



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde
Departamento de Ciências Ambientais
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL
Rod. Washington Luís, Km. 235 – Cx. Postal. 676
CEP: 13565-905 – São Carlos – SP – Fone: (016) 3351-9776



PROJETO DE PESQUISA - MONOGRAFIA II

**COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO PELA EUPS COM
PRODUTOS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA ANÁLISE DE
PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS DE REGENERAÇÃO**

Aluno: Luiza Campos Giglio

Orientador: Vandoir Bourscheidt

**SÃO CARLOS - SP
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL**

**COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO PELA EUPS COM
PRODUTOS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA ANÁLISE DE
PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS DE REGENERAÇÃO**

Luiza Campos Giglio:

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

Orientador: Vandoir Bourscheidt

**SÃO CARLOS-SP
2025**

**COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS DE PERDA DE SOLO PELA EUPS COM
PRODUTOS DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA NA ANÁLISE DE
PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS DE REGENERAÇÃO**

Luiza Campos Giglio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 20 de fevereiro de 2025 ao Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Gestão e Análise Ambiental.

.....
Vandoir Bourscheidt

AGRADECIMENTOS

Dedico esse trabalho à Lidia Licha de Campos. Gostaria que pudesse ver até onde cheguei, vó.

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado discernimento e por iluminar meu caminho.

Gostaria de agradecer ao professor Dr. Vandoir Bourscheidt por toda ajuda, paciência e orientação. Obrigada pela oportunidade de realizar essa pesquisa e por me apoiar desde o projeto de IC ao presente trabalho de TCC. Sou grata por toda sua disponibilidade e por ter compartilhado seu conhecimento comigo ao longo dessa pesquisa. Agradeço também a Tatiane Ferreira Olivatto por ter aceitado participar da banca e pelas sugestões que contribuíram para este trabalho.

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram nessa pesquisa. Vocês mais do que ninguém sabem quanto esse trabalho significa para mim. Obrigado por sempre perguntarem como estava indo o projeto e por dizerem que eu conseguiria, não importasse os desafios no caminho. Sei que devem estar orgulhosos.

Obrigado aos meus amigos da turma 021 do curso de Gestão e Análise Ambiental. Agradecimentos especiais para Julia Maria Braga e Alana Moraes Scardovelli, por terem torcido por mim e para que tudo na pesquisa desse certo, e também por serem com quem compartilhei as conquistas e desafios desse trabalho desde sua proposta inicial. Agradeço ao apoio dos colegas: Julia Ribeiro, Olivier Akira, Carolina Akemi e Maria Hayashida. Também agradeço as dicas e conselhos dos amigos do programa da pós-graduação que conheci ao longo do curso: Marquesa Chang, Bruno Santos e Rafaela Ichiba. Obrigada também pelos amigos que compareceram e assistiram a apresentação, sou grata pelo apoio e presença de: José A.B. Júnior, Karoline Rodrigues, Luiz Silvestrin, Marcus Nakasato, Mateus Fulan, Nicole Maiochi, Renato P. P. Filho e Vinicius Goldmann.

E agradeço o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Instituto de Geografia e Cartografia (IGC) e ao Departamento de Ciências Ambientais (DCAm).

E por fim, mas não menos importante, para os leitores deste trabalho.

“We live to make the impossible possible. That is our focus”

Lightning, FINAL FANTASY XIII

RESUMO:

Os processos erosivos geram uma série de consequências, além da degradação física e química ao solo. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é normalmente utilizada para estimar a perda de solo e analisar os principais fatores que contribuem nesse processo. Atualmente, a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs), aliado às geotecnologias, ocorre em diversas análises, principalmente no monitoramento ambiental. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os processos erosivos em uma área com vegetação em regeneração para melhor compreensão dos fatores relevantes no processo erosivo, assim como a importância da vegetação na recuperação das áreas erodidas, aplicando a EUPS e utilizando produtos fotogramétricos obtidos com VANT. Utilizando diversas fontes de dados, foi realizada uma análise temporal de 62 anos com a aplicação da EUPS na área de estudo, além de realizar a análise volumétrica da área afetada pela erosão utilizando subprodutos do VANT. Como resultados, observou-se que os fatores de uso e cobertura do solo, bem como de erodibilidade pluvial, influenciam mais na dinâmica da erosão. Em relação aos métodos aplicados, o volume de solo perdido obtido pela EUPS foi superior ao cálculo volumétrico, principalmente em áreas de regeneração da vegetação. Portanto, a vegetação e a precipitação são os fatores que mais influenciam nas áreas de erosão, indicando que ações em prol da recuperação de áreas são essenciais para reduzir os processos erosivos.

Palavras-chave: Erosão, recuperação ambiental, SIG, RPA, Modelos Digitais de Elevação.

ABSTRACT:

Erosive processes generate a series of consequences, in addition to physical and chemical degradation of the soil. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is normally used to estimate soil loss and to analyze the main factors that contribute to this process. Currently, the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), combined with geotechnologies, occurs in several analyses, mainly in environmental monitoring. Thus, the objective of this study was to evaluate the erosive processes in an area with regenerating vegetation to better understand the relevant factors in the erosive process, as well as the importance of vegetation in the recovery of eroded areas, applying the USLE and using photogrammetric products obtained with UAV. Using several data sources, a 62-year temporal analysis was performed with the application of the USLE in the study area, in addition to performing the volumetric analysis of the area affected by erosion using UAV byproducts. As a result, it was observed that the factors of land use and cover, as well as rainfall erodibility, influence the dynamics of erosion the most. Regarding the applied methods, the volume of soil loss obtained by EUPS was higher than the volumetric calculation, especially in areas of vegetation regeneration. Therefore, vegetation and precipitation are the factors that most influence erosion areas, indicating that actions in favor of vegetation recovery are essential to reduce erosion processes.

Keywords: Erosion, regenerating areas, GIS, UAVs, Digital Elevation Models.

Sumário:

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVO	11
2.1. Objetivo Geral	11
2.2. Objetivo Específicos	11
3. METODOLOGIA	12
3.1. Área de Estudo	12
3.2. Reunião e Preparação dos Dados	13
3.3 Análise Temporal da Área de Estudo	14
3.4 Processamento das Imagens Obtidas por VANT	14
3.5 Cálculo Volumétrico	16
3.6 Equação EUPS	17
Fator R	18
Fator K	18
Fator LS	19
Fator CP	20
4. RESULTADOS	22
4.1. Análise temporal e dos processos erosivos	22
4.2. Análise dos fatores	22
4.3. Resultados da equação EUPS	26
4.4. Análise da Perda de Solo das Áreas Seleccionadas	28
4.5. Análise do Cálculo Volumétrico	29
5. CONCLUSÃO	32
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
ANEXO 1: VALORES DO FATOR R PARA CÁLCULO DO FATOR R	37
ANEXO 2: VALORES DO FATOR EI30 PARA CÁLCULO DO FATOR R	39

Sumário de Figuras

Figura 1 - Área de estudo. No detalhe, o processo erosivo próximo ao limite leste do município de Franca, SP.	13
Figura 2: Fluxograma da metodologia aplicada.	14
Fonte: Autoria própria.	14
Figura 3 - Fluxograma para a geração do ortomosaico utilizando o Agisoft Metashape. Fonte: autoria própria.	16
Figura 4: Diferenças entre Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Fonte: PARANHOS FILHO, 2020.	21
Figura 5: Evolução dos processos erosivos da área de estudo de 1962 a 2023.	23
Figura 6: Gráfico da variação do percentual da área de erosão e da erosividade pluvial.	25
Figura 7: Fator topográfico L.S.	25
Figura 9: Classificação dos fatores C.P de 1962 a 2023	26
Figura 10: Gráfico do Percentual de Classes de Uso do solo de 1962 a 2023.	26
Figura 11: Variação Percentual de áreas de Floresta e Vegetação Secundária e de Erosão nas Áreas Seleccionadas.	27
Figura 12: Perda média anual de solo por unidade de área desde 1963 a 2023. Classificação conforme CARVALHO (2008) apud BARBOSA et. al (2015).	28
Figura 13: Variações das classes da perda de solo.	28
Figura 14: Variação das Classes de Erosão nas Áreas 1 a 5.	29
Figura 15: MDT e MDS da área de estudo.	31

Sumário de Tabelas

Tabela 1: Valores dos C.P para as classes de vegetação e suas respectivas referências.	22
Tabela 2: Valores dos Fatores R.	25
Tabela 3: Volume de solo perdido da área de estudo calculado a partir da Equação EUPS.	32
Tabela 4: Volume de solo perdido nas áreas selecionadas calculado a partir da Equação EUPS em toneladas.	33
Tabela 5: Volume de solo perdido nas áreas selecionadas calculado a partir do MDE de volume de solo perdido em toneladas.	33

1. INTRODUÇÃO

A paisagem é resultado da atuação contínua de inúmeros agentes transformadores, que moldam por completo grandes áreas discretamente ao longo do tempo, fazendo o espaço sofrer grandes modificações, afetando todas suas características naturais. Entretanto, sob determinadas condições e fatores, alguns processos são capazes de alterar a paisagem drasticamente em um curto período, principalmente o solo, considerado um dos meios mais suscetível a essas mudanças, sofrendo sobretudo com processos erosivos. Assim, a configuração da paisagem, bem como a disposição de seus elementos e a variação de suas características são essenciais para compreender a dinâmica dos processos erosivos (Souza et al, 2003). Nesse sentido, as geotecnologias permitem avaliar e acompanhar o avanço da erosão, e se tornam ainda mais relevantes ao empregar novas tecnologias para analisar a área com maior precisão.

Os processos erosivos contemplam o transporte e sedimentação do solo, ocorrendo em áreas que apresentam uma declividade mínima, podendo ter caráter degradativo caso ocorra de forma intensa, gerando prejuízos e perda de suas características (Guerra; Jorge, 2013). Seja essa gerada naturalmente ou devido à ações antrópicas, fator que acelera sua velocidade e expansão, a erosão ocorre principalmente quando o solo encontra-se com pouca ou nenhuma vegetação, ou seja, exposto (Silva, 1995). Dessa forma, uma série de consequências são geradas além da degradação física e química, como o assoreamento dos cursos d'água próximos, e perda de nutrientes, dificultando a adição de cobertura vegetal, armazenamento de água e restauração da área (IBAMA, 2021). Nas áreas tropicais e subtropicais, a erosão hídrica é o principal tipo de erosão responsável pela perda de solo, sendo agravada pelo manejo intensivo e incorreto do solo, o desmatamento e a falta de intervenções conservacionistas, como o plantio direto de sementes (Hernani *et al.*, 2002).

Nesse contexto, um dos métodos aplicados para analisar a perda de solo por erosão é a *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, também conhecida como a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), elaborada por Wischmeier e Smith (1978). Essa técnica utiliza os fatores que mais influenciam nos processos erosivos, baseados em características pluviométricas, pedológicas, topográficas e acerca do uso do solo de determinada localidade ou região. Essa técnica possibilita calcular a

taxa de perda média anual de solo e descrever o comportamento desse fenômeno ao longo do tempo, fornecendo informações que colaborem na tomada de ações para minimizar os impactos negativos das erosões (Renard et al, 1997).

Como dito anteriormente, a erosividade pluvial é o tipo de erosão que mais afeta os países tropicais, o que ressalta a importância de inserir dados pluviométricos na análise desses processos. Além disso, as chuvas são responsáveis por impulsionarem fatores que contribuem nesse processo, como por exemplo intensificar o escoamento superficial, a fragmentação de agregados no solo (Oliveira *et al.*, 2013), bem como a perda de nutrientes, e a geração de irregularidades no terreno, que podem vir a se tornar voçorocas, que são o estado mais avançado de uma erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Dessa forma, a Equação EUPS permite avaliar a potencialidade das chuvas contribuírem na erosão por meio de índices que estimam indiretamente suas intensidades, como por exemplo a precipitação mensal (Bolelli *et al.*, 2023)

As características pedológicas do terreno, tais como a alta estabilidade de sua estrutura, determinam a susceptibilidade à perda de solo, pois condizem com a resposta deste meio à erosão, como maior resistência aos processos erosivos, seguindo o exemplo anterior (Bertoni e Lombardi Neto, 1990). Outro aspecto analisado que descreve as características de áreas com processos erosivos é o relevo que, assim como a pedologia, influencia no modo em que as erosões se desenvolvem. A topografia, neste caso, envolve tanto a declividade, como também o comprimento de rampa, sendo que esse fator influencia tanto os processos erosivos como a eficiência de práticas de conservação na áreas (Hyslop *et al.*, 2019), além de afetar diretamente na velocidade e a quantidade da água escoada (Bertoni e Lombardi Neto, 1990).

