usa o exemplo do uso da terra e seus impactos em um estudo feito no território de Laos, tendo os danos por voçoroca em terras destinadas à agricultura podendo chegar a 37% de perda de receita.

O estudo de Guerra *et al.* (2014) aponta que em áreas de encosta, onde a erosão é um risco muito maior, especialmente onde há muita umidade, o solo perde a maior parte de sua resistência e se comporta como um fluido. Tal movimento pode causar eventos catastróficos, gerando inúmeras consequências sociais e econômicas.

A conversão de áreas florestais para áreas destinadas à agricultura, vem contribuindo para as mudanças climáticas globais (Adger; Brown. 1994). Segundo Poesen *et al* (2003), a partir dos fatores climáticos, assim como a geologia e a geomorfologia local, o processo de voçorocamento pode se dar com maior facilidade. No estudo das voçorocas, alguns autores discutem critérios para caracterizá-las, a partir das variações em suas dimensões, sendo Brice (1966) um autor que usa o critério de largura mínima de 0,3 m e profundidade mínima de 0,6 m, enquanto Guerra *et al* (2017) caracteriza uma voçoroca por uma profundidade e largura maiores de 0,5 m.

As voçorocas ganham destaque ao discutirmos erosão do solo, uma vez que se evidenciam como um fenômeno altamente complexo, devido a sua condição multicausal e não coincidente, apresentando variações em suas dimensões temporais e espaciais (Castillo;

Gómez, 2016). Ainda, as dissecações do solo por voçorocas têm a capacidade de reduzir áreas próprias para agricultura, implicando na menor capacidade de uso da terra, assim como na redução da capacidade de reserva de água. No Brasil, 16,5% dos solos já estão degradados, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, que enfrentam problemas de erosão a longo prazo (Bezerra *et al.*, 2020).

De acordo com Poesen *et al* (2003), uma vez que se iniciou o processo de voçorocamento, estas se expandem principalmente através do recuo ativo de sua cabeceira, ou pelo recuo da parede do talude, e a velocidade deste processo se dá pelos fatores citados. A cabeceira é uma parte natural e vertical da voçoroca (Poesen *et al* 2003), e é a partir desta que devem ser feitos os estudos para monitorar suas taxas de recuos, podendo assim permitir um estudo detalhado que irá auxiliar no controle de sua expansão.

O uso de geotecnologias exerce uma grande importância no processo de monitoramento, originando assim resultados mais precisos e rápidos, assim como para áreas mais amplas. As tecnologias, com sequências fotográficas de campo e aéreas, junto a novos tipos de modelagem e elaboração de produtos obtidos por tais fotografias, começaram a se difundir nos últimos 50 anos (Loureiro; Ferreira, 2013). Nas últimas décadas a pesquisa em geomorfologia teve seu desenvolvimento acelerado devido às novas tecnologias implementadas que permitiram compreender os impactos causados pelas ações humanas na paisagem (Goudie, 2020). Um exemplo destas novas tecnologias são as imagens obtidas por VANTs (Veículos Aéreos não Tripulados) e seus sensores.

Logo, para quantificar a morfologia de voçorocas a partir de modelos tridimensionais, será necessário obter uma vasta nuvem de pontos, os quais podem ser obtidos a partir de VANTs, devido ao seu alto nível de detalhe e precisão. Os VANTs são uma alternativa ao *Laser Scanner Terrestre* (LST), no caso de ambientes mais complexos, como as voçorocas, que precisam ter sua dinâmica erosiva monitorada (Goodwin *et al.*, 2016). Essas imagens aéreas, segundo Marzolf e Poesen (2009) trazem uma vasta possibilidade de estudos sobre voçorocas, por serem aptos a obter ângulos privilegiados e contemplarem nível de resolução alto para áreas pequenas diferente do uso de imagens da maior parte dos satélites.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo investigar de que maneira a cobertura vegetal é responsável pela dinâmica erosiva de taludes de voçorocas, utilizando imagens de altíssima resolução adquiridas por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado. A proposta também visa compreender de que maneira cada tipo de cobertura vegetal é responsável pela dinâmica erosiva, considerando ainda a variação na topografia da bacia hidrográfica, declividade do terreno e características do escoamento superficial.

Portanto, o trabalho consiste em: analisar o uso e cobertura da terra; identificar áreas de bacia com maior energia no escoamento; analisar a declividade dos terrenos dos taludes para compreender a intensidade do escoamento superficial, e a concentração da chuva e verificar a influência da vegetação através da morfologia da voçoroca.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Devido ao fato das práticas agropecuárias inadequadas ampliarem a dinâmica erosiva e contribuírem na formação de ravinas e voçorocas, em estágios avançados, estas são capazes de modificar a paisagem (Guerra, 1997).

Vanmarcke *et al.* (2016) aponta que as consequências da erosão por voçorocas têm resultados *onsite* e *offsite*. O primeiro trata-se sobre a perda e redução local de material, enquanto o segundo trata-se do movimento que ocorre a partir da sedimentação. As voçorocas são fontes da sedimentação, em nível de bacia de drenagem (Guerra *et al.* 2017; Poesen *et al.* 2003), podendo produzir sedimentos em larga escala, tendo assim o potencial de causar assoreamento em rios, reservatórios ou lagos.

De acordo com Bezerra *et al.* (2020), as voçorocas também podem sofrer interferências, de estradas não pavimentadas. Neste sentido, cabe atenção aos pontos de intersecção entre estradas e terraços agrícolas, pois, de acordo com os autores, em pesquisa aplicada às bacias hidrográficas afluentes do córrego Barro Frio (Piracicaba - SP), ao longo de 104 interseções, 38 destas (37%) são coincidentes com feições erosivas.

Ao estudar a bacia hidrográfica, pode-se compreender e avaliar seus diversos componentes, assim como todos os processos que ocorrem dentro deste sistema. A bacia compreende um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes. Nesta, existem cabeceiras ou nascentes, cursos d'água, divisores d'água, afluentes e subafluentes. Em todas as bacias é possível observar a existência de uma hierarquia fluvial, da qual a água migra dos pontos mais altos para os mais baixos (Guerra e Guerra, 1997).

Segundo Lepiani e Archimedes (2017), a bacia hidrográfica do rio Corumbataí, que abarca a área de estudo, foi originada a partir do Cenozoico, tendo suas cabeceiras de drenagem localizadas nas Cuestas da Serra Geral, com rochas típicas da Bacia Sedimentar do Paraná. A altimetria varia entre 1068 m na Serra do Cuscuzeiro, em Analândia, limite dos divisores

topográficos, e 470 m na foz do rio Piracicaba. O resultado da ação dos processos morfogenéticos ao longo das eras geológicas pode ser observado nas grandes linhas e nas formas do relevo da região, possuindo uma característica típica de aplainamento em vários trechos de sua paisagem.

Stefanuto e Lupinacci (2022) apontam que os estudos de voçorocas são antigos, porém passaram por novas orientações com o passar do tempo e da evolução da tecnologia. Hoje novas práticas mais modernas e eficientes permitem um estudo mais detalhado das feições erosivas. De acordo com Krenz e Kuhn (2018) a maioria dos métodos tradicionais para monitoramento de erosão, demandam muito trabalho e requerem anos de pesquisa para gerar resultados fidedignos. As estacas, são indicadas para pequenas áreas, de acordo com diversos autores internacionais (Boardman, 2020; Nadal-Romero e García-Ruiz, 2018), podendo gerar resultados satisfatórios.

Além de ser possível usar as técnicas tradicionais, como estacas, as novas tecnologias como LST e VANTs, fornecem resultados mais precisos e uma maior facilidade em gerar modelos tridimensionais, contribuindo com o estudo da erosão de voçorocas (Castillo, Gomez, 2016). Os VANTs possibilitam a geração de imagens aéreas e produtos derivados, entre estes diversos mapas e modelos que abrangem a cobertura do solo, declividade, fluxo, todos com alta resolução e rapidez (Garritano, 2020).

Os VANTs permitem obter imagens em diferentes períodos para observar a evolução das feições erosivas, através da variação de altitude entre as imagens. Essas imagens agregam qualitativamente à análise dos estudos morfológicos de voçorocas, pela alta resolução de pixels e pelas possibilidades de posicionamento, das quais não requerem muito esforço físico (Loureiro *et al.*, 2020). Além disso, possibilitam estimar a perda de solo ao longo desses períodos e em relação à superfície original já interpolada. Considerando que ainda não existem modelos confiáveis e validados para prever os efeitos das voçorocas, por serem fenômenos altamente complexos e variáveis (Kaiser *et al.*, 2014), em diferentes escalas de tempo e espaço, essa metodologia de cálculo oferece uma perspectiva valiosa para entender os processos erosivos e desenvolver modelos preditivos para tais (Poesen, 2011).

As séries temporais de índices de vegetação, as quais podem ser obtidas a partir de práticas modernas e detalhadas, derivadas do sensoriamento remoto e outras geotecnologias, como por exemplo o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), permite explorar a vitalidade da vegetação, indicando a biomassa relativa. Atualmente, os índices de vegetação (IV) vem ganhando um papel importante, pois são muito úteis quando se pretende monitorar a cobertura vegetal de alguma microrregião e macrorregião (Miura et al. 2001).

Ao analisar a cobertura vegetal, a partir do uso do vermelho e infravermelho e sua diferenciação, é possível processar as características de plantas de uma determinada região, sendo possível então um estudo mais detalhado sobre a cobertura vegetal (Rouse et al. 1973).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo constituiu-se da Alta Bacia do Córrego Santa Terezinha a qual encontra-se no município de Analândia, no Centro-Leste do Estado de São Paulo, entre as latitudes 22°6'0"S e 22°7'0"S e as longitudes 47°41'30" e 47°42'0". Nesta área ainda foi detalhado um setor de voçorocamento, o qual foi monitorado por estacas e por imagens obtidas por VANT em escala de grande detalhe. A Alta Bacia do Córrego Santa Terezinha é uma região fundamental para entender a questão dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. Com um relevo acidentado e solos de composição variada, a região é influenciada pela dinâmica de escoamento das águas.

Vale ressaltar que a área estudada possui um sistema de voçorocamento complexo, sendo uma feição principal e quatro ramificações. Na feição principal, parte desta está em área destinada à pastagem e a outra parte em reflorestamento. Já as quatro ramificações estão localizadas em áreas de pastagem, e uma destas está ligada diretamente ao vertedouro de uma estrada vicinal que direciona um considerável fluxo d'água para a área de voçorocamento. De acordo com Poesen *et al.* (2003), outros processos que podem acentuar a erosão são os rastros deixados pelo pisoteamento de animais, assim como estradas com um planejamento não adequado à natureza, da qual aumentam o fluxo d'água, provocando a fomentação de ravinas e voçorocas.

De acordo com Stefanuto (2019), a área de estudo, como pode ser observado na Figura 1, 2 e 3, está localizada numa região de clima tropical e segundo o Índice de Classificação Internacional de Climas de KÖEPPEN, apresenta inverno seco e verão chuvoso. O município posiciona-se na parte leste da Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente no contato entre a Depressão Periférica Paulista, uma região de relevo ondulado e rebaixada pela erosão (Almeida, 1964) e as Cuestas Basálticas. O contato entre esses compartimentos

geomorfológicos foi avaliado por Stefanuto (2019) como uma região com alto grau de suscetibilidade erosiva em função do caráter dissecado dos terrenos. Em relação ao uso da terra, pode-se salientar que a atividade agropecuária é uma grande influenciadora na dinâmica da natureza, podendo afetar o clima e acelerar processos erosivos (Pinton, 2016).