Várias técnicas de conservação e de preparo do solo contribuem para minimizar os efeitos da erosão. Uma das medidas que visa reverter este processo é a regeneração da vegetação do local erodido (de forma natural ou induzida), visto que fatores da própria área e da paisagem ao seu redor podem contribuir positivamente no processo, como por exemplo o tipo de solo e a quantidade vegetação nativa, ou negativamente, como o histórico de uso e ocupação atual e o tempo de conversão para a restauração da área (IBAMA, 2021). Em relação às práticas agrícolas, técnicas de calagem e adubação para enriquecimento do solo,

aumentam a produtividade de fitomassa que auxilia na redução da erosão hídrica; o mesmo ocorre na prática de cultivo sustentável, como a semeadura direta (Congo *et al*, 2003).

Em relação à aplicação da EUPS para a estimativa da perda de solo, esta pode ser calculada de diferentes formas, e nesse sentido, vale destacar o papel das geotecnologias. Estas englobam técnicas destinadas à coleta e análises de dados georreferenciados por meio de *software* e *hardware* (Rosa, 2005), possibilitam a aplicação desta equação, além de permitir e fornecer análises destes fenômenos em uma determinada área. Um exemplo da aplicação dessas técnicas para a avaliação de processos erosivos pode ser encontrado na tese de Neves (2022), que determinou as áreas com maior tendência a sofrer erosão na Bacia Hidrográfica do Ribeirão, em São Pedro (SP), utilizando técnicas de geoprocessamento. Por meio da utilização de folhas topográficas, bancos de dados e imagens de satélite do *Google Earth Pro*, a autora identificou os padrões que surgiram ao longo do tempo, que permitiu realizar previsões de quais locais apresentavam maiores chances de ocorrência e agravamento desses processos por meio das geotecnologias.

As geotecnologias permitem realizar procedimentos tais como *software* de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que são sistemas capazes de agrupar dados de entrada, armazená-los e aplicar métodos e técnicas de geoprocessamento a fim de gerar análises geoespaciais (Zaidan, 2017). Com o avanço desta tecnologia, iniciou-se a digitalização de dados geográficos, facilitando sua obtenção e permitindo uma melhor visão e uma compreensão do espaço, tanto no presente quanto em cenários futuros. Esse processo possibilita uma abordagem mais direta e apresentada conforme as necessidades da situação demandam, beneficiando a execução de vários estudos e projetos.

Devido às suas inúmeras funções e múltiplos usos, o SIG é uma ferramenta que pode fornecer bases e ser utilizado em conjunto a outros programas por possibilitar a caracterização de objetos, inserindo-os em sistema de coordenadas geodésicas, juntamente de seus atributos e sua topologia, em suas camadas, sendo representado de forma alfanumérica ou gráfica, seja essa última apresentada em duas ou três dimensões (Silva *et al.*, 2008). Assim, esse sistema permite uma investigação eficiente do ambiente, correlacionando diversos fatores à problemática em questão, gerando produtos que permitem direcionar ações de gestão e tomada de decisões.

Também no âmbito das geotecnologias, podemos destacar os veículos aéreos não tripulados (VANT ou ARPs, também chamados de *drones*). Nos dias atuais, a sua utilização tem se intensificado em diversas áreas do conhecimento por possibilitarem aquisição de informações de forma mais ágil do espaço, além de oferecer imagens de alta resolução e acurácia e vários subprodutos que possibilitam o monitoramento ambiental, como por exemplo, a erosão laminar e de voçorocas (Julian;Nunes, 2020). No entanto, mesmo que este recurso permita recriar com precisão uma determinada área em análise de forma tridimensional, ainda há poucos estudos direcionados para o uso dessa tecnologia, principalmente sobre a temática deste estudo (cenários de erosão), o que ressalta o seu potencial a ser explorado.

Portanto, baseando-se nos referenciais bibliográficos e em imagens coletadas em campo e outras fontes, este trabalho visa avançar no entendimento dos fatores que contribuem para o aumento ou estabilização dos processos erosivos em uma área que está em processo de regeneração, buscando compreender quais locais podem ser mais/menos afetados. Utilizando ferramentas em ambiente SIG, diferentes fatores potenciais para a compreensão desse fenômeno foram estudados, utilizando imagens de alta resolução como base para aplicação dessas técnicas, além de determinar o volume de solo perdido pela erosão ao longo dos anos. O presente estudo também busca verificar a eficácia dos produtos obtidos pelo sobrevoo de *drone* e comparar a similaridade com os resultados gerados por informações tradicionais, avaliando suas vantagens e como essa ferramenta pode contribuir para gerar novas informações.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho buscou, por meio do uso de geotecnologias e com base em dados de altíssima resolução espacial, realizar a avaliação de processos erosivos em uma área com vegetação em regeneração, a fim de compreender melhor os fatores que influenciam nos processos erosivos e também a importância da vegetação na recuperação das áreas erodidas.

2.2. Objetivo Específicos

- Identificar e avaliar os principais fatores, apresentados pela Equação EUPS, que afetam os processos erosivos;
- Avaliar o comportamento da erosão diante do avanço da regeneração da área por meio da equação EUPS;
- Analisar possíveis fatores que influenciam os processos erosivos, com ênfase na vegetação, precipitação regional e variações das características do solo;
- Comparar áreas mais afetadas pela erosão na área de estudo;
- Testar técnicas de fotogrametria para obter a volumetria das áreas erodidas;
- Elaborar documentos cartográficos que permitam a análise dos produtos obtidos por meio do *software* SIG.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada próxima do limite noroeste do município de Franca-SP, como ilustra a Figura 1, numa área que se estende por aproximadamente 1,4 km², onde processos erosivos vêm ocorrendo de forma contínua, juntamente de processos de regeneração de vegetação. Nesta região há o predomínio do bioma Cerrado, além de que 67,48% de seu território é voltado para agricultura e há apenas 18,58% de cobertura florestal (MAPBIOMAS, 2024). Em relação ao solo, há ocorrência predominante de diferentes arenitos, variando entre as formações de Pirambóia, Botucatu, Itaqueri e grupo Serra Geral (CPRM, 2024).

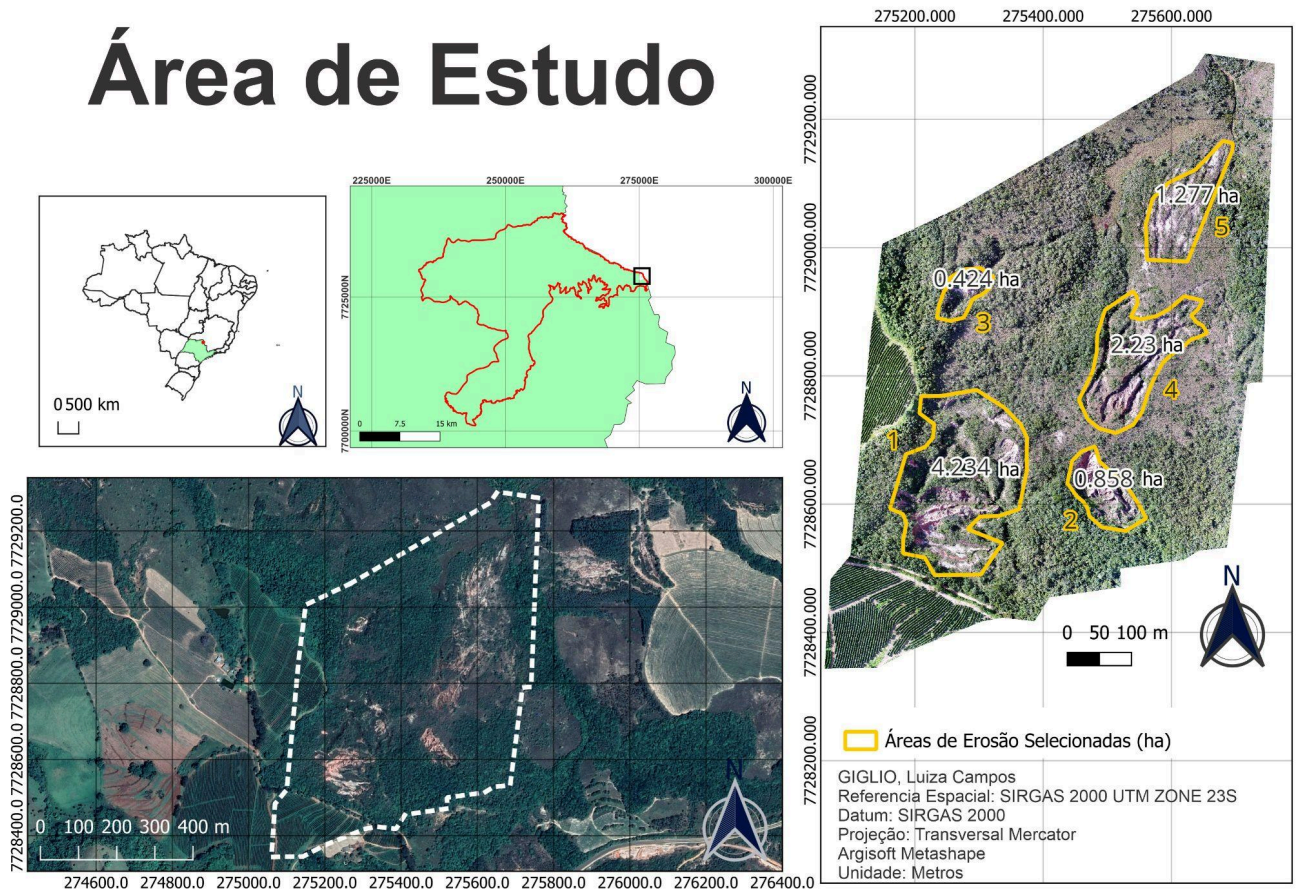


Figura 1 - Área de estudo. No detalhe, o processo erosivo próximo ao limite leste do município de Franca, SP.

Dentro da área de estudo, foram selecionados cinco locais (como mostra Figura 1) onde os processos erosivos eram mais intensos ao longo dos anos, com o intuito de aprofundar as análises e determinar qual fator tem mais influência em cada uma delas. Dessa forma, a Área 1 possui 4,234 ha, sendo esta a maior dentre elas; a Área 2 apresenta 0,858 ha; a Área 3, a menor área selecionada, têm 0,42 ha; a

Área 4 possui 2,230; e a Área 5 com 1,277 ha. As Áreas 1 e 3, localizadas a oeste da área de estudo, estão próximas a áreas cultivadas (atualmente com café), sempre sendo as mais próximas ao longo do tempo de atividades humanas. As Áreas 1, 2 e 3 foram as que apresentaram maior proximidade de cobertura florestais ou processos de regeneração, enquanto as Áreas 4 e 5 permaneceram maior tempo com vegetação rasteira.

3.2. Reunião e Preparação dos Dados

Esse estudo utilizou diferentes fontes e tipos de dados, empregando métodos específicos a fim de comparar a eficiência dos produtos gerados relacionados à perda de solo. Os *softwares* utilizados foram *QGIS Desktop 3.32.3* (QGIS, 2025) e *Agisoft Metashape* (Agisoft Metashape, 2025). Dessa forma, o fluxograma abaixo ilustra a metodologia aplicada:

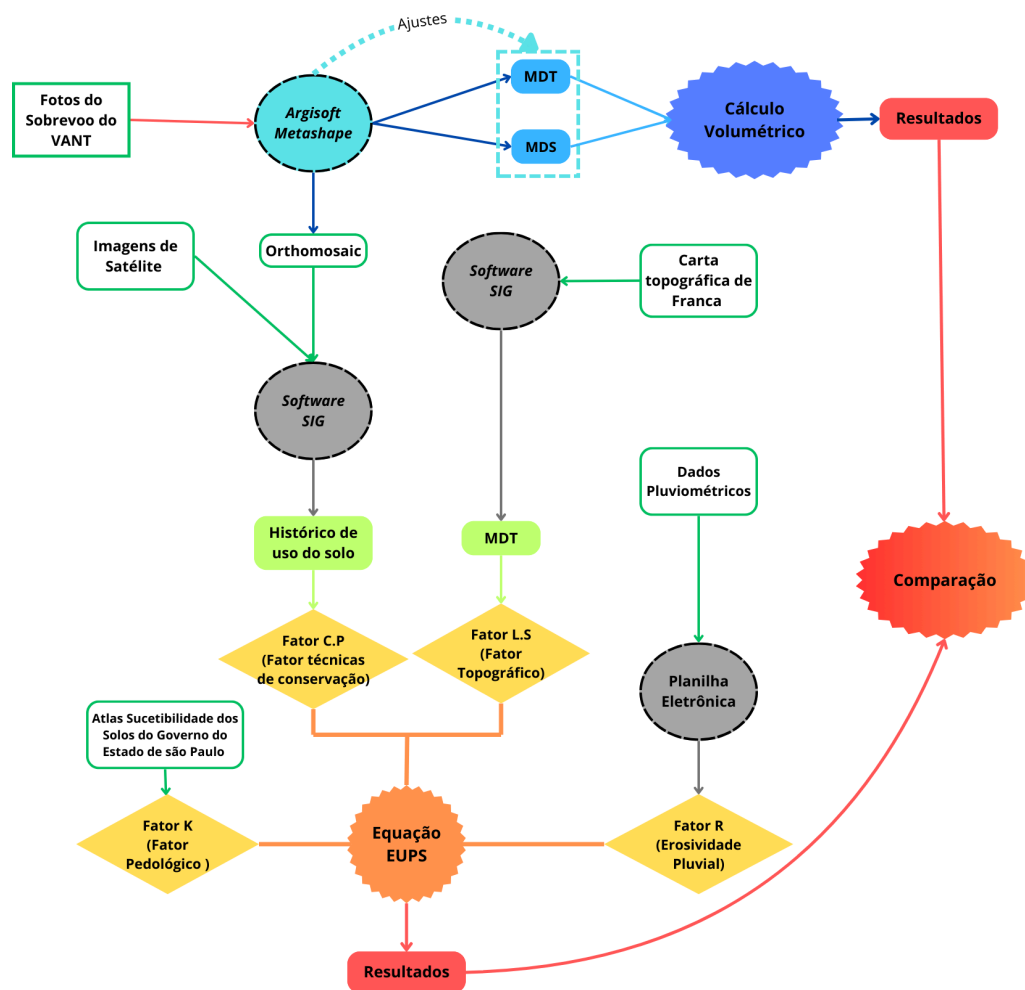


Figura 2: Fluxograma da metodologia aplicada.

Fonte: Autoria própria.

3.3 Análise Temporal da Área de Estudo

Para se obter uma análise dos processos erosivos em um panorama de 62 anos, foram obtidas sete imagens para o acompanhamento da progressão das erosões na área de estudo.

Em relação às imagens de 1962, 1983 e 1990 (nas respectivas escalas de 1:25.000, 1:35.000 e 1:35.000), com resolução espacial aproximada de 1 m (estimada após georreferenciamento), são fotos aerofotogramétricas que pertencem ao acervo de dados do Instituto Geográfico e Cartográfico de São Paulo (IGC-SP), disponibilizadas por meio de um ofício institucional. Já a imagem de 2004 foi obtida através do ortomosaico do IBGE com resolução espacial de 0,91 m, enquanto as imagens de 2016 e 2018 pertencem ao acervo do Google Earth. A de 2023 é um ortomosaico criado a partir do *software Agisoft Metashape*, cujos processos para sua geração serão descritos na próxima sessão. Estas imagens foram georreferenciadas no *software QGIS* além de serem alinhadas conforme o ortomosaico de 2023, bem como todos demais produtos obtidos ao longo da pesquisa, pelo fato de possuir maior resolução em relação às demais.

3.4 Processamento das Imagens Obtidas por VANT

Com o objetivo de realizar uma análise precisa da área de estudo, foram utilizadas fotos de um sobrevoo de *drone* ao longo da área, obtendo-se uma visão atualizada da situação do terreno. Neves (2022) também utilizou tais dados no mesmo sentido como complemento em seu trabalho, logo apenas como um panorama atual da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Meio, principalmente de áreas de difícil acesso. O plano de voo foi elaborado e executado com o apoio da plataforma *Drone Deploy*. Foi utilizado um drone do modelo Phantom 4 Advanced, com uma câmera CMOS com 20 MP. Não foram usados pontos de controle em solo, o que limita a precisão de posicionamento. Por outro lado, foi observada uma grande concordância entre a posição do ortomosaico com bases pré-estabelecidas, sugerindo um pequeno erro posicional. O voo foi realizado com altura fixa de 120 metros, sobre uma área de 31 hectares, resultando em 372 fotos. As sobreposições frontal e lateral foram de 75% e 65%, respectivamente, sendo realizado ainda um voo de perímetro para otimizar os resultados para estruturas tridimensionais. A partir dessas imagens, foram criados modelos tridimensionais da área de estudo por meio do programa *Agisoft Metashape*.

O Agisoft Metashape utiliza-se da tecnologia *Structure from Motion (SfM)*, que permite reconstruir a topografia a partir de técnicas de fotogrametria (Rademann; Trentin, 2020 *apud Westoby et al., 2012*), com a aplicação de uma série de procedimentos e a geração de diferentes subprodutos, tendo como base as imagens obtidas no sobrevoo de drone (Figura 3).

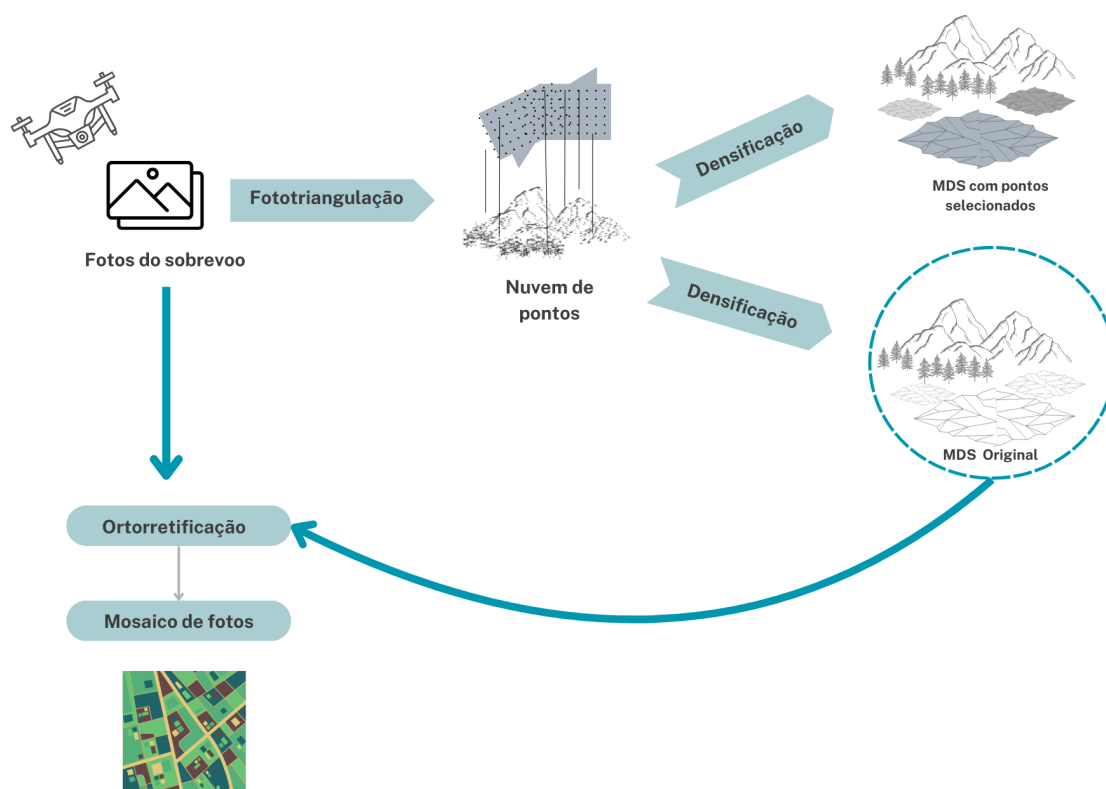


Figura 3 - Fluxograma para a geração dos subprodutos utilizando o Agisoft Metashape. Fonte: autoria própria.

A primeira etapa consiste em realizar a fototriangulação, alinhando as fotos por meio da determinação de suas coordenadas e obtendo pontos fotogramétricos, usados na geração de uma nuvem de pontos, que será a base dos demais produtos (Weis *et. al*, 2022). Em seguida, a nuvem de pontos é densificada, aumentando seu número de pontos e reduzindo as áreas vazias a fim de gerar o Modelo Digital de Superfície (MDS) e, pela classificação de pontos de solo, o Modelo Digital de Terreno (MDT) (Weis *et. al*, 2022). A diferença entre esses subprodutos está no que cada um deles representa, como ilustra a Figura 4. O MDT é um Modelo Digital de Elevação (MDE) propriamente dito e apresenta dados altimétricos apenas do terreno em estudo, enquanto o MDS considera e abrange as estruturas e elementos acima do solo, como por exemplo árvores e irregularidades do terreno, contendo todas

características do terreno (Paranhos Filho, 2020). Esses subprodutos permitem descrever as características da área com maior precisão por meio da utilização de dados obtidos por VANT.

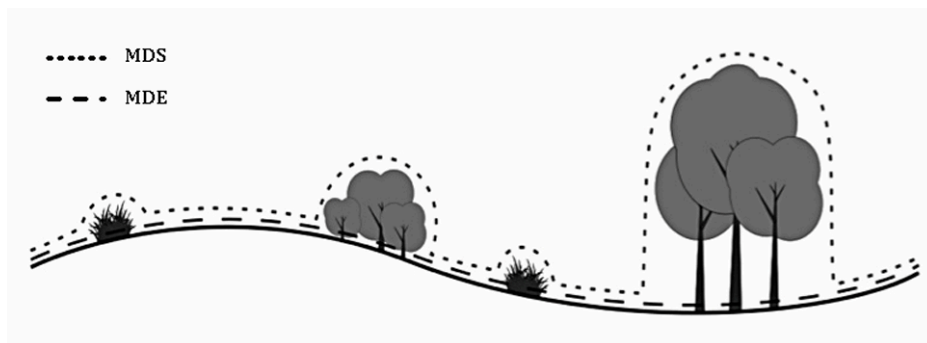


Figura 4: Diferenças entre Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Fonte: PARANHOS FILHO, 2020.

Por fim, com base no MDS resultante das etapas acima, foi possível gerar um mosaico de fotos devido ao processo de ortorretificação das imagens do drone, apresentando uma escala constante e um único produto (Weis *et. al*, 2022), permitindo que seja utilizado no *software QGIS* para análise dos fatores com maior eficiência e precisão.

3.5 Cálculo Volumétrico

Utilizando o MDS criado pelo *software Agisoft Metashape*, o MDT será ainda filtrado e interpolado para gerar diferentes condições do terreno, possibilitando a obtenção de superfícies distintas sobre as áreas erodidas e a determinação da volumetria das áreas com erosão, conforme realizado no trabalho de Oliveira (2020). O autor aplica a metodologia de Verdonk que utiliza de dois modelos, sendo uma simulação da topografia em suas condições originais e o MDT do terreno nas condições atuais, assim, a partir destes dois produtos é possível comparar as diferenças entre os modelos e, por meio da subtração destes, gerar o modelo de profundidade da área de estudo.

Assim, utilizando o MDS e o MDT gerados, foi realizada a subtração desses produtos para geração do MDE de volume de solo perdido. Esse MDE foi classificado pela ferramenta *Calculadora Raster* do *software QGIS* a fim de deixar apenas os valores positivos e referentes à profundidade das áreas afetadas pelos processos erosivos. A partir deste MDE, para se obter o volume total de solo perdido em toneladas, foi aplicada a ferramenta *Raster Volume* da extensão SAGA no QGIS para obtenção do volume, que será multiplicado por $2,65 \text{ Mg/m}^3$ para gerar a massa

total, visto que este é o valor de densidade a ser considerado das partículas do solo (Fageria, Stone; 2006).

Em seguida, foi realizada a determinação do total de solo perdido baseado na EUPS. Assim, visando analisar e comparar esses resultados com os obtidos para o MDE, foi utilizado a ferramenta *Calculadora Raster* sobre cada imagem resultante do cálculo da EUPS, visando obter o total de solo perdido em toneladas. O procedimento considerou a área do *pixel* (0,0225m²), que foi convertido para fração de hectare (0,00000225) a fim de compatibilizar os dados. Em seguida, por meio da ferramenta *Estatísticas para camada de raster*, a soma dos *pixel* destes *rasters* (apenas dentro das áreas erodidas) e esse valor foi multiplicado pela quantidade de anos de Fator R analisados em cada imagem para resultar no total de solo perdido (em toneladas).

3.6 Equação EUPS

Como dito anteriormente, a Equação EUPS é capaz de estimar a taxa de erosão ao longo dos anos, possibilitando o acompanhamento destes processos, contribuindo para determinação de áreas de alta fragilidade e de vulnerabilidade à erosão laminar e auxiliando na tomada de medidas de mitigação e conservação, bem como no planejamento de serviços ambientais (Souza *et al.*, 2019). Neste cálculo, conforme a Equação 1 descrito por Wischmeier e Smith (1978), a perda média anual de solo por unidade de área (A) da Equação USLE é calcula em ton/ha/ano e utilizando fatores naturais de erosividade pluvial (R), erodibilidade do solo (K), comprimento da vertente (L), declividade da vertente (S), além de fatores de intervenção humana de o uso do solo (C) e as práticas aplicadas de conservação e contenção (P).

$$A = R.K.(L.S).(CP) \quad \text{Equação 1}$$

Após a aplicação da Equação 1, os resultados foram classificados conforme proposto por Carvalho (2008) apud Barbosa *et. al* (2015) que define parâmetros para diferentes intensidades de erosão, sendo esses: nulas e moderadas para perda de solo inferior a 15 ton/ha/ano, médias entre 15 a 50 ton/ha/ano, média a forte no intervalo de 50 a 120 ton/ha/ano, erosões fortes no intervalo de 120 a 200 ton/ha/ano, e muito fortes para valores superiores à 200 ton/ha/ano.