Figura 1 – Localização da Área de Estudo

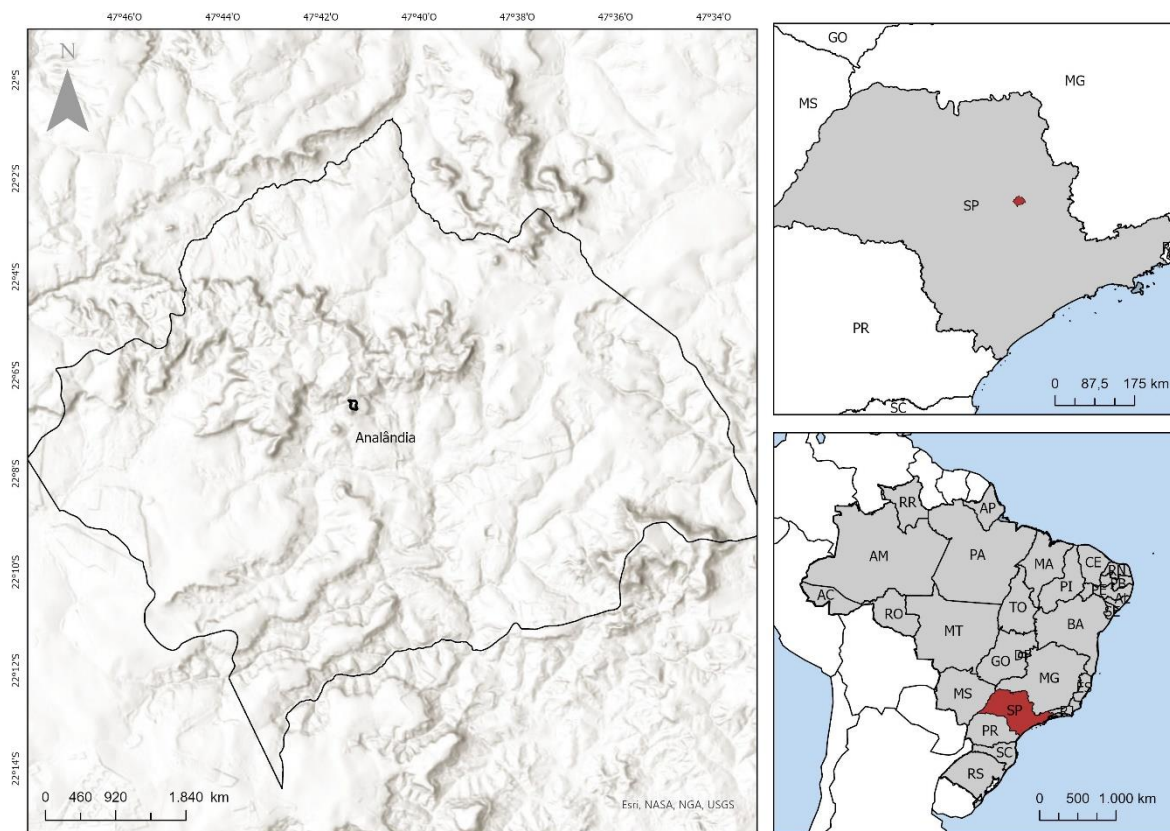


Figura 2 - Área de Estudo: Bacia e Setor de Voçorocamento

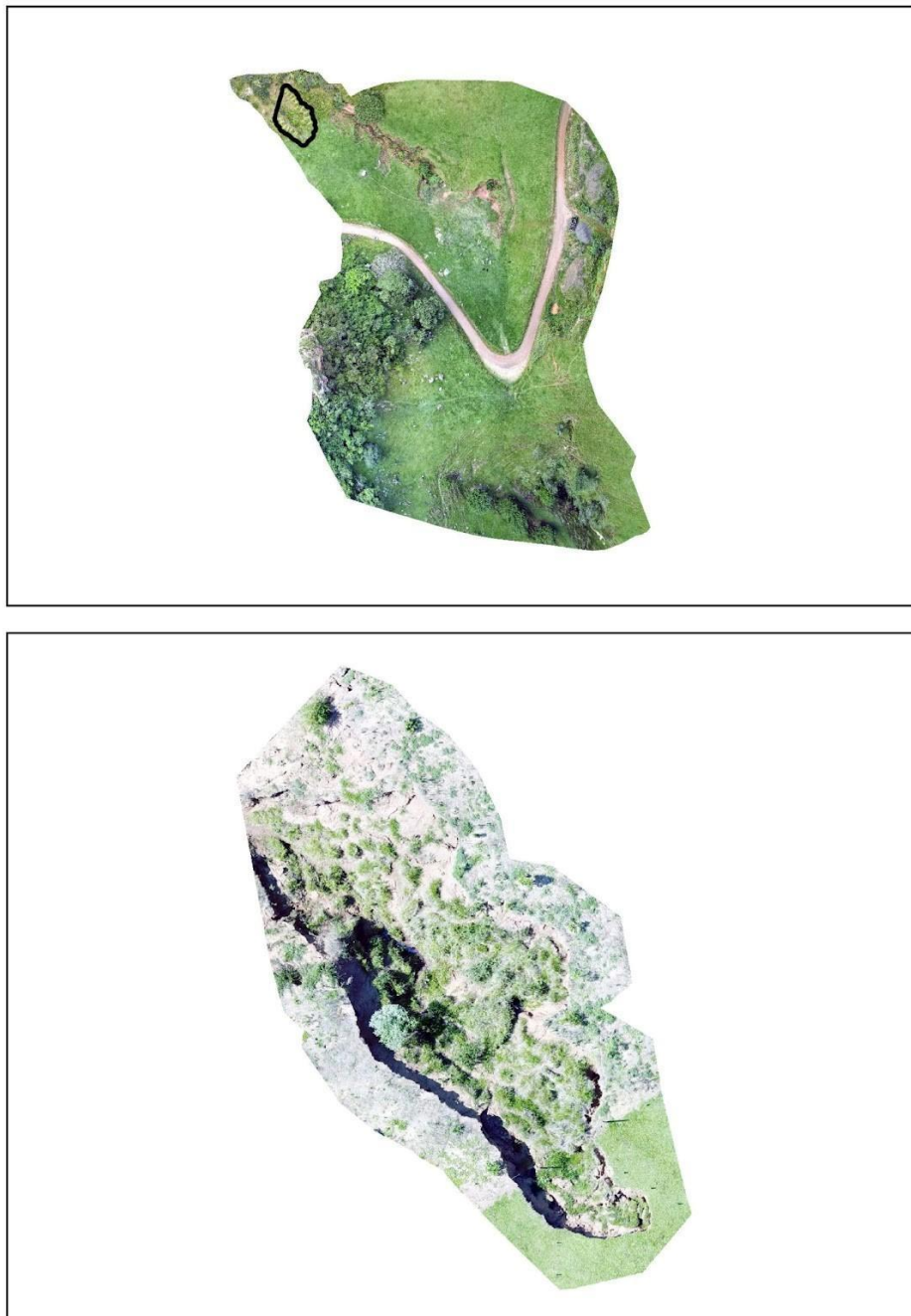
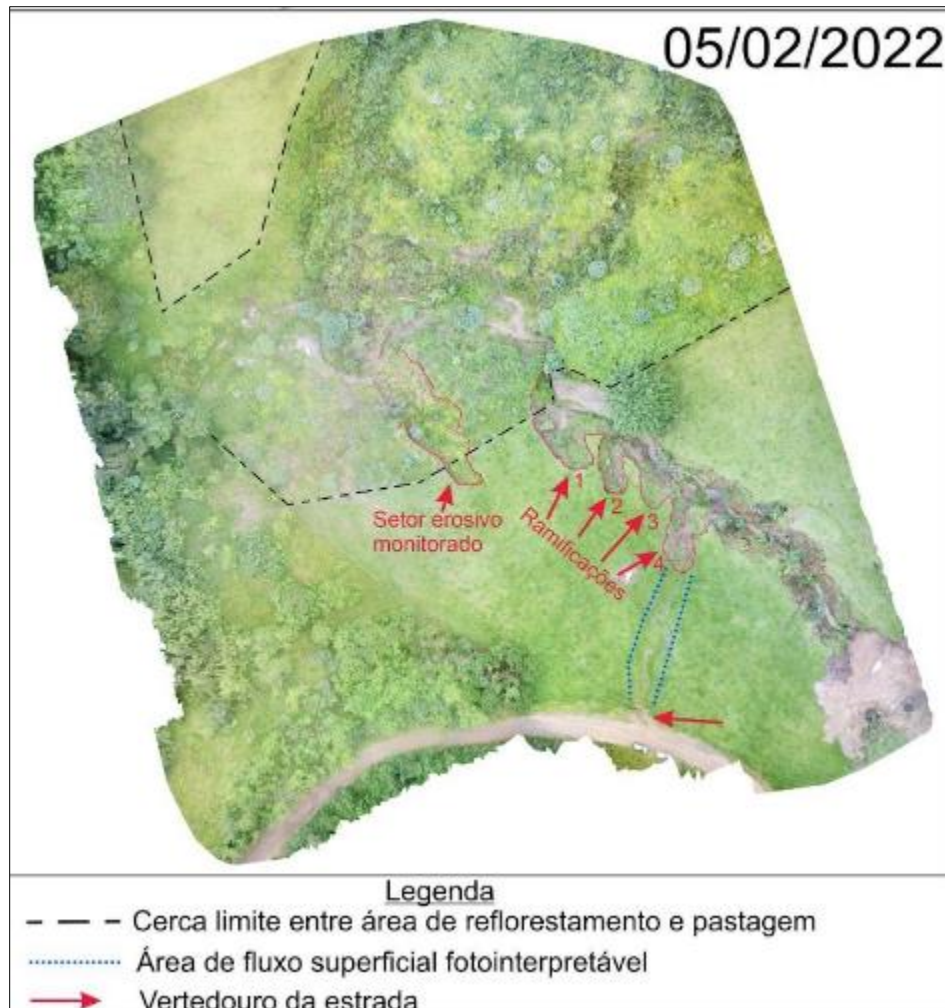


Figura 3 - Imagem de Altíssima resolução da área de estudo



Ainda, de acordo com Troppmair (2000), a região abrange uma parcela de vegetação de Cerrado e outra de Mata Atlântica. O *front* da *cuesta* possui um solo caracterizado por Neossolos Litólicos Eutróficos e Nitossolos Eutróficos ou Distróficos (Kloffler *et al.*, 1992). Em relação aos Neossolos Litólicos, a EMBRAPA (2006) aponta que este é pouco evoluído, tendo a maior parte de sua constituição constituída por material mineral. Já os Nitossolos, possuem boa parte de sua constituição sendo argilosa. Estes também têm uma estrutura que

favorece a retenção de água, porém com uma boa drenagem, sendo importante portanto práticas de conservação para sua preservação devido à pronunciada erodibilidade e as propriedades físicas favoráveis em condições de sazonalidade climática e estação seca (IAC, 2014).

Por fim, Analândia possui uma ocorrência de chuvas, em média, de 82 dias no ano, tendo sua média pluviométrica anual de 1.272,7 mm. Janeiro é o mês mais chuvoso e possui uma temperatura média de 22°C, e julho ou agosto o mais seco, com uma temperatura média de 15,5°C (Brino, 1973). Pinton (2011) fez um estudo também acerca da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Córrego Cavalheiro, localizado em Analândia. Em 1962, 53,2% da área era ocupada por pastos limpos, 26,1% por pastos sujos e 11,8% por mata. Já em 2007, 53,5% da área foi recoberta por pastos limpos, 13,1% por mata e 10,2% por cana-de-açúcar (Pinton, 2011).

A área de estudo em Analândia apresenta uma série de características geológicas, geomorfológicas, climáticas e pedológicas que a torna altamente relevante para um estudo detalhado da interferência da cobertura vegetal na dinamização dos taludes erosivos de voçorocas, devido à suas variações topográficas, a pluviosidade da região, os tipos de solos suscetíveis à erosão, a cobertura vegetal e a atividade pecuária. Portanto, a interação destes fatores é relevante para um entendimento abrangente dos processos erosivos na região.

Materiais e Técnicas

O monitoramento da área de entorno da voçoroca

Florenzano (2011) considera que o uso de imagens provenientes de sensores remotos e obtidas sucessivamente sobre a área a ser analisada, permitem que sejam estudados detalhadamente fenômenos como a erosão do solo. Assim, os dados do presente trabalho foram coletados e organizados a partir de duas etapas. Primeiramente ocorreu o imageamento por VANT, depois o processamento das imagens. O imageamento ocorreu por meio de um VANT DJI MAVIC Pro. Entre as principais especificações do equipamento, fornecidas pelo fabricante (DJI, 2021), estão a duração máxima de voo de 27 minutos, sistema de posicionamento por satélite GPS/GLONASS e alcance da precisão em voo estacionário, com posicionamento visual ativo, de $\pm 0,1$ m (vertical) e $\pm 0,3$ m (horizontal). Ao referido equipamento tem-se embarcado um sensor RGB com 1/2.3" (CMOS), pixels efetivos de 12.35 M (pixels totais 12.71 M). Assim, para os voos, o *software* DroneDeploy foi empregado, apresentando as seguintes especificidades em relação plano de voo: altitude de 40 metros, resolução espacial de 1,3 cm e imagens com 75% de sobreposição frontal e 70% de sobreposição lateral. Na segunda etapa as imagens foram submetidas à formulação de ortomosaicos no *software* Open Drone Map em sua versão online (WebODM), sendo os mesmos, posteriormente, georreferenciadas no QGis versão 3.16, a partir das coordenadas de marcos físicos coletadas em campo a partir de um GNSS RTK SP60 Receiver.

Com isso, foram gerados quatro ortomosaicos, respectivos aos imageamentos de 08/05/2021, 07/08/2021, 06/11/2021 e 05/02/2022. Os levantamentos foram realizados trimestralmente buscando registrar os períodos seco e úmido e suas respectivas transições.