Após a obtenção destes resultados, foi calculada a média dos *pixels* de cada ano, sendo que estes valores representam a quantidade de solo perdido em apenas

um ano. Dessa forma, cada um destes resultados foram multiplicados por 10 em razão do intervalo de tempo analisado para cada imagem, exceto para os anos de 1962 e 2023 que foram multiplicados por 6, respeitando os dados utilizados para o período analisado.

3.6.1 Fator R

O cálculo do fator R, referente à erosividade pluvial da região, foi obtido por meio de dados de precipitação total e mensal da estação meteorológica convencional de Franca de código 83630 (INMET, 2024). Esses dados foi aplicados nas Equações 2 e 3 elaboradas por Lombardi Neto e Mondenhauer (1992). A aplicação destas equações foram trabalhadas em uma planilha eletrônica, que será utilizada para criação de um arquivo raster constantes com o valor final do Fator R, sendo calculado em Mj.mm/ha.h.ano.

$$El_{30} = 67,355 \cdot \left(\frac{r^2}{p}\right)^{0,85} \quad \text{Equação 2}$$

$$R = \sum_{j=1}^{12} El_{30} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

El_{30} = médias mensais do índice de erosividade (MJ.mm (ha.h) – 1);

r^2 = média total mensal de precipitação(mm);

p = média anual de precipitação (mm)

Em relação à análise destes dados, considerou-se um intervalo de 5 anos anteriores e posteriores às datas das imagens analisadas, totalizando um intervalo de tempo de 10 anos de erosividade pluvial. Para a imagem mais antiga e a mais recente, o intervalo utilizado de dados foi diferente: para a imagem de 1962, foi considerado apenas um ano anterior pelo fato de não haver dados anteriores à 1961 da estação meteorológica; enquanto para a imagem de 2023, foi considerado apenas os 5 anos anteriores e até o mês de realização do sobrevoo.

3.6.2 Fator K

Para o Fator K, fator que diz respeito à pedologia, foi consultado o Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Governo do Estado de São Paulo (Rossi, 2022) a fim de determinar a erodibilidade do solo para área de estudo. Também foi consultado o

trabalho de Lima (2009) para a verificação da pedologia de Franca. Com base nesses dados, um *raster* constante foi criado contendo o valor da erodibilidade que será inserido na Equação 1.

De acordo com Lima (2009), a área de interesse, bem como a maior parte do município de Franca, pertence a uma região de Latossolo, solos frágeis e de alta porosidade. Dessa forma, foi utilizado para o Fator K um valor de erodibilidade média a alta do Latossolo Vermelho Distroférrico de textura média de $0,0434 \text{ t.ha}^{-1}$. MJ1.mm^{-1} (Rossi, 2022), tendo em vista os intensos processos erosivos da área de estudo.

3.6.3 Fator LS

As análises da morfologia do terreno, ou Fatores L.S, foram obtidos por meio do produto dos dois fatores, como apresentado pela Equação 4 de Desmet e Govers (1996) que implementaram o fator de forma mais prática baseada em MDE e em ambiente SIG.

$$L.S = 0.977 + 0.398 * L * S \quad (\text{Equação 4})$$

Esses dois fatores foram obtidos individualmente, sendo que ambos são baseados nos pixels do MDE e seus subprodutos. O MDE foi criado por meio das curvas de nível e pontos cotados da área (ICG, 1992) utilizando o método de interpolação *Triangulated Irregular Network* (TIN). O MDE foi posteriormente suavizado utilizando o método vizinho mais próximo com a ferramenta “Neighbor” do Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo, 2021). A declividade foi gerada na ferramenta GDAL, utilizando o MDE, enquanto o fluxo acumulado e direção de fluxo foram gerados, respectivamente, pelas ferramentas “r.watershed” do pacote GRASS e “fill sink (wang & liu)” da extensão SAGA. O cálculo da Equação 4 foi realizado no *software* SAGA 9.4.1 com a ferramenta “LS factor (one step)”, que utiliza a declividade e o fluxo acumulado (Conard.O, 2019 apud SAGA, 2024). Dessa forma, o Fator L foi calculado pela Equação 5, que usa dados de área de contribuição e direção de fluxo, enquanto o fator S foi obtido por meio da Equação 6, utilizando gradientes de direção.

$$L_{i,j-in} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{(D^{m+1}) * (X_{ij}^m) * (22.13)^m} \quad (\text{Equação 5})$$

$$S_{i,j} = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

L_{ij-in} = Comprimento da inclinação para célula de grade (ij)

A_{ij-in} = Área de contribuição na entrada da célula de grade com coordenadas (i, j) (m²)

D = Tamanho da célula de grade

X_{ij} = $\sin \alpha + \cos \alpha$ (sendo α referente à direção de fluxo)

m = expoente de comprimento do Fator L da Equação USLE

$S_{i,j}$ = Gradiente de declividade

G_x = gradiente na direção x (m/m)

G_y = gradiente na direção y (m/m)

3.6.4 Fator CP

A análise dos Fatores C e P foi realizada de forma integrada pelo fato do trabalho aprofundar-se no estudo de fenômenos por meio da utilização de técnicas de geoprocessamento (Stein et. al, 1987 apud Xavier et. al, 2018). Os valores atribuídos aos Fatores C.P em relação à vegetação, juntamente da referência utilizada, são apresentados na Tabela 1.

Classe de Vegetação	Valor C.P	Referência
Floresta	0.00004	Stein et al (1987) apud OLIVEIRA (2012)
Vegetação Secundária	0.00004	Stein et al (1987) apud OLIVEIRA (2012)
Cobertura Residual Total De Porte Alto a Médio	0.00070	Stein et al (1987) apud OLIVEIRA (2012)
Cobertura Residual Parcial de Porte Médio a Baixo	0.25000	Stein et al (1987) apud OLIVEIRA (2012)
Cobertura Residual Total e Parcial de Porte Baixo a Rasteiro	0.01000	Stein et al (1987) apud OLIVEIRA (2012)
Pastagem	0.1	STEIN et. al, 1987 apud XAVIER et. al, 2018
Erosão	1.0	STEIN et. al, 1987 apud XAVIER et. al, 2018

Tabela 1: Valores dos C.P para as classes de vegetação e suas respectivas referências.

As imagens foram classificadas utilizando o *plugin dzetsaka*, um classificador semi-automático e especializado na identificação e diferenciação de tipos de

vegetação (Karasiak, 2016). O método de classificação aplicado foi o *Random Forest* (Breiman, 2001), baseado na coleta aleatorizada de amostras de diferentes classes que determina a classificação dos *pixels* por meio dos resultados de diversas árvores de decisão (Santos; Silva, 2023). Nesse sentido, devido ao uso de um classificador semi-automático, para as áreas de cultivo perene de café que ocorrem na área de estudo não foram admitidos valores exclusivos de CP, a fim de conservar a natureza dos resultados do algoritmo, sem que houvesse a imposição de uma classificação restrita à estas áreas. Dessa forma, nos locais de ocorrência destas culturas, houve a classificação de um maior valor CP, referente à área de erosão, ou, houve uma classificação de um CP relacionado ao tipo de vegetação.

4. RESULTADOS

4.1. Análise temporal e dos processos erosivos

Com base nas imagens obtidas, como ilustra a Figura 5, é visível que os processos erosivos nas áreas selecionadas estão presentes em todas, em diferentes intensidades ao longo do tempo. Nas imagens de 1962, percebe-se que há um grande avanço dos processos erosivos, principalmente devido às áreas de pastagem presentes. As áreas de erosão foram reduzindo gradativamente até 1990, quando houve um avanço da vegetação que reduziu as áreas de erosão. Também é possível observar um grande aumento na vegetação ao entorno das erosões nos anos de 2016 e 2023.

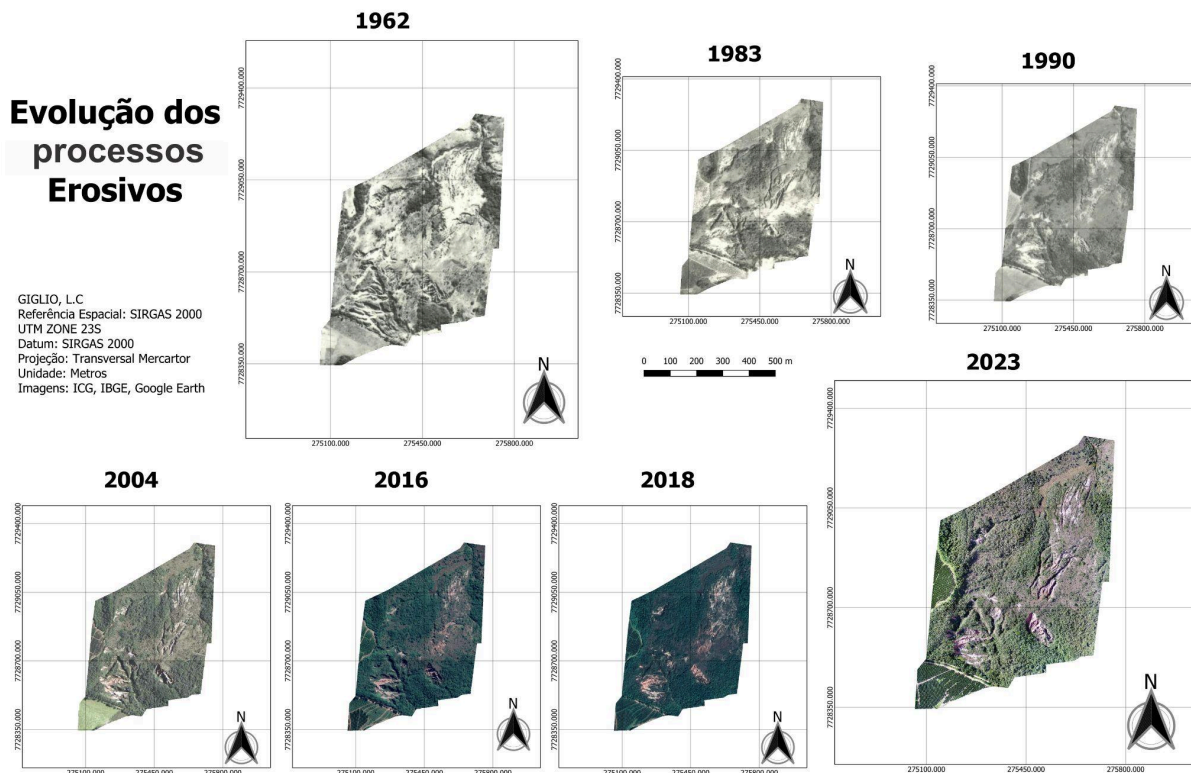


Figura 5: Evolução dos processos erosivos da área de estudo de 1962 a 2023.

4.2. Análise dos fatores

Em relação a Equação 2, seus dados e resultados encontram-se no Anexo 1 e 2, enquanto os valores da Equação 3 são apresentados abaixo na Tabela 2. Assim, observando a erosividade pluvial e o percentual das áreas de erosão no local de estudo, pode-se concluir que nos anos de maior fator R, como em 1962, 1983, 2004 e 2023, houve um aumento dos processos erosivos, ilustrando que a

erosividade pluvial contribui significativamente no avanço dos processos erosivos. Vale destacar que para o ano de 2023, apesar da significativa taxa de erodibilidade, a erosão calculada se manteve estável, possivelmente devido à evolução da cobertura vegetal da área.

Anos	1962	1983	1990	2004	2016	2018	2023
Fator R	9507,5	9275,2	8984,8	9922,9	8794,62	9290,01	10018,8

Tabela 2: Valores dos Fatores R.

A Figura 6 representa graficamente o comportamento do Fator R em relação ao aumento de erosão na área de estudo, juntamente da variação de áreas afetadas por erosão em relação à área total analisada, isto é, o percentual de pixels com erosão em relação ao total de pixels classificados na área de estudo. No primeiro ano analisado, 31,33% da área era afetada por processos erosivos, decaindo gradualmente, mas sofrendo um aumento de 14,33% no ano de 2004, acompanhando o comportamento da erodibilidade hídrica. Outro aumento ocorreu em 2018 com 11,82% de áreas de erosão em relação à 2016, em mesmas circunstâncias. Essa variação acompanhou os valores do Fator R, entretanto, em 2023, mesmo com o aumento de 7,84% deste fator em relação ao ano anterior, não houve avanço das áreas afetadas por erosão, assim como 2004 e 2018, indicando que outros fatores acabaram por minimizar o efeito da erodibilidade pluvial.