Para o processamento dos ortomosaicos, foi executado o Docker Desktop para garantir conectividade entre o servidor e o programa WebODM. O WebODM foi utilizado no navegador FireFox, o qual apresenta boa interface com o programa, sendo criados quatro projetos, cada um respectivo à um imageamento. Assim, as imagens foram adicionadas através da função "Selecionar imagens e GCPs". Ainda, um conjunto de testes foi executado, visando identificar as melhores configurações para formulação dos ortomosaicos. Também

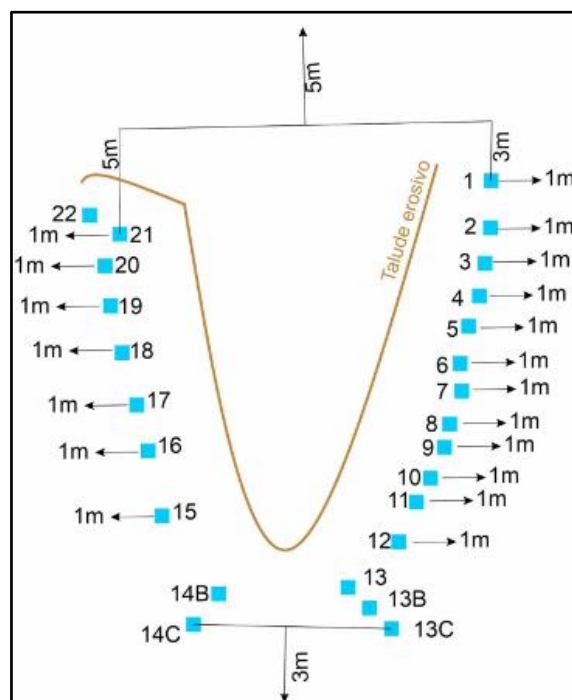
foram obtidos parâmetros de processamento a partir da OpenDroneMap Community, portal oficial de compartilhamento de experiências e informações dos usuários dos serviços do Open Drone Map.

Para o primeiro processamento foram utilizados os seguintes parâmetros, *nó de processamento* na opção “*auto*”, em opção “*high resolution*” e contendo o *redimensionamento* de 2048 pixels. Essas configurações apresentam um processamento mais leve e otimizado, porém com redução da resolução espacial. Buscando melhorar a qualidade da resolução espacial, adicionaram-se novos parâmetros: *nó de processamento* “*auto*”, com “*high resolution*” e sem *redimensionamento*; o não uso da função *redimensionamento* permite utilizar a dimensão máxima das imagens coletadas (4000x3000px). Com estas alterações, foi possível verificar uma melhora, tendo por fim um resultado do ortomosaico mais detalhado e nítido. Após isso, foi feito um terceiro teste, também, visando melhorar a resolução da imagem. Neste, o resultado foi bem similar ao teste anterior, podendo conter apenas algumas pequenas diferenças na resolução, porém tendo também uma boa qualidade e nitidez. Neste teste as funções foram: *nó de processamento* “*manual*”, com “*high resolution*” e sem *redimensionamento*. Quando se faz uso do nó manual permite a certeza do uso do melhor servidor para o processamento. Por fim, foi feito um quarto teste, devido ao fato que foi observado no fórum ODM Community, a indicação de um modo personalizado de processamento, deixando ativa a função “*ignore-gsd*”, buscando acelerar o processamento das imagens. As demais funções foram mantidas conforme o teste anterior. Apesar do processamento ter sido mais rápido, o próprio programa informa que ao ativar a função “*ignore-gsd*”, pode se ter uma redução de qualidade no produto final, desacreditando a referida opção.

A partir dos referidos testes, foi possível observar e comparar todos os ortomosaicos, chegando-se à conclusão que as seguintes configurações apresentam bons resultados: *nó de processamento* “*manual*”, com *high resolution* e sem *redimensionamento*. Primeiramente, os quatro ortomosaicos gerados foram delimitados a partir da imagem com menor área (08/05/2021). Posteriormente foram feitos outros recortes, concernentes ao setor erosivo monitorado. Para atingir uma padronização do recorte, foram criados *shapefiles* de pontos,

marcando assim todas as estacas de monitoramento erosivo (Figura 4). Em seguida, mediu-se a distância de 1 m dos referidos pontos no sentido oposto ao talude erosivo, marcando um segundo ponto em cada estaca, os quais serviram de parâmetro para delimitação dos taludes. Além disso, a estaca 1 deveria ter como distância 3 metros para fora da parte inferior do talude, assim como a estaca 21 deveria ter como distância 5 metros para fora da parte inferior; assim, a partir do ponto das distâncias dessas duas estacas, das quais tinham por volta de 19,7 metros, foi medido levando em consideração a metade dessa distância, mais 5 metros para fora da voçoroca, permitindo assim com que o polígono do recorte pudesse compreender uma boa parte do setor inferior da voçoroca. Já na cabeceira do talude, a medida foi feita a partir da distância das estacas 13C e da 14C, de maneira com que metade da distância destas, mais 3 metros, marcassem o ponto de distância da cabeceira, como é possível ver na figura 2.

Figura 4 - Posicionamento das Estacas



O georreferenciamento teve como critério manter todos os pontos com residuais abaixo de 2 cm. Portanto, as estacas com residual maior que o esperado foi apagado, permitindo assim

um acerto do georreferenciamento. Para o cenário de 08/05/2021, as estacas com excesso de residual foram a 4, a 6 e a 13, portanto foram retiradas. Em 07/08/2021, foram retiradas as estacas 14B, 16, 17 e 22. Já para 06/11/2021, as estacas 4 e 16 foram retiradas. Por fim, no cenário de 05/02/2022, a estaca 12 foi retirada. É importante salientar que mesmo com a padronização de pontos e das distâncias, é comum que os recortes não estejam totalmente condizentes em função de variações no georreferenciamento, por isso, foi feito um outro recorte a partir do menor cenário, no caso de 08/05/2021, para a uniformização desses.

Para classificação do uso e cobertura da terra utilizou-se o *software* ArcGis Pro. Primeiramente, as imagens foram submetidas a ferramenta de segmentação, a qual agrupa pixels semelhantes. Para segmentação utilizaram-se os seguintes parâmetros: detalhe espectral de 20, detalhe espacial de 15 e tamanho mínimo de segmentos em pixels de 40, para os cenários de 07/08/2021, 06/11/2021 e 05/02/2022. Para o cenário de 08/05/2021, os parâmetros utilizados foram: detalhe espectral de 15,5, detalhe espacial de 15 e tamanho mínimo de segmentos em pixel de 80. Essa variação foi necessária devido às diferenças de cada cenário, a depender de fatores sazonais e alteração na vegetação, incidência solar e sombra. No primeiro teste desta etapa, a partir da imagem segmentada, foram selecionadas cinco tipos de amostra: o reflorestamento, a pastagem, o solo exposto, a sombra e as gramíneas (Figura 5). Apesar da categoria “sombra” não fazer parte de um tipo de cobertura de solo, esta foi criada para o classificador não confundir essas áreas mais escuras com outras categorias de vegetação.

Figura 5 - Características das classes de uso e cobertura do solo

Em pastagem	
Em reflorestamento	
Solo exposto	
Vegetação herbácea	

Destaca-se que apenas para o cenário de 05/02/2022, a reclassificação foi feita somente com as classes solo exposto e gramíneas, a qual foi chamada de solo recoberto. Isso ocorreu devido ao fato que este período apresenta uma grande dispersão de vegetação, por todo o talude, sejam elas gramíneas brachiarias, gramíneas claras, gramíneas baixas, pastagem e o próprio reflorestamento.

Posteriormente, foram feitos diversos testes com diferentes classificadores. Os parâmetros em todas as tentativas foram mantidos os sugeridos pelo *software*. Primeiro foi feita a classificação com o classificador *Vizinho mais próximo de K*, uma vez usando a imagem segmentada e outra vez não. O resultado foi que com a imagem segmentada o produto final apresenta muito ruído, muito mais do que o teste sem a imagem segmentada. Também foram feitos os testes com os classificadores *Árvores Aleatórias*, *Agrupamento ISO*, *Máxima*

Verossimilhança e *Máquina do Vetor de Suporte*, todos com dois testes, usando a imagem segmentada e não usando a imagem segmentada. Em todos os casos, não usar a imagem segmentada foi a melhor opção, devido ao fato de apresentar um resultado com menos ruído. Assim, realizou-se uma comparação entre todos os classificadores, sem usar a imagem segmentada, e por fim foi possível constatar que o classificador *Máquina do Vetor de Suporte* foi o que apresentou melhor correspondência com as coberturas e os usos.

Para validar as classificações recorreu-se a duas ferramentas: *create accuracy assessment point* e *compute confusion matrix*. A matriz de confusão apresenta o valor Kappa das figuras, do qual é um bom indicador da autenticidade dos resultados (Figura 6). Em relação aos parâmetros da ferramenta, foi alterado um parâmetro da função *sampling strategy* (da ferramenta *create accuracy assessment point*) para a opção *random*, pois esta função gera uma malha de ponto amostrais aleatória, minimizando a influência de área na amostragem.

Figura 6 - Valor de Kappa em cada período

Períodos	Valor Kappa
08/05/2021	0,8425196850393701
07/08/2021	0,841688654353562
06/11/2021	0,7251992305578456
05/02/2022	0,8757763975155278

Por último, foi gerado o Índice de Vegetação (IV) buscando averiguar a vitalidade da vegetação na área estudada, indicando a biomassa relativa. O NDVI analisa a cobertura vegetal, e foi proposto por Rouse *et al.* (1973). Este faz uso do vermelho e infravermelho e

sua diferença, resultando na vegetação fotossinteticamente ativa (Santos *et al.*, 2017), conseguindo assim processar as características da planta, permitindo uma maior compreensão sobre a cobertura vegetal. Tudo isso é calculado a partir dos índices espectrais. Esses índices são largamente utilizados para estudos ambientais, por permitirem a análise da vegetação a partir de mudanças na iluminação e superfície (Lillesand, 2004). O IV é definido pela diferença entre a reflectância no infravermelho próximo (IRED) e reflectância no vermelho (NIR), dividida pela soma das duas reflectâncias, ou seja:

$$IV = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{RED} + \rho_{NIR})$$

Onde NIR é informação obtida na região espectral do infravermelho próximo e RED é a informação obtida na região espectral do vermelho visível. Apesar da comumente utilização do infravermelho próximo, devido à boa resposta espectral da vegetação, o VANT utilizado neste trabalho não possui sensor termal, e sim um sensor RGB, o qual trabalha com o espectro visível. Portanto, para a realização deste trabalho, foi substituído o infravermelho próximo pelo verde, faixa visível que pode indicar a maior ou menor vitalidade da vegetação.

De acordo com a ESRI, os valores de NDVI gerados se encontram entre -1,0 e 1,0. Valores próximos a zero indicam rochas ou solos expostos, já os valores muito baixos (abaixo de 0,1) representam áreas mais áridas, ou neve. Quanto maior for o valor, maior a concentração de verde, sendo estes entre 0,2 a 0,3 arbustos e prados e de 0,6 a 0,8 vegetações de porte maior.

Para auxiliar a análise, também foram analisados os dados pluviométricos da região nos meses monitorados, a partir do Banco de Dados Hidrológicos do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE. A estação de coleta apresenta prefixo D4-035, com altitude de 643 m e está localizada nas coordenadas 22° 07' 47" S e 47° 40' 03" O, em linha reta a 3,3 km da área de estudo.

A análise do relevo da bacia hidrográfica

O uso de VANT permite a produção de imagens aéreas e produtos derivados, como modelagem tridimensional, mapas de hipsometria e de cobertura do solo (Garritano, 2020). A utilização da análise de Modelo Digital de Elevação (MDE) pode ser aplicada na

identificação de voçorocas, as quais são indicativos de processos de erosão e transporte de sedimentos em áreas sujeitas a erosão. Os MDEs permitem identificar também áreas com uma similaridade de degradação do solo, a partir da elevação, curvas de níveis e fluxo (Hengl, 2009). Para se ter uma amostragem mais fidedigna, é necessária uma maior quantidade de pontos, assim como uma boa precisão de sua densidade e distribuição.

O processamento do MDE se deu a partir da ortorretificação precisa dos ortomosaicos multiespectrais coletados em campo por VANT. Assim foi possível por meio de estereoscopia digital multi-view a geração do modelo digital de elevação, e também mapas topográficos refinados, por meio de *softwares* que façam uso do algoritmo SfM (*Structure from Motion Procedures*) (Pereira *et al.* 2013). Este método utilizado por Pereira *et al.* (2013), permite a segmentação e adequação das imagens em angulações distintas. Esses pontos, que são representados nos planos X, Y e Z, a partir dos parâmetros do VANT, processam um resultado que permite um mapeamento topográfico detalhado (Neitzel e Klonowski, 2011).

O MDE gerado foi exportado de maneira compatível para que o produto possa ser tratado em ambiente SIG. Vale ressaltar que a utilização da tecnologia GNSS RTK permite a rapidez e precisão nos produtos gerados a partir do levantamento, e pode ter um bom resultado na formação do MDE (Viana, 2017).

A partir dos dados topográficos e do modelo, foram elaboradas cartas de fluxo e de declividade da bacia. O uso do VANT foi crucial nesta etapa por permitir imagens e resultados mais detalhados, podendo abranger uma grande cobertura de área e um processamento rápido das imagens. Como a perda de solo aumenta devido à alta ação da energia cinética das chuvas e devido à declividade do terreno (Amorim *et al.* 2001), é necessário estudar a topografia da Bacia Hidrográfica, para entender os fatores que estão contribuindo na dinamização dos seus taludes, e permitir uma análise mais aprofundada da interferência da cobertura vegetal e do uso da terra neste.

A carta de fluxo é importante para ambientes de clima quente e úmido, nos quais a precipitação atua como um modelador do relevo (Mathias *et al* 2022), e foi feita para contribuir com o entendimento da dinâmica erosiva a partir do cálculo numérico entre as relações geométricas das células (Schäuble, 2004). Com o algoritmo de fluxo múltiplo, proposto por Quinn *et al* (1991), o aclave acumulado de uma determinada célula será distribuído em toda a vertente, compreendendo então todos os fluxos. As ferramentas utilizadas para este processo são *Hydro Tools* e *Spatial Analyst*, no software ArcGis Pro.

Foi utilizado um modelo de caminho de fluxo único não ponderado, para mapear os caminhos de acumulação de fluxo na área de estudo. Esse modelo tem uma capacidade de identificar fluxos paralelos e convergentes de água e sedimentos, sendo ideal para analisar sistemas de canais conectados e fluxos de massa retidos. Para a criação da carta em si, foi utilizado o algoritmo *MD-Multiple Flow*, dispondo do produto corrigido e do resultado das direções de fluxo. Com o processamento, foi obtida a carta de fluxos acumulados, a qual teve suas classes ajustadas em ambiente SIG. As classes são apresentadas em m² (Mathias, 2016).

A declividade é um dos principais fatores a ser considerado em áreas que sofrem os efeitos da erosão, a qual foi obtida a partir do MDE. De acordo com Li *et al.* (2005), o MDE apresenta um conjunto ordenado de pontos amostrais da elevação do relevo que podem representar diferentes tipos de informações da área de estudo, a partir da distribuição espacial, por meio de krigagem de curvas de nível (Valeriano, 2002).

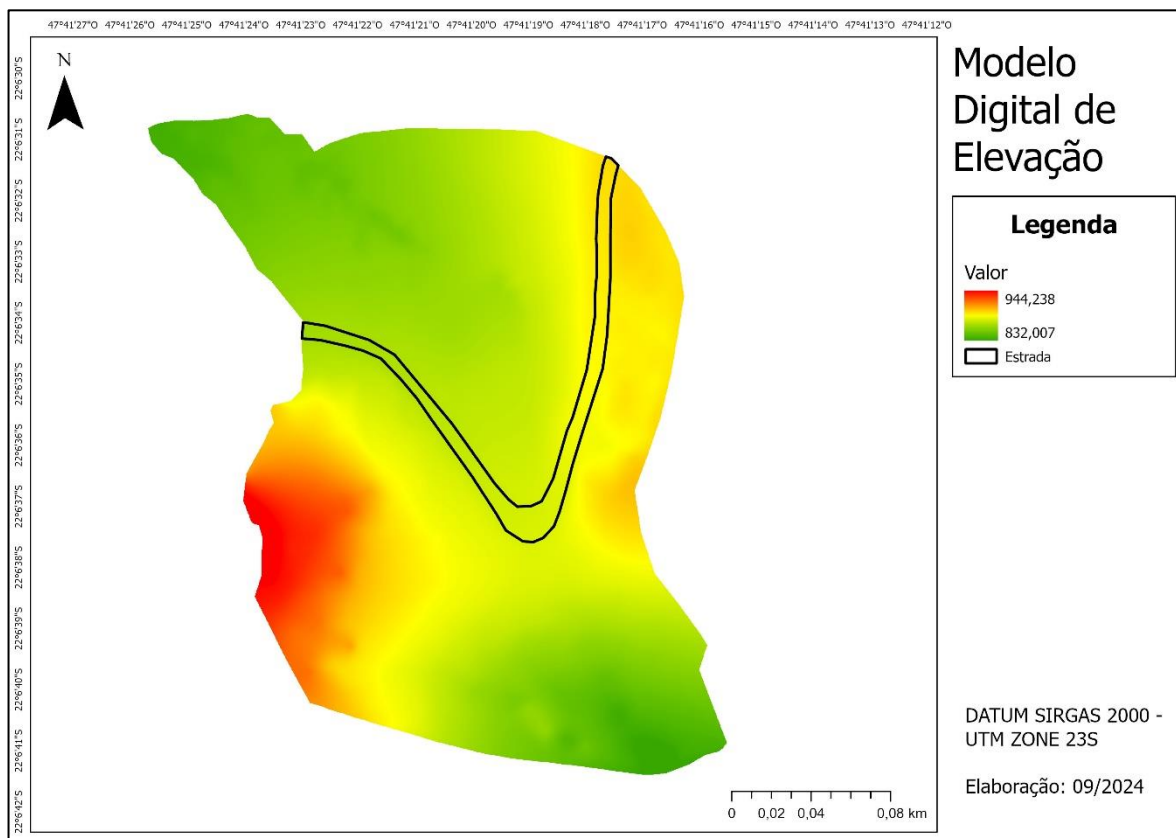
A carta de declividade foi feita com base em uma trama de figuras geométricas e curvas de nível, para definir as diferenças de declividade no terreno (De Biasi, 1992), e teve suas classes definidas como $\leq 2\%$, 2-|5%, 5-|12%, 12-|30%, 30-|45% e $\geq 45\%$, de acordo com os valores sugeridos por De Biasi (1992). O autor recomenda utilizar cores claras para as classes de declividade mais baixas e conforme forem aumentando, um tom mais escuro.

Logo, no ArcGis, foram adicionadas as curvas de nível, os pontos cotados e as linhas de elevação, utilizando-se do processamento de *Triangulated Irregular Network (TIN)*. Nesta etapa, foi realizada uma reclassificação a partir dos intervalos dos menores e maiores valores de elevação, permitindo assim, um maior detalhamento do terreno. Visando atenuar os erros no produto, foi utilizada a ferramenta *TIN to Raster*, junto com a ferramenta *Slope*, para gerar a declividade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Modelo de Elevação Digital (MED), como pode ser observado na Figura 7, é uma representação tridimensional da área de estudo, indicando as variações de altitude do terreno. A série de cores com tons de verde variando até atingir tons de vermelho indica a variação altimétrica, em que o tom verde se refere a áreas com baixos índices e o vermelho o contrário. A variação altimétrica é de crucial importância para a compreensão do processo erosivo, principalmente para a análise realizada em uma região com um sistema complexo de voçorocamento. Nesta situação, a altitude do terreno influencia diretamente o escoamento superficial das águas pluviais, que propicia o avanço da voçoroca.

Figura 7 - Modelo de Elevação Digital



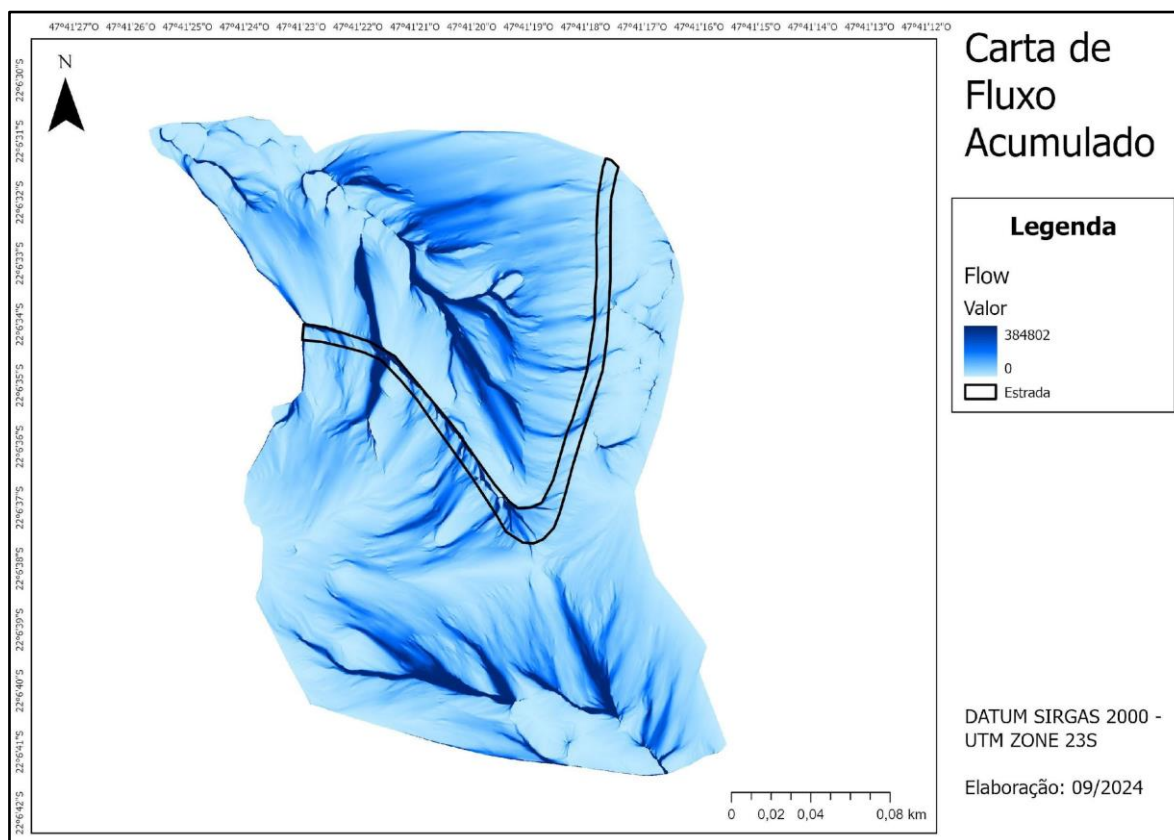
Na perspectiva do estudo, o MDE ajuda a identificar as áreas de maior risco erosivo do ponto de vista qualitativo. Assim, a elevação mais alta, identificada em vermelho, pode ser associada a encostas íngremes e, conseqüentemente, um maior potencial para a formação de ravinas e voçorocas. A topografia nas áreas de pastagem e reflorestamento (Figura 1) , como indicado, sugere que, de fato, o terreno inclinado, quando combinado com a falta de cobertura vegetal, leva a um nível acelerado de erosão. Além disso, a presença de áreas de elevação próxima às áreas de pastagem indica a necessidade do manejo do solo apropriado para evitar a degradação.

O Modelo de Elevação Digital indica que áreas em tom marrom e vermelho estão vulneráveis ao acúmulo de água e sedimentos. O setor erosivo, localizado próximo a um vale, sugere ser uma área de escoamento natural. Este quadro topográfico, ao longo do tempo, pode isoladamente acelerar o desgaste do solo, sobretudo, nas áreas de alta susceptibilidade à erosão, tais como encostas inclinadas.

Ademais, o MDE ajuda a identificar os caminhos por onde a água flui, direcionando-se por forma de vales. Conforme já mencionado, a presença de uma estrada vicinal nessa área de estudo pode influenciar o escoamento das águas, caso a região continue a ser exposta aos processos erosivos sobre as áreas mais críticas, como indicadas pelo MDE.

A carta de fluxo acumulado (Figura 8) mostra a trajetória da água que se acumula ao longo da bacia. Os tons de azul mostram a intensidade do fluxo das águas, com o tom mais escuro representando um aumento no fluxo. Essa carta é usada para consultar as regiões de maior concentração de fluxo. Esta é fundamental para saber áreas críticas de escoamento superficial, uma vez que este é um dos principais responsáveis pela aceleração da erosão das voçorocas especialmente em áreas com alta declividade.