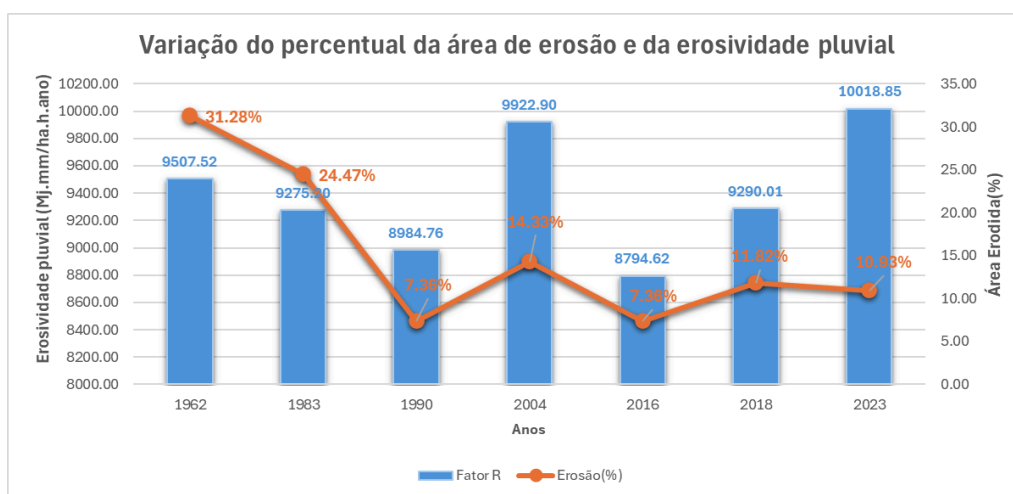


Figura 6: Gráfico da variação do percentual da área de erosão e da erosividade pluvial.

Em relação à topografia, os maiores valores obtidos do Fator L.S ocorreram nas áreas de maior elevação, principalmente na porção Oeste da área de estudo onde as altitudes variam entre 1035 e 1015 metros, gerando variações entre 15,00 a acima de 21,00. Nas áreas próximas aos córregos, também houve valores intermediários deste fator, oscilando no intervalo de 9,00 a 15,00.

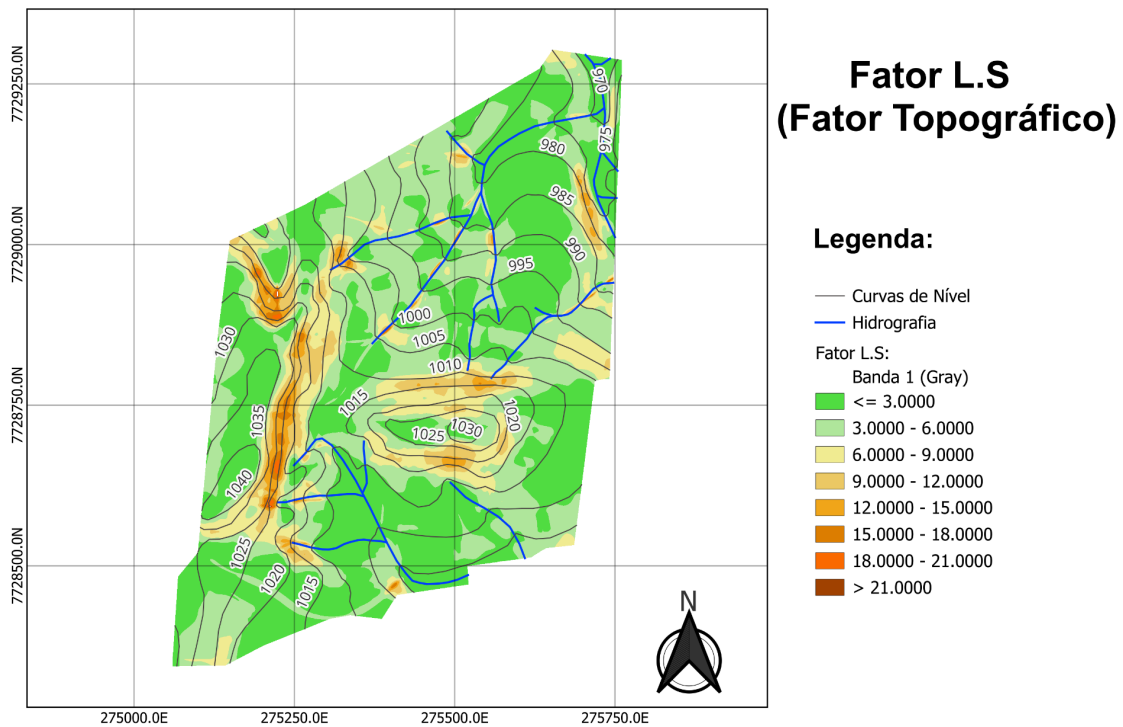


Figura 7: Fator topográfico L.S.

Com base na classificação semiautomática das imagens obtidas, conforme a Figura 8, percebe-se que houve uma transição de usos e de vegetação ao longo do tempo, sendo mais perceptível entre os anos 1983 e 1990, quando houve um aumento de áreas de floresta e uma redução de pastagens. Por meio destes resultados de área, foi possível elaborar o gráfico de variação das classes de uso de solo em relação à área de estudo total, como ilustra a Figura 9.

Com base nesses dados, pode-se concluir que há uma influência direta do aumento de áreas de floresta e vegetação secundária na redução de áreas com processos erosivos, sendo perceptível este comportamento nos anos de 1990 e 2016. Nesses dois anos, ocorreu o aumento de 531% das áreas de floresta e vegetação secundária, resultando na minimização de áreas erodidas. Em relação aos anos de maiores valores de áreas afetadas pelas erosões, as áreas de cobertura vegetal residual de porte médio e baixo eram superiores às áreas de

florestas, como em 1962, 1983 e 2018, ou atingiram valores próximos aos desta classe, como em 2004.

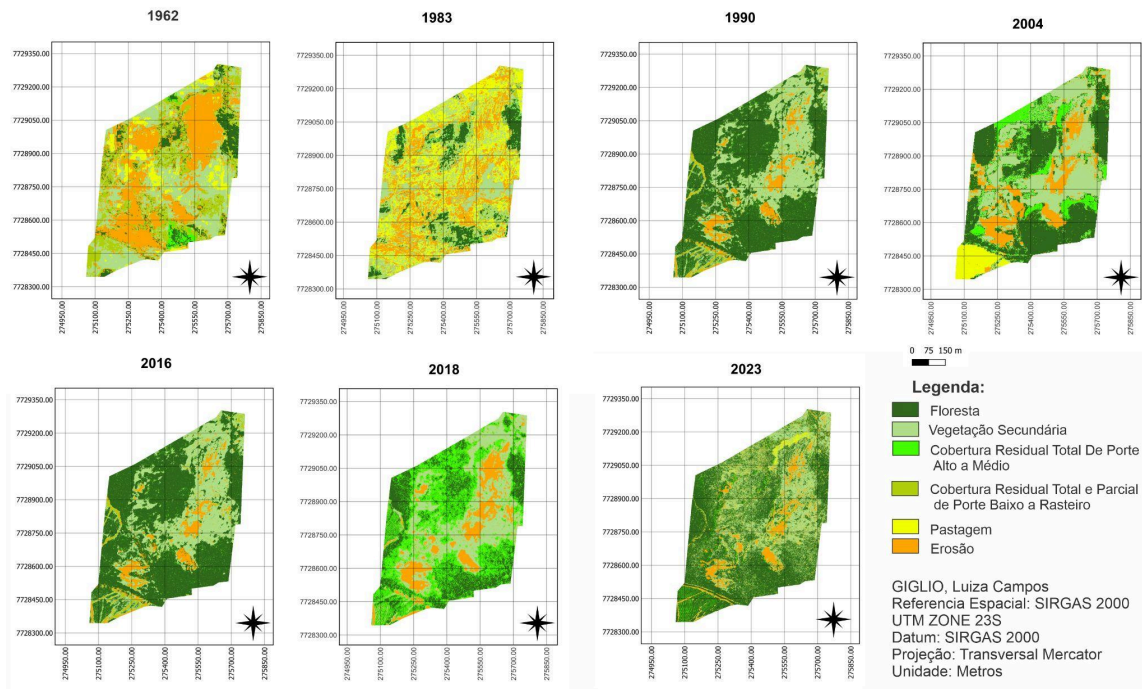


Figura 8: Classificação dos fatores C.P de 1962 a 2023

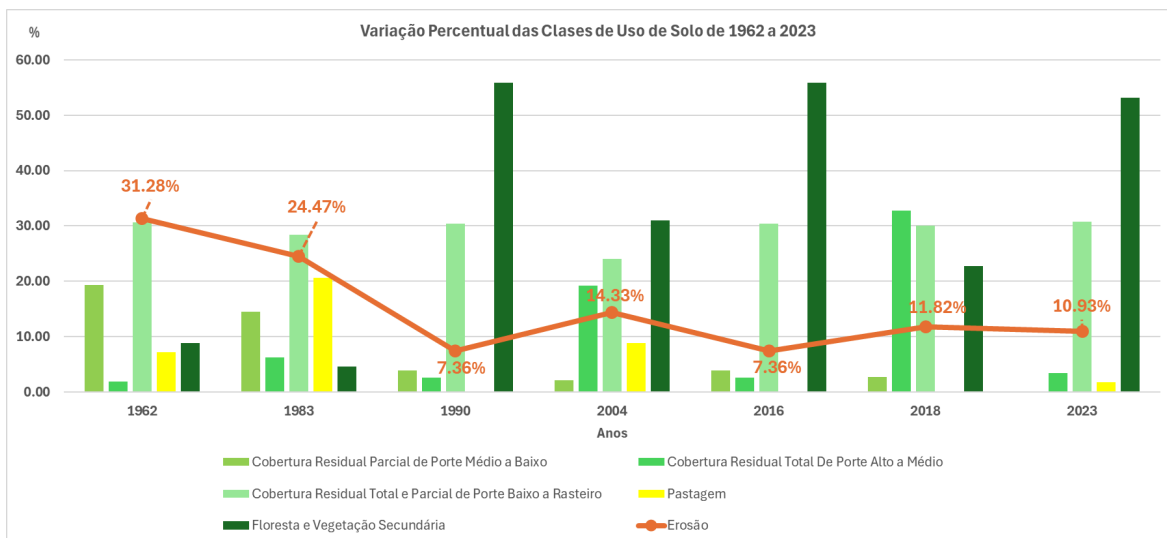


Figura 9: Gráfico do Percentual de Classes de Uso do solo de 1962 a 2023.

Avaliando as áreas selecionadas a partir da Figura 10, e analisando apenas a variação de áreas de floresta e vegetação secundária em relação às áreas de erosão, na Área 5 ocorreu o maior aumento de vegetação constante, mesmo nos anos de 1990 e 2018 se comparado às demais áreas, evidenciando maior

regeneração de vegetação. As Áreas 1 e 2 também apresentaram aumento desta classe. Entretanto, com valores inferiores à Área 5, as Áreas 3 e 4 apresentaram predominância de áreas com processos erosivos em relação à regeneração de vegetação.