Figura 8 - Carta de Fluxo Acumulado



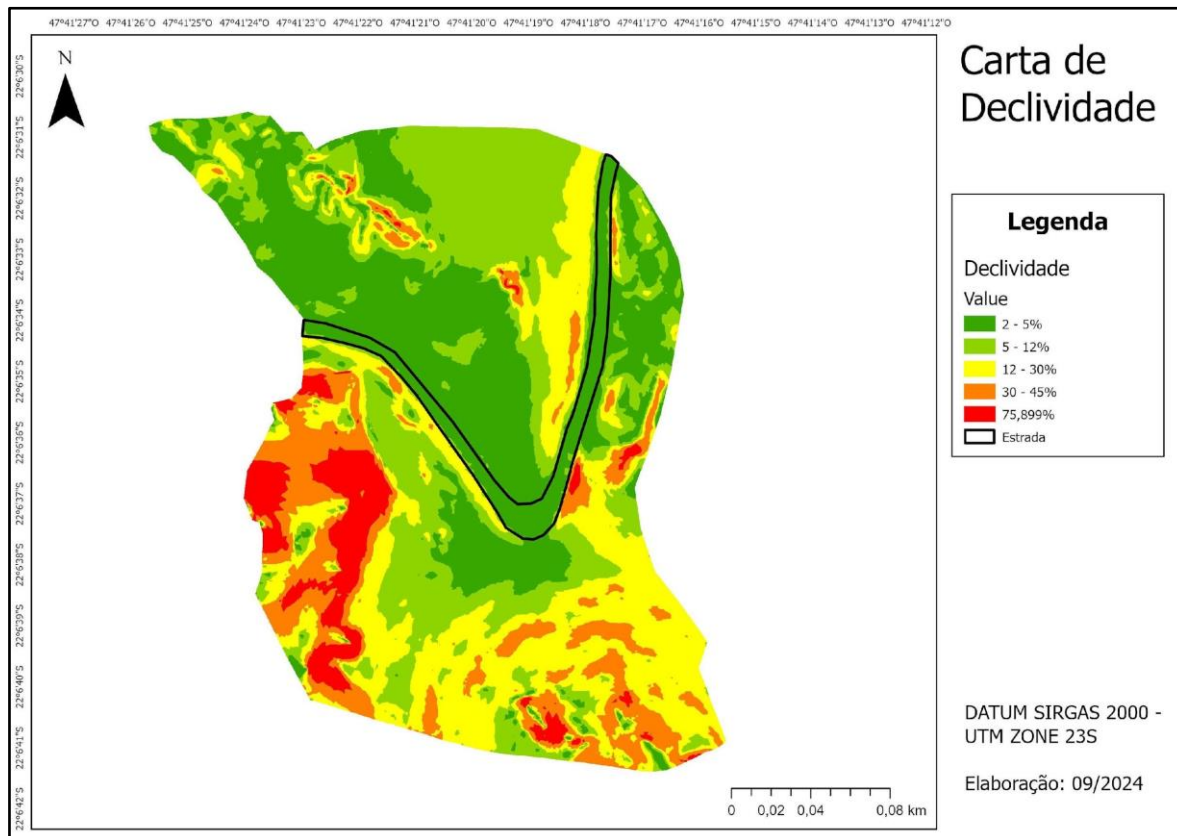
A partir da carta de fluxo, pode-se entender que, entre as áreas com maior fluxo, destacadas em azul escuro, tem-se terrenos de maior inclinação e elevação, os talwegues, o que indica locais mais propensos à erosão. Isso ocorre quando altos volumes de água aumentam a velocidade de deslocamento dos materiais, e então, intensificam-se os processos erosivos. Os caminhos d'água contornam a estrada, direcionando então o fluxo direto para a região de maior voçorocamento, formando um acúmulo de água nesta região. É possível ver a profundidade em que o fluxo é maximizado. O setor erosivo está adjacente às áreas de alta intensidade, então é possível que a água esteja contribuindo para intensificar a voçoroca, já

que a intensidade do fluxo tem a capacidade de carregar os sedimentos e continuar a aprofundar a erosão.

A carta revela também a forte influência de elementos antropogênicos, como a estrada vicinal e a área de pastagem, responsáveis pela derivação do curso de água para a área de voçorocamento. No entanto, gestões inadequadas da infraestrutura, como um mau manejo do solo, tornam-se possíveis fontes de agravamento do processo erosivo.

A carta de declividade retrata visualmente a inclinação do terreno, demonstrando a complexidade dos terrenos vizinhos ao sistema de voçorocamento. As variações de declividade (Figura 9) apontam zonas onde o terreno tem inclinações diferentes, o que afeta diretamente o escoamento superficial das águas. Regiões de declividade acentuada, que são indicadas pelas áreas laranja e vermelha no mapa, representam zonas de maior risco de erosão, principalmente quando combinada com a remoção de cobertura vegetal e uso impróprio do solo, como a presença de pastagens abertas sem proteção de cobertura vegetal adequada. De acordo com os dados representados na carta, a topografia, por meio do cálculo de declividade, torna-se um fator crucial a ser analisado para compreender o impacto da água sobre a formação e expansão de voçorocas.

Figura 9 - Carta de Declividade



Além disso, pode-se observar na carta a subdivisão do terreno em áreas de declividade variada, que deve estar diretamente correlacionada com a dinâmica erosiva, a qual se deve também à cobertura vegetal e ao uso da terra. Áreas de pastagem, que ocorrem predominantemente nos declives marcados por verde no mapa, se relacionam com o MDE e a carta de fluxo, mostrando os setores mais suscetíveis à formação de processos erosivos, uma vez que o pisoteio de animais e a falta de vegetação robusta para retenção da chuva favorecem o escoamento superficial. O setor reflorestado, que ocupa uma área com declividade mais

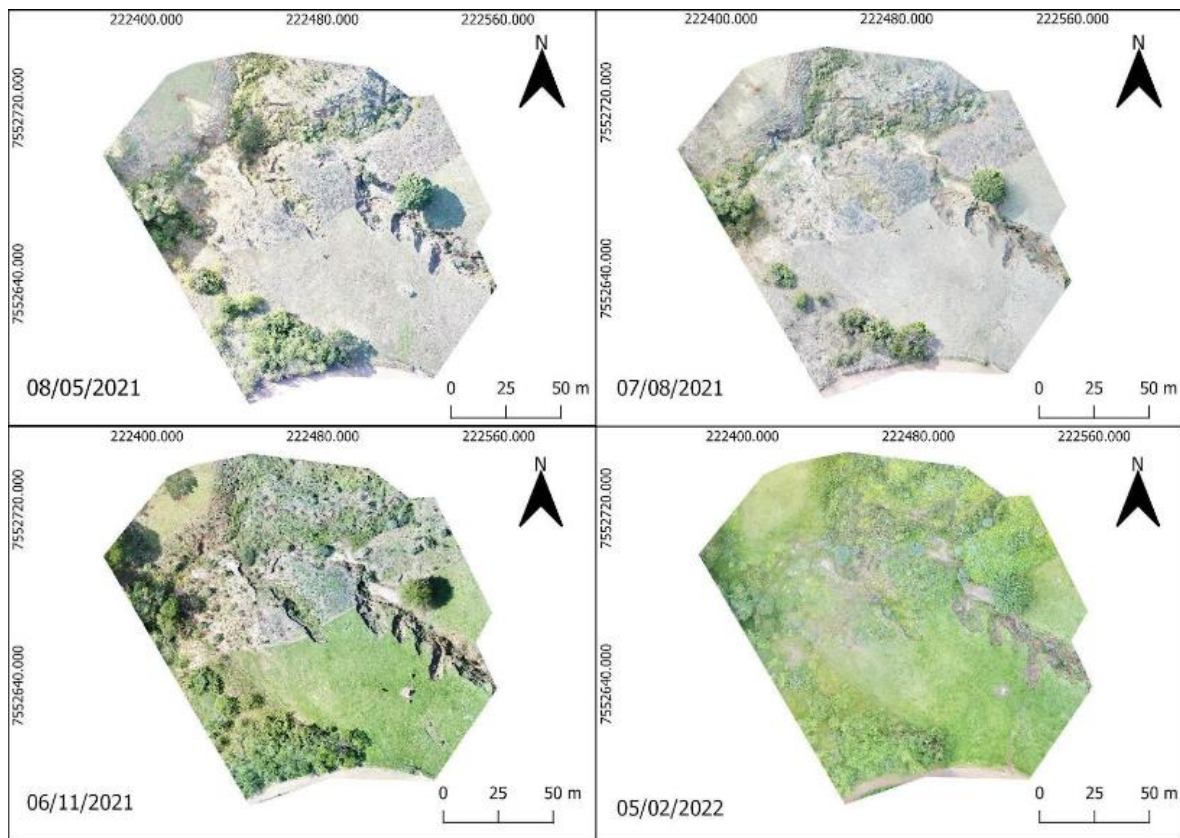
moderada, deve ser o mais estável de todos, pois a vegetação é capaz de desacelerar a velocidade do escoamento das águas e prevenir a formação de ravinas e voçorocas.

Áreas de maior declividade são mais vulneráveis à erosão, e é possível ver que as áreas representadas em laranja e vermelho, com declividades que excedem 30% são indicativos deste fenômeno. O setor erosivo está adjacente às áreas de declividade média e alta, o que sugere que os fenômenos de erosão se espalham para zonas de maior inclinação e possuem a tendência a se expandir.

Além disso, a presença de estradas vicinais mal planejadas, também aumenta a intensidade dos processos erosivos na região de alta declividade. A concentração de fluxos d'água provenientes da direção dessas vias pode causar o aumento da pressão exercida nas encostas mais íngremes, conforme demonstrado no mapa, contribuindo para a degradação do solo e a formação de novas ramificações do sistema de voçoroca. Uma análise detalhada da carta de declividade demonstra as áreas mais críticas, permitindo a realização de atividades de manejo e mitigação, de importância fundamental para a realização subsequente de revegetação e a adaptação das vias, atividades essenciais para reduzir o impacto erosivo associado a esse aspecto.

Na área de estudo há um complexo sistema de voçorocamento (Figura 10), o qual foi estudado de forma mais detalhada. Este se desenvolve em setores com coberturas distintas, sendo parte em uma área de reflorestamento e parte em um setor destinado a pastagens para uso da pecuária. Ainda, nota-se que o sistema erosivo apresenta um conjunto de ramificações, as quais se desenvolvem, majoritariamente, em setor de pastagem, com alguns setores em área em reflorestamento. Desta forma, o estudo compreende a análise de quatro cenários: 08/05/2021, 07/08/201, 06/11/2021 e 05/02/2022.

Figura 10 - Ortomosaicos de cada período.



Sobre as pastagens, de acordo com Romeiro *et al.* (2004), as utilizadas para fins da pecuária, constituem-se em uma forma de sobrevivência de produtores, porém podem comprometer o solo a médio e a longo prazo. Ainda, a pastagem extensiva acarreta o desenvolvimento de sulcos erosivos, que por fim podem originar ravinas e voçorocas (Stefanuto, 2019). Um estudo feito por Santos *et al.* (2022), aponta que a pastagem extensiva ocupa 20% do território brasileiro e conforme Feltran-Barbieri e Féres (2021), o Brasil possui 100 milhões de hectares de pastagens degradadas. O impacto da erosão em pastagens tem um grande efeito, principalmente em solos mais frágeis, potencializando a sua perda (Sparovek, 2007).

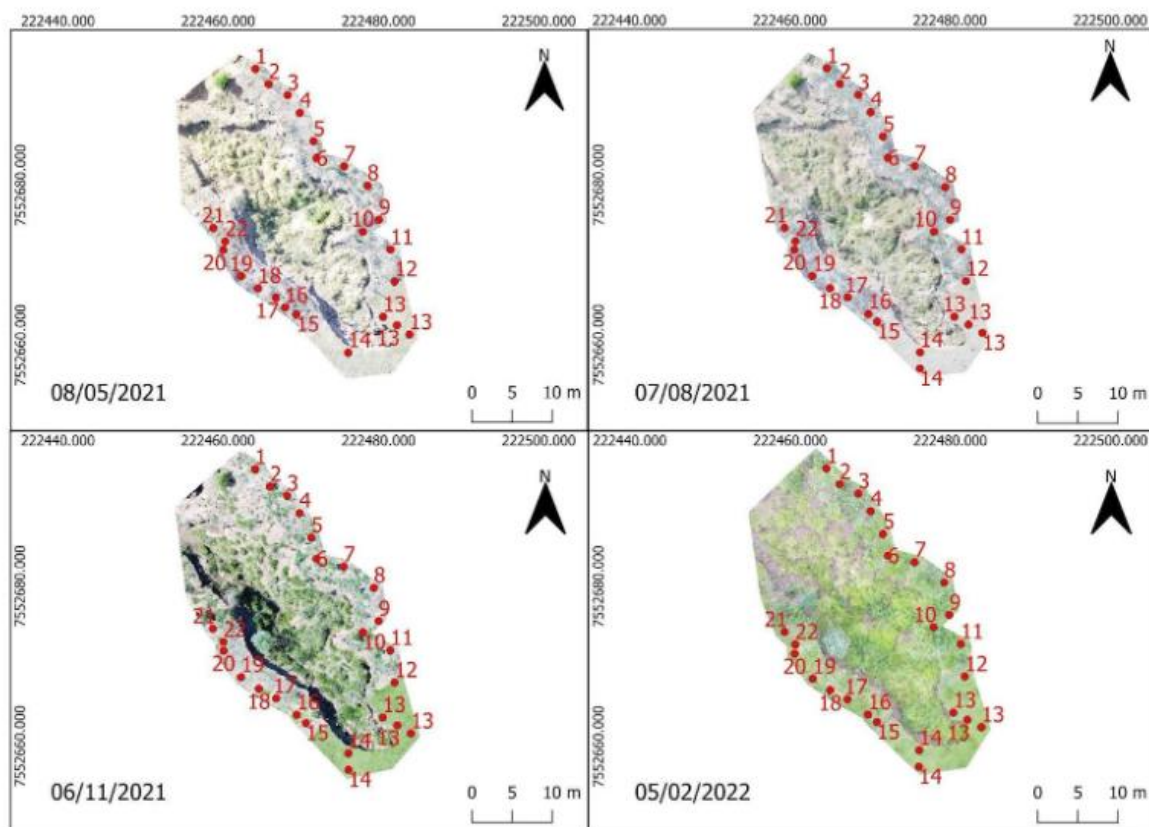
Já os setores com cobertura arbustiva e arbórea (área em reflorestamento), são cruciais em áreas que sofrem erosão (Silva, 2021), pois podem promover o controle de processos erosivos. Com a estabilização do solo, a cobertura vegetal pode se desenvolver e iniciar a sucessão ecológica, um processo de mudanças no ecossistema que pode levar ao seu clímax

(Miranda, 2009). Uma maneira disso acontecer é com o reflorestamento, que pode proteger o solo e diminuir a ocorrência de erosão (Silva, 2021).

Destaca-se que, na área de estudo, há uma área de reflorestamento que integra o setor de intervenção do projeto Nascentes Analândia, criado em 2017 e associado ao Comitê de Bacias Hidrográficas PCJ, o qual possui como objetivo promover a recuperação e conservação ambiental de mananciais.

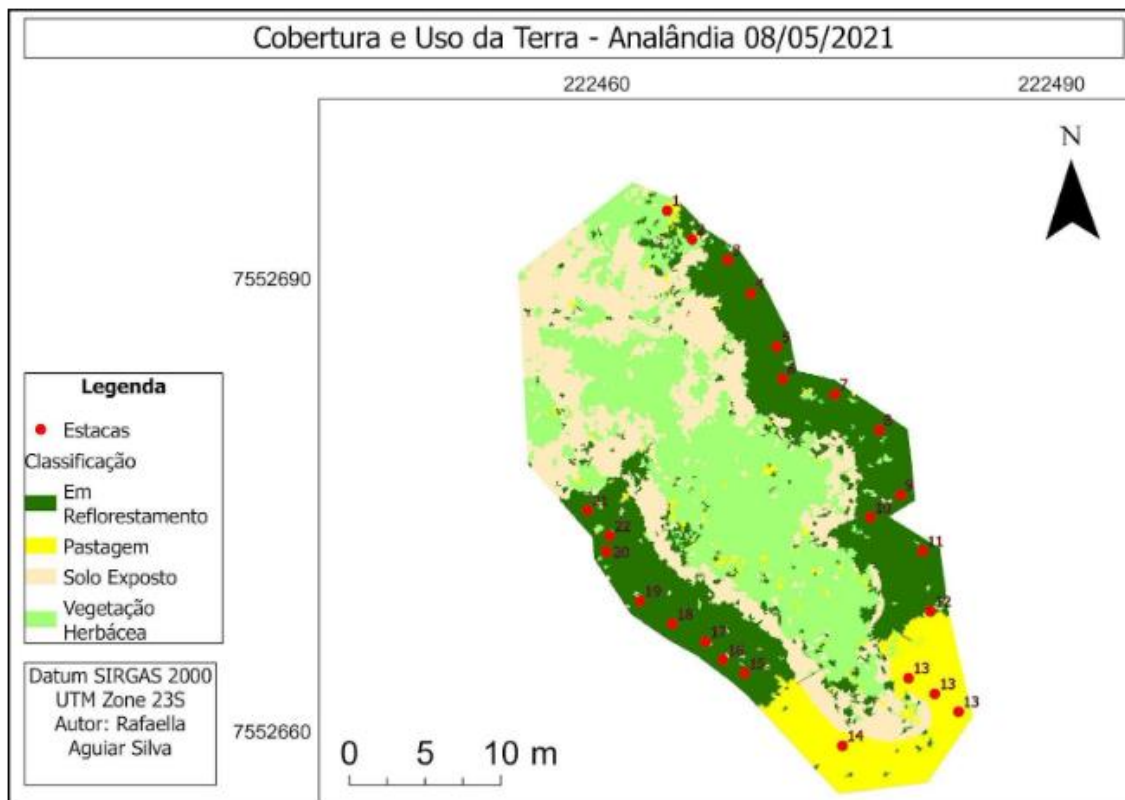
Desta forma, compreende-se que a cobertura vegetal, pode dinamizar o talude erosivo de voçorocas. Partindo desta premissa, realizou-se uma comparação entre as características da cobertura de cada cenário estudado, dividindo o setor erosivo monitorado em margem direita (estacas de 1 a 12), cabeceira (estacas 13 e 14) e margem esquerda (estacas de 15 a 22), para facilitar a compreensão do fenômeno erosivo (Figura 11).

Figura 11 - Disposição das estacas sobre os ortomosaicos do setor erosivo por período



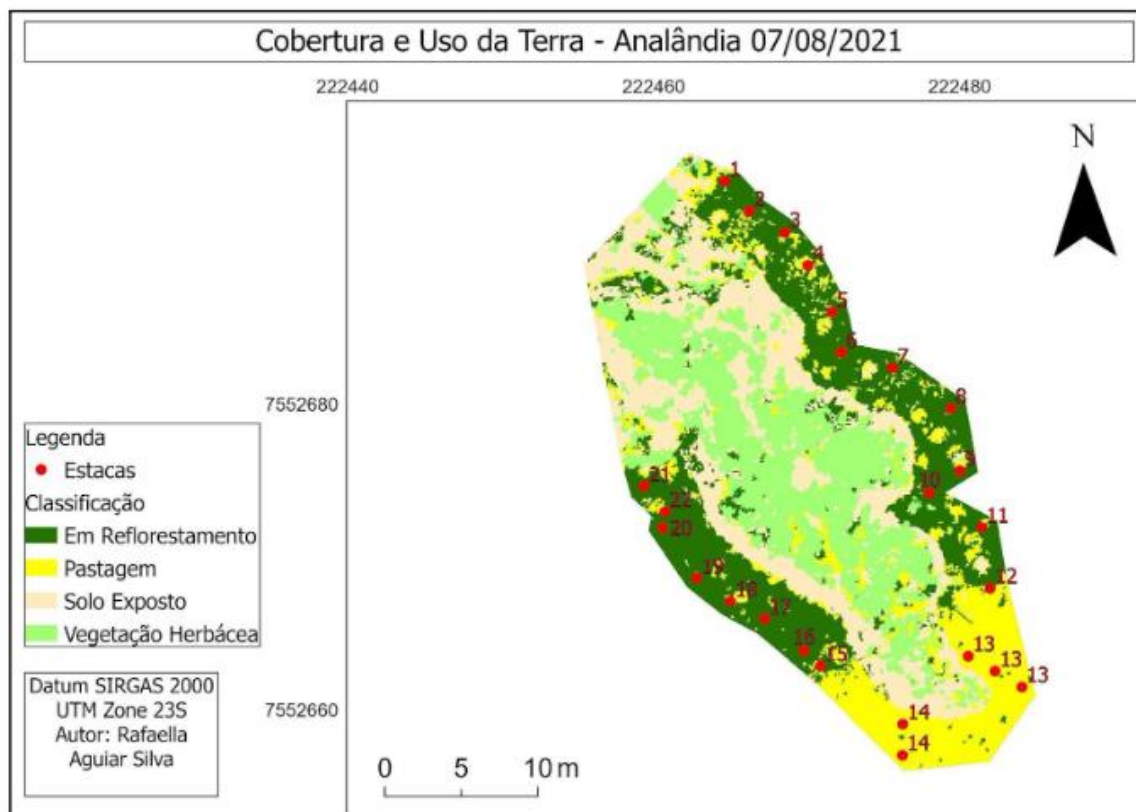
O primeiro cenário (Figura 12) possui a grande maioria das estacas da margem direita (estaca 1 à estaca 12) concentradas em uma área em reflorestamento. O período de 08/05/2021 possui também, na margem esquerda (estaca 15 à estaca 22) a mesma característica. Já na cabeceira, as estacas 13 e 14 se concentram na área de pastagem. É possível observar que neste cenário o interior da voçoroca apresenta grande parte ocupada por vegetação herbácea e com solo exposto próximo ao talude erosivo.

Figura 12 - Mapa de Cobertura e Uso de Terra em 08/05/2021



No cenário de 07/08/2021 (Figura 13), a área de reflorestamento já se torna mais mesclada, apresentando áreas de pastagem. Esta mesma pastagem se encontra presente no interior do talude, o qual também é ocupado por solo exposto e vegetação herbácea. Destaca-se que as estacas 3 e 4, localizadas na margem direita, sofreram perda de 0,04 e 0,01 m, respectivamente, em relação ao período anterior. A diferença deste setor é que em agosto de 2021 as estacas se encontram em uma área de reflorestamento mesclado com pastagem, como é possível identificar na Figura 12. Já no setor de cabeceira, também houve uma perda de material, de 0,2 m nas estacas 13 e 14. A cabeceira neste período permanece em área de pastagem, porém é possível identificar pequena presença de cobertura destinada ao reflorestamento. Por fim, em sua margem esquerda, nas estacas 16, 18 e 19, houve uma expansão de material, sendo estas localizadas também em uma região destinada ao reflorestamento.

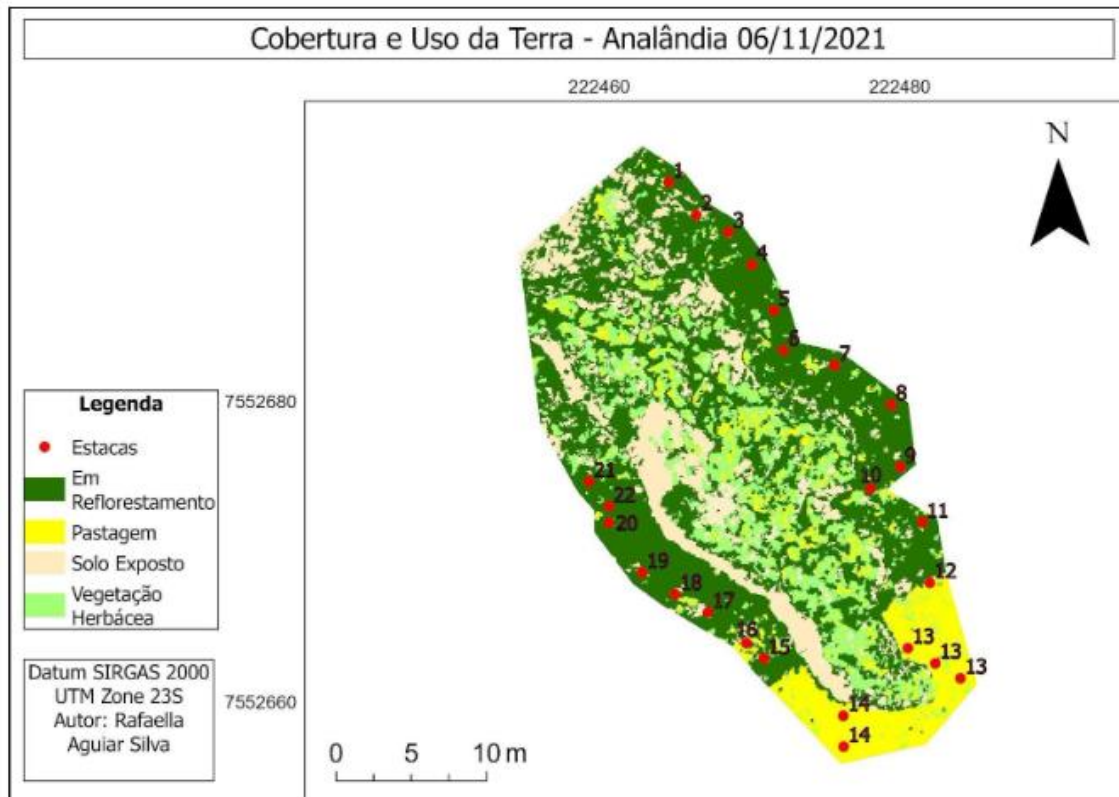
Figura 13 - Mapa de Cobertura e Uso de terra em 07/08/2021



Em relação ao interior da voçoroca, o setor apresenta parte tomada por vegetação herbácea, sendo a base dos taludes erosivos com solo exposto representativo. Também é possível notar a presença de algumas áreas com a cobertura classificada como pastagem, algo que também não ocorria em 08/05/2021. Destaca-se que neste trimestre (08/2021 a 10/2021) a precipitação foi de 57,8 mm de chuva, apresentando uma diminuição comparada ao trimestre anterior (211,3 mm) de acordo com o DAEE.