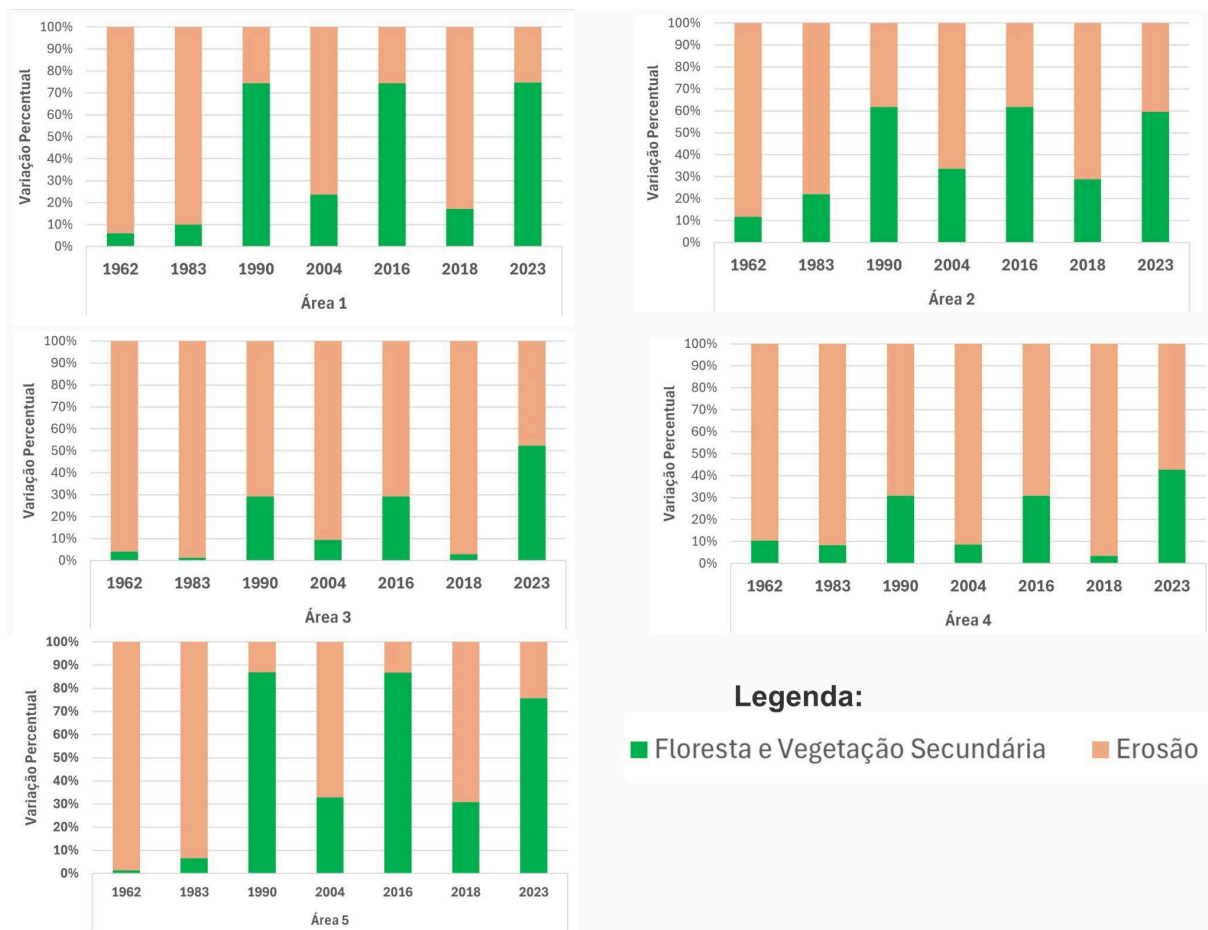


Figura 10: Variação Percentual de áreas de Floresta e Vegetação Secundária e de Erosão nas Áreas Seleccionadas.

4.3. Resultados da equação EUPS

A partir das informações dos fatores da Equação EUPS, foi efetuado o produto destes de acordo com a Equação 1. Os resultados obtidos são apresentados pela Figura 11. Nota-se que a área de estudo varia entre as quatro classes, visto que nos anos de 1962 e 1983 houve o predomínio das classes muito fortes e média a forte, e posteriormente a concentração destas classes próximo dos das áreas seleccionadas para análise.

Por meio destes resultados, foi elaborado um gráfico de variação destes ao longo do tempo, conforme expõem a Figura 12. É possível notar que no ano de 1990, as áreas de erosão nula aumentaram 133,68%, marcando uma inversão

positiva acerca do cenário da perda de solo. Entretanto em 2004, as áreas de erosão muito forte e forte a média alcançaram seus picos, principalmente para a classe muito forte que registrou um aumento de 499,37% de área. Atualmente, há o predomínio de áreas com erosão nula e moderada, mas, em comparação à 2018, houve um aumento de 137,93% de áreas com erosão muito forte.

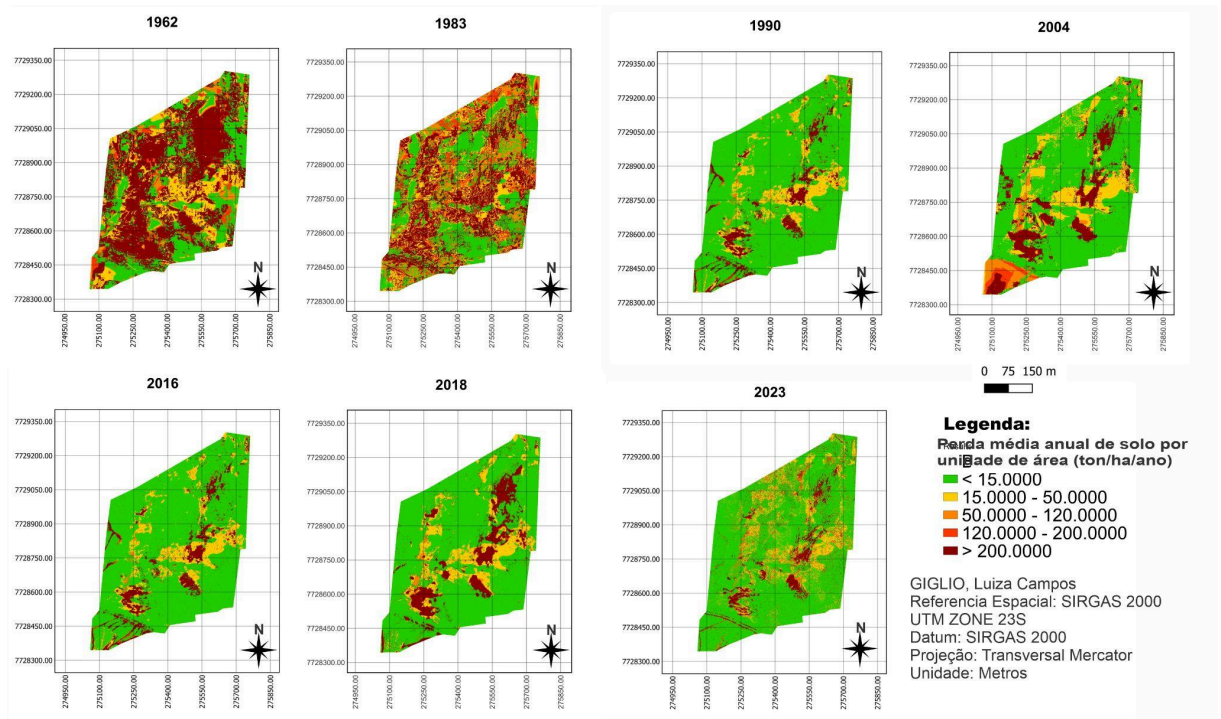


Figura 11: Perda média anual de solo por unidade de área desde 1963 a 2023. Classificação conforme CARVALHO (2008) apud BARBOSA et. al (2015).

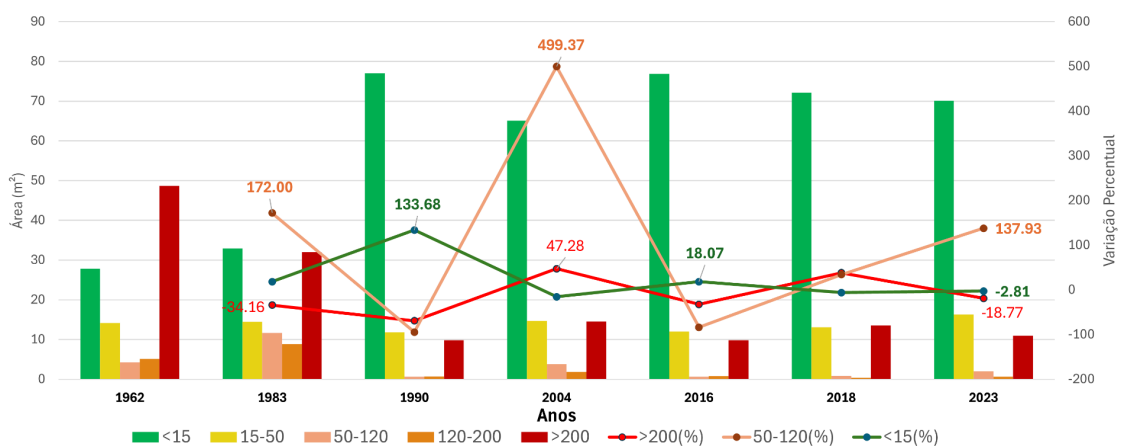


Figura 12: Variações das classes da perda de solo.

O aumento de áreas nulas e moderadas em 1990 de erosão coincide com o fato da erodibilidade hídrica (Fator R) ter sofrido uma queda de 3,13% em relação à 1983. Vale ressaltar que neste mesmo ano houve a transição de usos do solo,

gerando um aumento de vegetação secundária e de florestas, que apresentam menores valores do Fator C.P, contribuindo para minimização do avanço das erosões. O mesmo pode ser observado em 2016, porém em menor intensidade, encadeado por uma queda de 11,37% do Fator R, mantendo um valor aproximado de florestas e vegetação secundária encontrada em 1990.

4.4. Análise da Perda de Solo das Áreas Selecionadas

Em relação às áreas selecionadas, o Fator R e o Fator K atuaram sobre elas de forma homogênea e constante. O Fator L.S impactou as Áreas 1 e 3 que atingiram valores maiores, variando entre 9,0 a 20,0. O comportamento deste fator para as demais áreas foi de menor intensidade em comparação aos da Área 1 e 3, sendo que as Áreas 2 e 4 atingiram valores no intervalo de 8,0 a 14,0, enquanto a Área 5 obteve valores inferiores à 14,0.

Analisando as áreas selecionadas, diferentes oscilações ocorreram ao longo dos anos, como indica a Figura 13. Observa-se o mesmo comportamento ilustrado pela Figura 13: no ano de 1990 houve um aumento de erosões nulas a moderadas para todas as áreas, assim como em 2016 com menor intensidade. A Figura 13 ilustra o comportamento das cinco áreas selecionadas. Em relação ao ano de 1990, a Área 5 apresentou o maior aumento, com um pico de 646,71%. Já em 2016, todas as áreas tiveram um pequeno aumento, sendo o menos significativo na Área 3

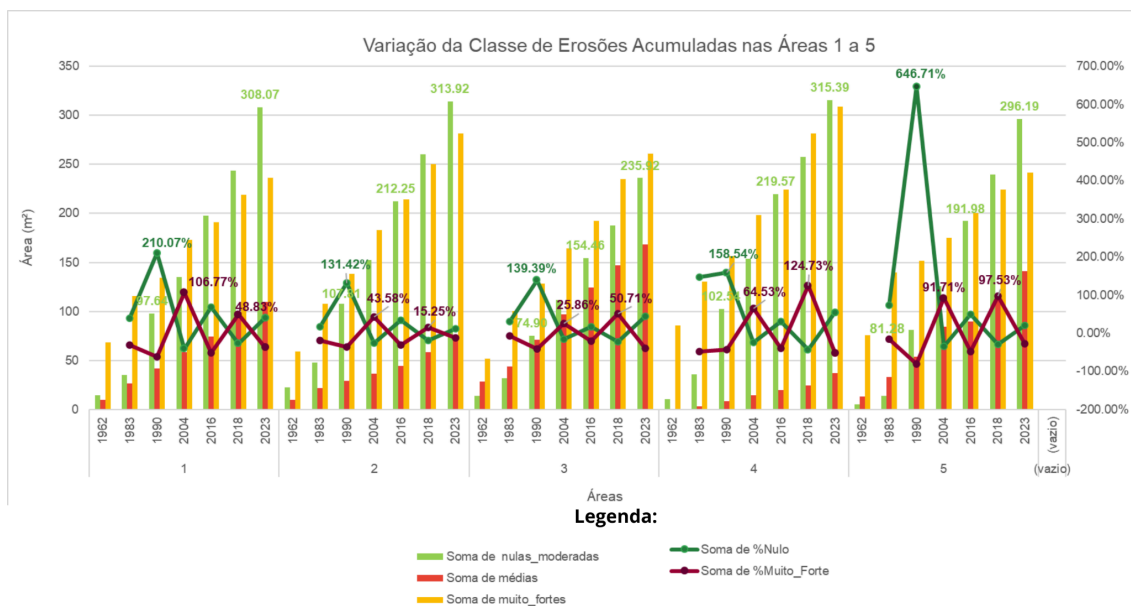


Figura 13: Variação das Classes de Erosão nas Áreas 1 a 5.

Avaliando a Área 1, a maior área impactada pelos processos erosivos, além do aumento em 1990 de áreas de erosão nulas e moderadas, com uma expansão de 210,07% desta classe, em 2016 houve um pico de 68,19% após um crescente aumento. Essa evolução se deve ao fato de ter ocorrido um processo de regeneração de vegetação secundária e de floresta ao redor desta área. Percebe-se que em 2004 essa foi a área que registrou o maior avanço da classe muito forte, com um aumento de 106,77% e no ano de 2023 verificou-se outro aumento de 40,71% ao ano de 2018 desta mesma classe.