Em 06/11/2021, tanto na margem direita quanto na margem esquerda, é possível observar que a área de reflorestamento tem uma presença muito maior de solo exposto e vegetação herbácea (Figura 14). A vegetação herbácea também está presente na cabeceira, em área de pastagem. Já o interior da voçoroca apresenta uma mescla muito maior de cobertura, se comparada ao cenário anterior, de pastagem, solo exposto, vegetação herbácea e reflorestamento.

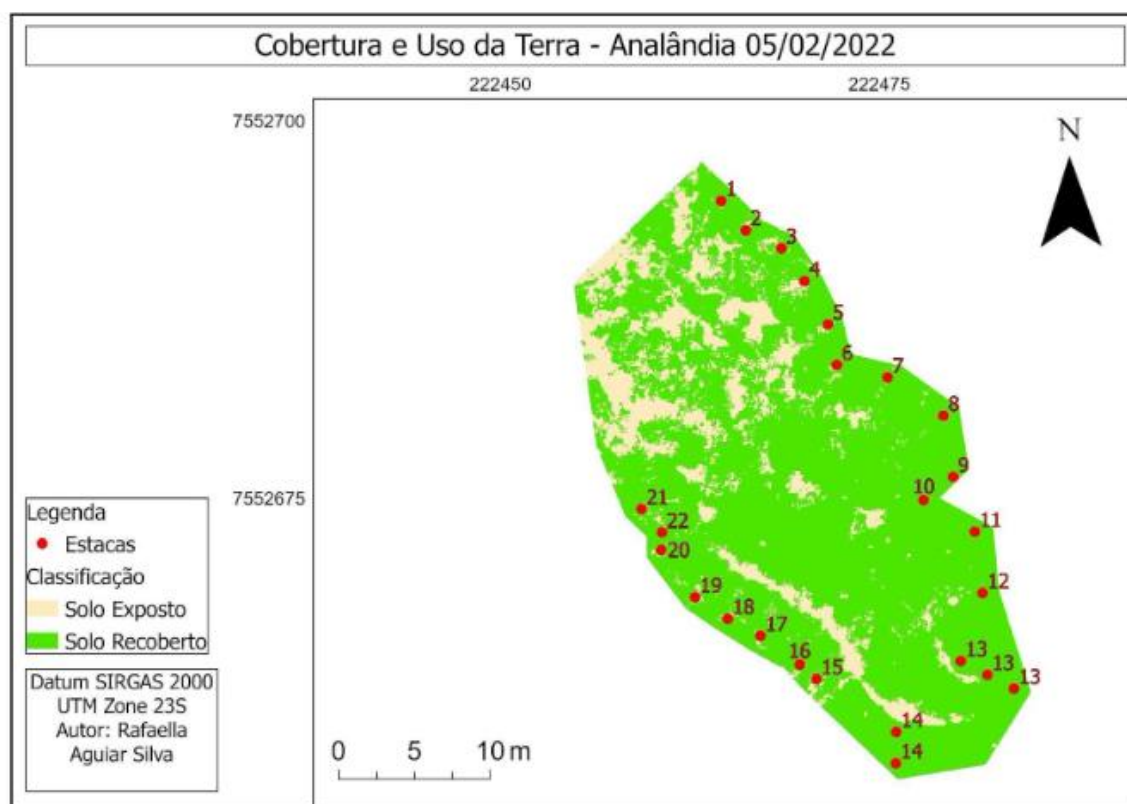
Figura 14 - Mapa de Cobertura e Uso de terra em 06/11/2021



Na margem direita ocorreu uma perda de material, principalmente nas estacas 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11 e 12, totalizando em 0,15 m. Comparando com o cenário anterior, essa margem sofreu um aumento da perda. Essas estacas, como dito, estão em uma área não só de reflorestamento, mas com uma cobertura vegetal mesclada também, assim como solo exposto. Já na margem esquerda, uma parte também com uma cobertura mesclada, ocorreram perdas, algumas muito significativas, como na estaca 16 de 0,27 m e na estaca 19 de 0,25 m. Sobre a perda ter sido maior na margem esquerda, isso pode estar relacionado ao fato de que, comparado ao cenário anterior, este período está mais vegetado na margem direita do que na esquerda. Comparando ao cenário anterior, no qual algumas estacas, como a 16, 18 e 19 apresentaram expansão de material, a perda em 06/11/2021 foi muito maior. Parte desta evolução, além da influência da cobertura vegetal, pode estar relacionado à quantidade de chuva que ocorreu neste período, o qual foi de 237,1 mm.

Já no último cenário, em 05/02/2022, como já dito anteriormente em “Materiais e Métodos”, foi o período que ocorreu uma mistura da vegetação, sendo estas gramíneas variadas, pastagem e reflorestamento. Em função disso, como é possível ver na Figura 15, boa parte da área de estudo está coberta por vegetação, denominada de solo recoberto. Este período também apresenta solo exposto, principalmente na parte inferior do sistema erosivo. Já na parte central e na cabeceira, houve uma diminuição do recuo do talude em relação a 06/11/2021, devido a presença da vegetação, característica bem marcante em fevereiro. Em relação à pluviosidade, no trimestre, foram registrados 562,8 mm.

Figura 15 - Mapa de Cobertura e Uso de terra em 05/02/2022



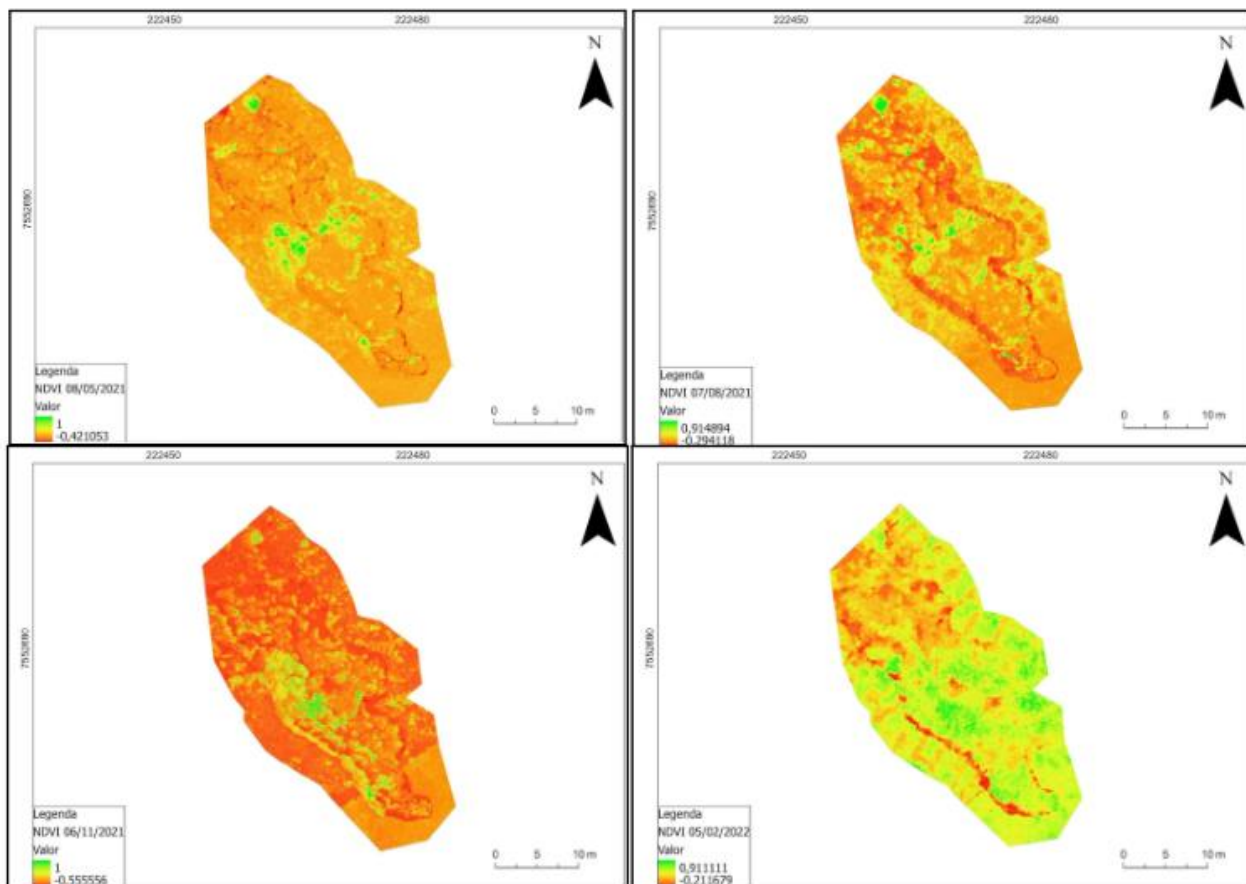
Em relação a evolução do talude, a margem direita apresentou 8 estacas com perda de material, sendo estas as estacas 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, apresentando um padrão de 2 estacas

seguidas uma da outra ocorrendo perda de material. Até a estaca 7, existe parte considerável da cobertura representada pela classe solo exposto, localizada na área do talude erosivo. Já a partir da estaca 8, identifica-se solo recoberto. Na cabeceira, as estacas 13 e 14 se encontram em solo recoberto. A 13 se manteve estável, enquanto a 14 teve uma perda de 0,02 m. Por fim, na margem esquerda, apenas a estaca 19 registrou perda de material (0,02 m). Todas as outras se mantiveram estáveis ou tiveram uma expansão de material, sendo o maior delas de 0,04 m, na estaca 17. Isso pode se associar ao fato de que este período de maneira geral possui uma grande parte de seu solo ocupado por vegetação, indicando que o projeto de reflorestamento está sendo efetivo.

Além do uso e cobertura, outra análise que, preliminarmente, julgou-se importante para o entendimento da dinâmica erosiva foi por meio do NDVI. Atualmente, os índices de vegetação (IV) vem ganhando um papel de destaque, pois são muito úteis quando se pretende monitorar a cobertura vegetal de alguma microrregião e macrorregião (Miura *et al.*, 2001). Segundo Ponzoni (2001), é possível obter esse índice a partir da relação entre a resposta eletromagnética da vegetação, de maneira que são obtidos dados espectrais de duas ou mais bandas, gerando assim o índice. Este índice pode ser estudado por meio das imagens geradas por sensores remotos, sendo analisado e comparado em diferentes períodos de tempo (Zanzarini *et al.*, 2013).

A partir do índice NDVI, como é possível observar na Figura 16, alguns períodos apresentam um índice mais elevado que outros. Os períodos de 08/05/2021 e 06/11/2021 conseguiram apresentar o valor máximo, sendo este 1. Já 07/08/2021 e 05/02/2022 o valor máximo obtido ficou por volta de 0,91.

Figura 16 - IV de cada período



No primeiro cenário, o valor máximo está presente em regiões de vegetação herbácea, enquanto seu valor mínimo em regiões de solo exposto. A resposta média se concentra nas áreas de pastagem e de reflorestamento. No segundo cenário, a resposta mínima foi bem baixa, sendo este presente principalmente em regiões também de solo exposto. Já o valor máximo está presente também em regiões ocupadas por vegetação herbácea. O terceiro cenário tem poucas partes do talude apresentando o valor máximo, apenas uma região de vegetação herbácea no interior da voçoroca. A parte restante indica uma resposta de valor mediano. Neste caso, o setor de reflorestamento apresenta uma resposta mais baixa do que o setor de pastagem. É possível observar que o último cenário apresenta a maior porcentagem

de área do valor máximo, sendo boa parte do talude possuindo valores altos IV e apenas na parte inferior e no limite do talude valores baixos.

No entanto, é necessário apontar que os setores que apresentam sombra pervertem os dados obtidos pelo NDVI. Como dito em “Materiais e Métodos”, o sensor RGB do VANT não atua na banda termal (infravermelho), sendo que os setores com sombra pervertem a resposta espectral, por exemplo, na faixa do verde, tornando os setores sombreados mais escuros, fato que é identificado pelo NDVI como parte da vegetação com maior vitalidade. Essa resposta pervertida indica que não necessariamente, a espécie da vegetação possui alta vitalidade e seja saudável.

Muitos serviços de agricultura de precisão desenvolvem e vendem esse tipo de resultado, com bandas verde e vermelho, obtidas por VANTs que não possuem um sensor termal, e podem gerar resultados adulterados da vitalidade da vegetação, como ocorreu nesta pesquisa.

Ao relacionar estes dados com a cobertura vegetal, se observa que, em áreas de pastagens, cujo solo é coberto principalmente por gramíneas, a proteção contra a erosão é menor; além disso, os terrenos identificados na carta de declividade são normalmente inclinados. Além disso, as ações do homem compactam ainda mais o solo por meio do pisoteio do gado, reduzindo a infiltração da água, aumentando o escoamento superficial e intensificando voçorocas, como mostrado na carta de fluxo acumulado. No entanto, em áreas de reflorestamento é possível observar uma quantidade significativamente maior de proteção contra este fenômeno. No MDE e na carta de fluxo acumulado pode ser visto que, mesmo em terrenos mais elevados e inclinados, a bacia necessita de práticas conservacionistas para reduzir a velocidade do escoamento, bem como a concentração do mesmo, de modo a evitar e mitigar eficazmente a erosão. Já em áreas de solo exposto, a situação é mais crítica. O solo sem cobertura vegetal é altamente vulnerável à erosão, com áreas de alto risco em alta declividade, assim como de alto fluxo segundo a carta de fluxo acumulado. A falta de vegetação expõe o solo rapidamente à erosão, permitindo que a água escorra rapidamente para fora da encosta, piorando assim a erosão e a expansão da feição erosiva. A vegetação

herbácea ocasional fornece proteção mediana; embora seja melhor que o solo exposto, não tão eficaz quanto às áreas mais florestadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises foi possível compreender que os resultados são distintos quando o setor erosivo está em uma área de reflorestamento ou em uma área de pastagem, fato que pode ser associado à própria ação do reflorestamento e a ausência do gado no local.

Na comparação do segundo cenário com o terceiro (Figura 13), observou-se um aumento de perda de material total. Neste cenário o solo está bem mais exposto, além da cobertura se apresentar mais mesclada se comparada ao cenário anterior. Em relação à chuva, ocorreu um aumento da pluviosidade, podendo ser juntamente com a cobertura, fatores que justificam o aumento da evolução erosiva.

Já em relação ao terceiro cenário comparado com o último, a perda total de material não foi tão significativa. O último cenário, mesmo tendo apresentado altos índices de chuva, sendo este o maior de todos os trimestres, apresenta uma cobertura vegetal expressiva. Apesar de também apresentar um pouco de solo exposto, é um período com alta cobertura vegetal, fato que pode ser observado também ao analisar o NDVI.

O NDVI, apesar de gerar uma resposta alterada devido ao fato do VANT utilizado não apresentar sensor com infravermelho, faz com que seja possível observar a evolução. Ao comparar 08/05/2021, o primeiro cenário e um período seco, com 05/02/2022, sendo este o último cenário é um período úmido, de maneira geral, o período úmido apresenta uma vegetação com muito mais vitalidade. A perda total de material do trimestre de 08/05/2021 foi de 1,75 m, enquanto a perda total do trimestre de 05/02/2022 foi de 0,23 m, mostrando assim uma diminuição na perda total, fato que pode estar relacionado também a resposta do NDVI, mesmo sendo esta uma resposta deturpada.

Ainda, o uso das imagens de altíssima resolução permitiu o detalhamento de processos erosivos e de feições erosivas como as voçorocas, possibilitando a averiguação de períodos

mais ou menos dinâmicos do ponto de vista erosivo, assim como o detalhamento das condições da cobertura vegetal. Aponta-se a importância da área de estudo a qual pertence a uma bacia hidrográfica que tem um papel crucial para o abastecimento de água nas cidades de seu entorno, ao qual pertence o sistema hídrico da região do PCJ.

Os documentos cartográficos de declividade, Modelo de Elevação Digital e fluxo acumulado, atuam em conjunto para conceder uma visão abrangente dos processos erosivos na alta bacia do Córrego Santa Terezinha. A partir da carta de declividade, é evidenciado a região com maior declive, com maior propensão à erosão. O Modelo de Elevação Digital mostra a variação altimétrica na área, possibilitando entender a influência da topografia íngreme sobre o escoamento superficial. Na carta de fluxo acumulado, são exibidos os percursos com mais concentração de água, de que forma o escoamento de água é intensificado na área, conforme a região de maior declive e altitude.

Com a análise conjunta dos três documentos, foi possível constatar que a combinação da topografia e declividade indica o rumo do escoamento de água, do mesmo modo que a forma de ação, sendo que o mesmo intensifica a velocidade dos fluxos, em áreas de pastagem e próximos a estradas vicinais. Isto provoca a criação e expansão das voçorocas.

Com as três cartas complementando-se, os modelos fornecem, desta forma, um panorama completo dos riscos e de quais setores que precisam de mais intervenções para manter o solo estável e a paisagem preservada.

Em resumo, a topografia, o fluxo e a declividade reagem com os vários tipos de cobertura vegetal para determinar a vulnerabilidade da área a ser erodida. O manejo adequado da vegetação, em particular em áreas de alta de inclinação e elevação, é vital para o controle do escoamento superficial e da erosão do solo na área de estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. M., 1964. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Editora USP, São Paulo, 110p
- BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. 8 ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BEZERRA, M. V. C. BRANDÃO, Z. N.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. **Agricultura de precisão para gerenciamento do algodão**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 1309 p. cap. 20. v. 2.
- BLAIKIE, P. The Political Economy of Soil Erosion in Developing Countries. London: Routledge. 1985.
- BRINO, W. C. **Contribuição à definição climática da Bacia do Corumbataí e adjacências (SP), dando ênfase à caracterização dos tipos de tempo**. 1973. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1973.
- CASTILLO, C.; GOMÉZ, J. A. **A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches**. Earth-Science Reviews. University of Cordoba, Spain. v. 160, p. 300-319, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. Brasília, 2006.
- ESRI. Weighted Overlay. 2016 Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-overlay.htm>. Acesso em: 13/09/2023
- FELTRAN-BARBIERI, R., FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **The Royal Society**. v. 8, n. 7. 2021.
- FENDRICH, R; OBLADEN, N. L.; AISSE, M. M.; GARCIAS, C. M. **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4 ed. Curitiba: Champagnat, 1997. 485 p

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 3 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

FOLEY, J.A., DEFRIES, R., ASNER, G.P. BARFORD, C, BONAN, G, CARPENTER, S.R, HELKOWSKI, J.H., 2005. **Global consequences of land use**. Science 309, 570–574

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Status of the World's Soil Resources. Roma, 2015.

GARRITANO, F. do N. **Diagnóstico da degradação do solo na bacia do Alto rio Pirai (RJ) – monitoramento com uso de VANT em áreas com erosão em diferentes estágios de intervenção**. Dissertação (Mestrado em Geografia – Planejamento e Gestão Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2020.

GOMES, A, QUEIROZ, D. M. VALENTE, D. S. PINTO, F. D. A. D. C. ROSAS, J. T. **Comparing a single-sensor camera with a multisensor camera for monitoring coffee crop using Unmanned Aerial Vehicles**. Engenharia Agrícola, v. 41, p. 87-97. 2021.

GOODWIN, N. R.; ARMSTON, J.; STILLER, I.; MUIR, J. **Assessing the repeatability of terrestrial laser scanning for monitoring gully topography: A case study from Aratula, Queensland, Australia**. Geomorphology, v. 262, p. 24–36, 2016.

GOUDIE, A. **The human impact in geomorphology–50 years of change**. Geomorphology, v. 366, p. 106601, 2020.

GUERRA, A. J. T. A erosão dos solos no contexto social. **Anuário do Instituto de Geociências**. UFRJ. V.17, p. 14-23, 1994a.

GUERRA, A. J. T. 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, 1994b. 4, p. 149-209.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. Solos do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosp/> Acesso em: 07 de junho de 2023.

Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura - IICA. A nova cara da pobreza rural: desafios para as políticas públicas. Brasília. 2012.

KAISER, A.; NEUGIRG, F.; ROCK, G.; MÜLLER, C.; HAAS, F.; RIES, J.; SCHMIDT, J. **Small-scale surface reconstruction and volume calculation of soil erosion in Complex Moroccan Gully Morphology using Structure from Motion**. Remote Sensing, 6, p. 7050-7080, 2014.

KERTZMAN, F. F., OLIVEIRA, A. M. S., SALOMÃO, F. X. T., GOUVEIA, M. I. F. **Mapa de Erosão do Estado de São Paulo**. Revista do Instituto Geológico, volume especial, p. 31-36, 1995.

KOFFLER, N. F. et. al. Solos da bacia do Rio Corumbataí. Rio Claro: Departamento de Cartografia e Análise da Informação Geográfica - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 1992. Escala: 1:50.000

LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W, CHIPMAN, J. W.. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 5. ed. -. New York: John Wiley & Sons, 2004.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. O papel das geotecnologias no estudo de feições erosivas e de movimentos de massa no Brasil. 2013. In GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (org.) **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos, São Paulo: p. 95-125.

MIRANDA, Carlos; TIBURCIO, Breno; LEITE, Sergio Pereira. Políticas de desenvolvimento territorial e enfrentamento da pobreza rural no Brasil. **Brasília: IICA**, v. 19, 2013.

MIRANDA, J. C. Sucessão Ecológica: conceitos, modelos e perspectivas. **SaBios-Revista De Saúde E Biologia**: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. v.4, n. 1. 2009.

MIURA, T.; HUETE, A. R.; YOSHIOKA, H.; HOLBEN, B. N. **An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction**. Remote Sensing of Environment, v.78, p.284- 298, 2001.

- MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Longman Group, Inglaterra. 1986.
- PINTON, L. G. **Evolução dos processos morfogenéticos em relevo cuestasiforme: a bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia (SP)**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2016.
- PINTON, L. de G. A **Antropogeomorfologia na bacia do Córrego do Cavalheiro – Analândia/SP: Uma avaliação da dinâmica de uso da terra e sua adequabilidade à legislação ambiental e a capacidade de uso**. Trabalho de Conclusão de Curso - Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.
- POESEN, J. **Challenges in gully erosion research**. Landform Analysis, vol. 17, p. 5–9, 2011.
- POESEN, J., NACHTERGAELE, J., VERSTRAETEN, G.; VALENTIN, C. **Gully erosion and environmental change: importance and research needs**. Catena, 50 (2-4), 91-133. 2003.
- PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação**. Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001. p.157-199.
- ROMEIRO, A. R., MANGABEIRA, J. D. C., & VALLADARES, G. S. Biodiversidade, reflorestamento e agropecuária no Brasil. **Embrapa**. v. 7, n. 16. 2004.
- ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. In: **Proceeding of Ert-1 Symposium**. United States, NASA. 1973
- SANTOS, C. O., MESQUITA, V. V., PARENTE, L. L., PINTO, A. S., FERREIRA, L. G. Assessing the Wall-to-Wall Spatial and Qualitative Dynamics of the Brazilian Pasturelands 2010–2018, Based on the Analysis of the Landsat Data Archive. **Remote Sens**. v.14. 2022.

SILVA, P. de O., LEITE, M.G. , P., COSTA, A. T., & FUJACO, M. A. G. Influência de projetos de reflorestamento de matas ciliares no controle/mitigação da erosão por ondas em reservatórios. **Geologia USP. Série Científica**, v. 21, n.3, p. 109-124. 2021.

STEFANUTO, E. B. **Análise dinâmica erosiva linear e seu potencial evolutivo em ambiente agrícola**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2019.

STEFANUTO, E. B., LUPINACCI, C. M. O uso de imagens de altíssima resolução no mapeamento de paisagens afetadas por erosão. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 20, n.2, p.139-140. 2022.

SPAROVEK, G., CORRECHEL, V., & BARRETTO, A. G. P. The risk of erosion in Brazilian cultivated pastures . *Scientia Agricola*, Piracicaba. v. 64, n.1, p. 77-82. 2007.

SRUTHI, S; ASLAM, M. M. Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1258-1264, 2015.

TROPPMAIR, H. Geossistemas e geossistemas paulistas. Rio Claro: Helmut Troppmair, 2000.

ZANZARINI, F. V.; PISSARA, T. C.; BRANDÃO, F. J.; TEIXEIRA, D. D. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.609-610, 2013.