Já a Área 2 demonstrou o menor expansão de 131,42% áreas nulas e moderadas em 1990, porém alcançou o segundo maior aumento de erosões muito fortes em 2023, além de um aumento da cobertura residual de porte baixo e rasteiro de forma menos intensa do que ocorreu na Área 4. Em relação à Área 3, constatou-se os menores valores da classe muito forte em 1962, 1983, 1990 e 2004 devido à forte presença de restauração da vegetação, assim como ocorreu na Área 1. Por causa desses processos, as erosões médias se destacaram mais nesta área do que as demais e, no ano de 2023, foi verificado um aumento de 44,32% de erosões muito fortes.

Quanto à Área 4, nessa decorreu a maior variação de dados. Apenas nos anos de 1990, as erosões muito fortes tiveram valores menores em relação aos demais e nos anos de 2004 e 2018 apresentaram aumentos de 64,53% e 124,73%, respectivamente. Entre 1983 e 1990, as áreas de erosão nula e moderada aumentaram e percebe-se que também ocorreu a regeneração da vegetação

secundária similar a Área 1, mas menos intensamente. Evidencia-se também na Área 4 que há o predomínio de cobertura residual de porte baixo e rasteiro. E, por fim, a Área 5 foi também registrou valores significativos de erosões médias, possivelmente devido a ação da regeneração de vegetação próxima.

4.5. Análise do Cálculo Volumétrico

A partir da densificação e seleção da nuvem de pontos no *software Agisoft Metashape*, foram obtidos o MDS e o MDT. E por meio desses produtos, foi efetuada a subtração, gerando o volume de solo perdido, conforme mostra a Figura 14.

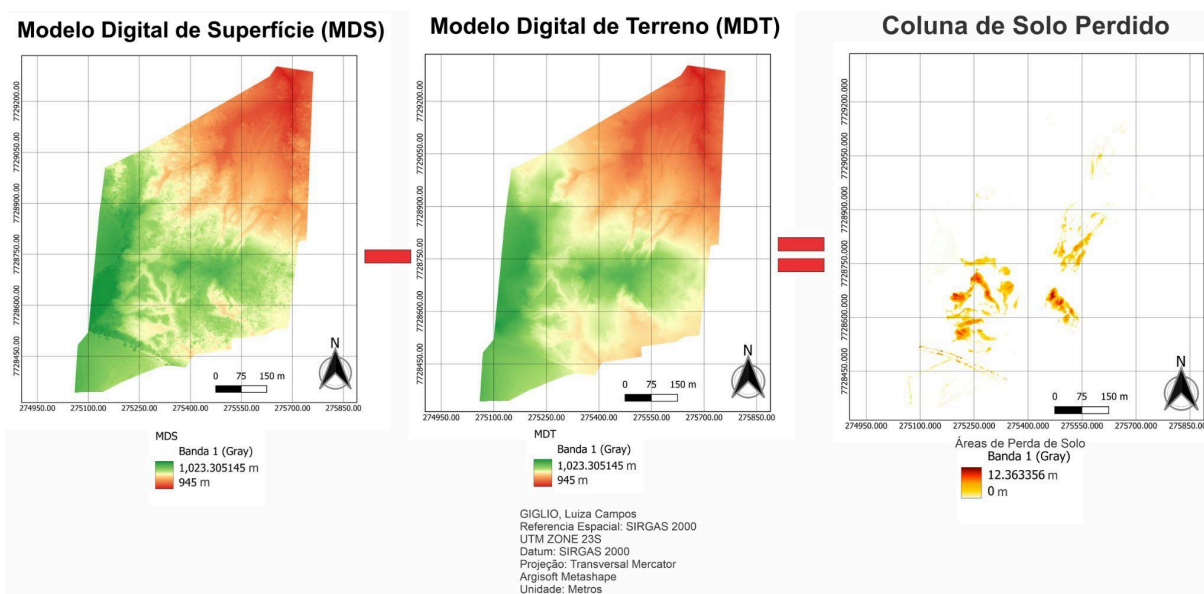


Figura 14: MDT e MDS da área de estudo e coluna de solo perdido (em metros).

O volume total calculado a partir do MDE de solo perdido foi de 260.595,863 ton. Assim, ao aplicar os procedimentos descritos anteriormente nos *rasters* resultantes da Equação EUPS, a Tabela 3 apresenta os resultados total do volume de solo perdido ao longo dos anos analisados por esse método, que totalizam 279.955,246 ton, um valor um pouco superior ao calculado por meio da diferença entre MDS e MDT.

Volume de solo perdido calculado a partir da Equação EUPS		
Ano	Valor (ton)	Valor (ton)*anos
1962	5667,708357	34006,250
1983	4400,87664	44008,766
1990	3513,757035	35137,570
2004	6005,745084	60057,451
2016	3439,378186	34393,782
2018	4744,194603	47441,946
2023	4151,580125	24909,481
Total:		279955,246 ton

Tabela 3: Volume de solo perdido da área de estudo calculado a partir da Equação EUPS.

Em relação às áreas selecionadas, as Tabelas 4 e 5 apresentam o volume de solo perdido calculado por ambos métodos. Percebe-se que a Área 1 foi a área de maior perda de volume de solo em ambos os métodos, sendo esta a maior área selecionada e a que apresentou maiores variações de vegetação em seu entorno. A Área 2 apresentou um valor próximo em ambos métodos, entretanto as demais áreas em análise apresentaram resultados significativamente diferentes. Área 5 apresentou a maior diferença entre os métodos, possivelmente devido à interferência da regeneração da vegetação sobre o local.

Assim, pode-se concluir que em áreas onde os processos erosivos ocorrem com maior intensidade até se tornarem voçorocas, como nas Áreas 1 e 2, o cálculo utilizando MDE obtido por ARP obtém resultados próximos ao da EUPS. Já para áreas em que há vegetação regenerante ou processos erosivos menos intensos, os resultados de volume de solo perdido através do MDE distanciam-se do calculado pela EUPS.

Massa de solo perdido nas áreas selecionadas calculadas pela Equação EUPS								
Áreas	1962	1983	1990	2004	2016	2018	2023	Total (ton)
Area1	20352,00	21211,55	12571,92	30202,55	12305,57	19871,43	9932,86	126.447,88
Area2	4831,10	5304,41	6468,73	8306,60	6331,83	7725,87	4607,81	43.576,36
Área 3	335,46	643,24	188,80	416,77	184,81	404,48	443,42	2.616,98
Área 4	4196,78	9247,08	11945,68	15937,49	11692,88	14716,05	6964,95	74.700,90
Área 5	1619,00	1449,98	1416,85	2285,26	1386,87	2424,81	1091,54	11.674,30
Massa Total de Solo Perdido nas Áreas:								259.016,42

Tabela 4: Volume de solo perdido nas áreas selecionadas calculado a partir da Equação EUPS em toneladas.

Massa de solo perdido nas áreas selecionadas calculadas pelo MDE de volume de solo perdido	
Áreas	Massa de solo Perdido (ton)
Area1	152.130,230
Area2	47.217,406
Área 3	42.072,934
Área 4	4.073,808
Área 5	752,263
Total:	246.246,642 ton

Tabela 5: Total de solo perdido nas áreas selecionadas calculado a partir do MDE de solo perdido em toneladas.

Com base nos resultados, percebe-se que o cálculo por meio da EUPS superestima a perda de solo se comparado aos resultados baseados em subprodutos obtidos por VANT. Nesse sentido, outros trabalhos também apresentaram resultados similares, como os autores: Bagarello et al. (2017) que demonstram que a EUPS tem superestimação na perda de solo para áreas pequenas e subestima áreas grandes; Risse et al. (1993), que indica discrepância da EUPS devido à sensibilidade dos dados de entrada, principalmente dos fatores L.S e Fator C.P; e Schürz et al. (2019) que também aponta grande sensibilidade dos fatores de entrada da EUPS e aponta a ocorrência de maior perda de solo superestimadas em áreas de alta declividade.

Nesse sentido, tendo em vista que a variação do Fator C.P influencia de forma significativa nos processos erosivos, a forma de análise deste fator também pode ter influenciado nos resultados. Considerar o entorno da área de estudo na análise, por exemplo, poderia ter exercido efeito nos resultados e na dinâmica dos processos erosivos de forma indireta. Além disso, o tamanho dos *pixels* utilizados para a classificação deste fator também podem ter interferido no resultado pelo fato das imagens mais antigas terem sido reamostradas conforme a imagem mais recente e de maior resolução. Caso fossem reamostrados com base na imagem mais antiga, os resultados poderiam ser diferentes, entretanto essa hipótese não foi testada.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo realizar a avaliação de processos erosivos em uma área com vegetação em regeneração utilizando técnicas já consagradas como a EUPS, e avaliando os fatores que mais influenciam nesse processo, bem como testar técnicas de fotogrametria para essa mesma finalidade.

Os resultados obtidos ao longo deste trabalho demonstram que o uso do solo, bem como o tipo de vegetação presente, influenciam diretamente na dinâmica dos processos erosivos, sendo que sua variação refletiu significativamente no volume de perda de solo. Em um panorama geral da área de estudo, percebe-se que os anos de avanço de vegetação de floresta e vegetação secundária (1990 e 2016), apresentaram redução das erosões. Esse fator também atua sob o comportamento das erosões nas áreas selecionadas, sendo que nas áreas em que houve maior regeneração desta mesma vegetação (Área 5), se observou uma queda nos processos erosivos. Quanto à erosividade pluvial, esse fator também influencia diretamente na intensidade dos processos erosivos, mas foi um fator que atuou de forma homogênea em toda área de estudo. Foi observado que nos anos que este fator registrou maiores valores (1962 e 2004), houve aumento dos processos erosivos, enquanto nos anos de maiores queda deste fator (1990 e 2016), houve a redução dos processos. Em relação à topografia da área de estudo, esse fator influencia nos resultados da EUPS, convergindo apenas nos maiores valores de perda de solo nas áreas de maior elevação e atuando de forma menos intensa. Pelo fato de ocorrer apenas um tipo de solo na área de estudo, esse fator atuou de forma constante na análise.

Avaliando as metodologias aplicadas, o cálculo volumétrico baseado nos produtos de VANT obteve um valor de perda de solo próximo ao calculado pela EUPS, mas inferior à esse. O cálculo volumétrico apresentou melhores resultados em áreas onde os processos erosivos eram mais intensos (Área 1 e 2) e certa interferência em locais onde a regeneração de vegetação era predominante (Área 5). Dessa forma, assumindo que o cálculo volumétrico apresenta um valor mais próximo do real em termos do solo perdido, os resultados indicam que o cálculo da EUPS aparentemente superestima a perda de solo. Por outro lado, é importante

ressaltar as eventuais limitações no cálculo volumétrico causadas pela própria vegetação em regeneração, mas que estimam-se inferiores às limitações da EUPS.

Portanto, dentre os fatores analisados, a erosividade pluvial e o uso de solo e vegetação foram os que mais influenciaram na dinâmica dos processos erosivos. Além disso, pode-se concluir que o cálculo volumétrico de solo perdido utilizando MDE obtido por VANT em áreas de ocorrência de intensos processos erosivos até se tornarem voçorocas foi próximo ao resultado obtido pela EUPS. Entretanto, os resultados de volume de solo perdido a partir desse método para áreas de regeneração de vegetação distanciam-se do cálculo obtido pela EUPS. Dessa forma, o cálculo volumétrico utilizando produtos de VANT podem ser aplicados em áreas fortemente afetadas por erosões e apresentam um valor mais real em relação à EUPS, que superestima a perda de solo para essas áreas.

Por fim, este trabalho contribuiu para o desenvolvimento de uma metodologia que permite comparar resultados obtidos por VANT com a Equação EUPS, como também em um método para efetuar o cálculo volumétrico de perda de solo. Além disso, a metodologia estruturada pode ser replicada em outras áreas de trabalho, contribuindo para novos estudos. Para futuros trabalhos, as análises temporais podem ser continuadas a fim de acompanhar os processos erosivos na área de estudo a fim de melhor compreensão destes processos, além de analisar áreas próximas da área de estudo para analisar como o entorno influencia na dinâmica dos processos erosivos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT METASHAPE. **Agisoft Metashape: Installer**. 2025. Disponível em: <https://www.agisoft.com/downloads/installer/>. Acesso em: 23/02/2025.

BAGARELLO, V.; STEFANO, C.Di; FERRO, V., PAMPALONE, V. **Predicting maximum annual values of event soil loss by USLE-type models**. Catena, vol. 155 (2017): 10-19. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2017.03.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816217300851>. Acesso em: 23/02/2025.

BARBOSA, Amanda Fernandes; OLIVEIRA, Everton Falcão de; MIOTO, Camila Leonardo; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. **Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos**. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, v. 38, ed. 1, jan 2015.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2021. *E-book*.

BOLLELI, Talyson de Melo; SANTOS, Bruno César dos; SANCHES, Rafael Grecco; MOREIRA, Rodrigo Martins; BOURSCHEIDT, Vandoir; SOUZA, Paulo Henrique; MAUAD, Frederico Fábio. **Análise espaço-temporal e extrema da erosividade da chuva na região centro-leste do Estado de São Paulo, Brasil**. Revista do Departamento de Geografia, 2023. ISSN: 2236-2878.

BREIMAN, Leo. Random forest Machine learning, v. 45, p.5-32, 2001.

CONGEDO, Lucas. **Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS**. 2021. Journal of Open Source Software, 6(64), 3172. DOI: <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

CONGO, N.P; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R.A. **Perda de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classe de declive e níveis de fertilidade do solo**. Revista brasileira de Ciências do Solo, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/JCtmNdm5N7LhFn3BfmqPbHG/?lang=pt>. Acesso em: 20/12/2024.

CPRM. **GeoSGB**: Dados, informações e produtos do serviço geológico do Brasil. 2023. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

DESMET, P.J.J; GOVERS, Gerard. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units**. Journal of Soil and Water Conservation, 1996. Disponível em: [233425999_A_GIS_procedure_for_automatically_calculating_the_USLE_LS_factor_on_topographically_complex_landscape_units](https://doi.org/10.21105/joss.03172). Acesso em: 16/06/2024.

FAGERIA, Nand Kurma; STONE, Luís Fernando. **Qualidade do Solo e meio Ambiente**. EMBRAPA Documentos: 197, 2006. ISSN: 1678-9644.

GUERRA, Antonio José Teixeira; JORGE, Maria do Carmo de Oliveira. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Editora Oficina de Textos, 2013. ISBN 9788579750793.

HERNANI, Luiz Calos; FREITAS, Pedro Luiz de; PRUSKI, Fernando Falco; MARIA, Isabella Clerici de; CASTRO FILHO, Celso de; LANDERS, John Nicolas. **A Erosão e**

seus impactos. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro, Brasil: Embrapa Solos, 2002.

HYSLOP, Kevin; TÔSTO, Sergio Gomes; QUARTAROLI, Carlos Fernando. **ESTIMATIVA DO FATOR TOPOGRÁFICO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO (USLE) UTILIZANDO O INVEST, NA BACIA PIRIRIM, AMAPÁ.** 13° Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, Campinas, São Paulo, 2019. ISBN: 978-85-7029-3. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1111429/1/5079.pdf>. Acesso em 26/12/2024.

IBAMA. **Em Dia com a Natureza: Manual para Projetos de Recuperação da Vegetação Nativa.** Brasília, 2021. ISBN 987-65-5799-018-6. Disponível em: https://ecokidsecoteens.mpba.mp.br/wp-content/uploads/2021/08/manual-ibama-v2_6_3.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

IGC. **SERRA DE SÃO ROQUE.** São Paulo, 1992. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. Articulação: SF-23-V-A-V-2-NO-B 019/097. Escala 1:10.000. INMET. **Portal INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20/06/2024

JULIAN, Carolina; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. **USO DE VANT E GEOPROCESSAMENTO PARA CÁLCULO DE SOLO ERODIDO EM VOÇOROCA LOCALIZADA NO DISTRITO DE AMADEU AMARAL. MARÍLIA/SP - BRASIL.** 2020. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, n° 4. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/1818/386386517> Acesso em: 17/12/2024.

KARASIAK, Nicolas. **Dzetsaka QGIS Classification plugin.** 2016. DOI: 10.5281. Disponível em: <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>. Acesso em: 15/06/2024

LIMA, Meire Mateus de. **ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO E REGIÃO DE FRANCA-SP.** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Ecologia) - Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, 2009. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119652/lima_mm_tcc_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 17 jul. 2023.

LOMBARDI NETO, Francisco; MOLDENHAUER, William Calvin. **EROSIVIDADE DA CHUVA: SUA DISTRIBUIÇÃO E RELAÇÃO COM AS PERDAS DE SOLO EM CAMPINAS (SP).** VIII. CONSERVAÇÃO DO SOLO, Bragantia, Campinas, 1992.

MAPBIOMAS. **Plataforma: Cobertura.** 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

NEVES, Monique de Paula. **Suscetibilidade a processos erosivos lineares apoiada em análise estatística multivariada.** 2022. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16519>. Acesso em: 3 jul. 2023.

OLIVEIRA, André Luis Nascimento de. **Análise da erosão do solo por meio da fotogrametria digital – estudo de caso em uma propriedade rural do município de Capanema – PA.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) - Universidade Federal Rural da Amazônia, 2020.

Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1731>. Acesso em: 17 jul. 2023.

OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches; WENGLAND, Edson; NEARING, Mark A.. **Rainfall erosivity in Brazil: A review**. CATENA, 2013, vol. 100. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816212001713>. Acesso em: 23/12/2024.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; MIOTO, Camila Leonardo; PESSI, Dhonatan Diego; GAMARRA, Roberto Macedo; SILVA, Normandes Matos; RIBEIRO, Vinicius de Oliveira; CHAVES, Jéssica Rabito. **GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS**. 2020. UNIEDUSUL Editora. ISBN: 978-65-86010-62-6.

QGIS. **Download-QGIS Web Site**. 2025. Disponível em: <https://qgis.org/download/>. Acesso em: 23/02/2025.

RADEMANN, Lucas Krein; TRENTIN, Romario. **NOVAS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO GEOMORFOLÓGICO: EXEMPLO DE MORFOMETRIA DA VOÇOROCA DO AREAL, CACEQUI-RS**. GeoTextos, v. 16, ed. 1, Jul 2020.

RADEMANN, Lucas Krein; TRENTIN, Romario. **NOVAS GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO ESTUDO GEOMORFOLÓGICO: EXEMPLO DE MORFOMETRIA DA VOÇOROCA DO AREAL, CACEQUI-RS**. GeoTextos, v. 16, ed. 1, Jul 2020.

RENARD, K.G; FOSTER, G.R; WEESIE, G.A; MCCOOL, D.K; YODER, D.C. **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning**. Washington: USDA, 1997. Agricultural Handbook, 537. ISBN: 0-16-048938-5

RISSE, L.M.; NEARING, M. A; NICKS, A. D; LAFLEN, J. M. **Error Assessment in the Universal Soil Loss Equation**. Soil Science Society of American Journal, vol. 57 (1993). DOI: <https://doi.org/10.2136/SSSAJ1993.03615995005700030032X>.

ROSA, Roberto. **GEOTECNOLOGIAS NA GEOGRAFIA APLICADA**. 2005. Revista do Departamento de Geografia, 16, 81-90. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>. Disponível em: [Geotecnologias na Geografia aplicada | Revista do Departamento de Geografia](https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009). Acesso em: 12/12/2024.

ROSSI, Marcio; NALON, Marco Aurélio; KANASHIRO, Marina Mitsue. **Atlas de Suscetibilidades dos Solos do Estado de São Paulo**. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, 2022.

SAGA 9.4.1. **Tool Library Documentation, LS Factor (One Step)**. Disponível em: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/9.4.1/tc_ta_hydrology_ls_factor.html. Acesso em: 04/07/2024

SANTOS, Matheus Fellipe Gaia dos; SILVA, Mauricio Alves da. **CLASSIFICADOR SUPERVISIONADO RANDOM FOREST, APLICADO NA PLATAFORMA GOOGLE EARTH ENGINE**. 2023. XV Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, Anais. ISSN: 2175-8875. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/93766>. Acesso em: 15/12/2024.

Schürz, Christoph; Mehdi, Bano; Kiesel, Jens; Schulz, Karsten; Herrnegger, Mathew. **A systematic assessment of uncertainties in large-scale soil loss estimation from different representations of USLE input factors – a case study for Kenya and Uganda.** Hydrology and Earth System Sciences (2019). <https://doi.org/10.5194/hess-2019-602>.

SILVA, Maria Sonia Lopes Da. **ESTUDOS DA EROÇÃO.** EMBRAPA, Petrolina-PE. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/133340/estudos-da-erosao>. Acesso em: 23/02/2025.

SOUZA, Alessandra Ribeiro de; DUPAS, Francisco Antonio; DRUMMOND, Isabela Neves; COSTA, Carlos Wilmer. **ZONEAMENTOS DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL E EXPECTATIVA DE PERDA DE SOLO: É POSSÍVEL USAR A USLE NA DETERMINAÇÃO DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL?.** 2019. Revista de Geociências, UNESP, São Paulo. ISSN: 1980-900X. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/14083>. Acesso em: 15/12/2024.

SOUZA, C.K; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; PEREIRA, G.T. **Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 27, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/56F93KbC9Q9WB6MY6DshPGd/?lang=pt>. Acesso em: 23/02/2025.

WEIS, Maíra Guarlot; PESSI, Dhonatan Valença; LUIZ, Rodrigo Martins; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; SILVA, Normandes Matos. **Avaliação da qualidade de produtos gerados por levantamento de área utilizando uma aeronave remotamente pilotada e pontos de controle.** 2022. Research, society and Development, vol. 11, n° 4, ISSN: 2525-3409.

WISCHMEIER, W.H; SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning.** Washington: USDA, 1978. Agricultural Handbook, 537. Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf. Acesso em: 10/06/2024.

XAVIER, Joaquim Pedro de Santana; BARROS, Alexandre Hugo Cezar; WEBBER, Daniel Chaves; ACCIOLY, Luciano José de Oliveira; MARQUES, Flávio Adriano; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; SILVA, Ademar Barros da. **Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano.** Revista Brasileira de Geografia Física, 2018.

ZAIDAN, Ricardo Tavares. **GEOPROCESSAMENTO CONCEITOS E DEFINIÇÕES.** 2017. Revista de Geografia, PPGeo - UFJF, vol. 7, n° 2. ISSN 2236-837X.

ANEXO 1: VALORES DO FATOR R PARA CÁLCULO DO FATOR R

Anos	Valores do Fator r												
	Soma de PRECIPITAÇÃO TOTAL, MENSAL(mm) = VARIÁVEL r (mm)												
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Fator P
1961	348,7	360,1	157,8	78,8	60,3	1,6	0	10,7	0	119,1	99,6	238,6	1475,3
1962	373	246	349	66	39	36	0	17	68	288	168	444	2094
1963	239	197	80	3	5	0	0	0	4	122	129	63	842
1964	204	332	53	53	49	22	26	0	41	181	231	350	1542
1965	384	319	233	53	53	27	50	12	29	173	141	259	1733
1966	299	143	0	16	74	0	1	4	71	128	289	418	1443
1967	351	362	295	87	21	49	2	0	31	215	310	254	1977
1968	233	128	124	61	4	0	16	44	27	147	181	215	1180
1969	307	160	181	97	35	14	0	20	31	215	254	194	1508
1970	307	388	99	107	20	46	0	15	97	143	137	206	1565
1971	120	135	108	86	36	101	36	0	138	170	143	412	1485
1972	259	189	166	69	28	0	129	46	100	167	281	291	1725
1973	219	155	176	262	66	41	0	0	0	0	0	0	919
1974	209	98	273	49	16	41	0	6	27	0	0	0	719
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	118	325	157	150	95	10	91	101	231	193	127	327	1925
1977	379	21	214	116	35	64	0	56	158	164	244	209	1660
1978	396	110	62	58	160	37	81	0	61	153	314	318	1750
1979	330	188	97	92	100	0	27	37	92	131	221	258	1573
1980	217	259	121	200	22	110	0	27	131	46	290	337	1760
1981	278	77	139	73	6	14	2	0	25	390	236	398	1638
1982	358	241	349	35	37	39	33	20	77	239	200	300	1928
1983	377	387	380	124	72	39	37	0	241	333	208	232	2430
1984	163	150	161	68	62	0	0	44	86	74	211	384	1403
1985	471	126	318	30	13	0	0	11	27	54	220	243	1513
1986	318	236	262	41	138	1	74	81	52	52	100	360	1715

1987	224	249	150	69	86	24	20	7	116	179	149	193	1466
1988	207	303	163	211	41	30	2	0	17	231	98	146	1449
1989	364	289	233	72	47	52	29	28	67	43	211	336	1771
1990	195	285	127	25	67	0	27	61	35	143	123	160	1248
1991	481	216	388	88	10	0	47	0	35	107	100	208	1680
1992	505	179	172	115	34	0	30	13	159	326	55	202	1790
1993	132	425	213	104	21	50	0	41	97	95	129	311	1618
1994	236	206	230	91	68	19	7	0	1	230	211	178	1477
1995	279	318	136	124	87	16	5	0	52	164	185	293	1659
1996	199	272	248	74	58	30	12	48	116	191	238	232	1718
1997	450	152	147	61	96	84	0	0	46	121	215	182	1554
1998	195	361	168	108	75	3	0	59	39	236	146	249	1639
1999	201	215	197	23	22	25	0	0	74	55	118	290	1220
2000	525	426	156	10	8	0	28	28	122	29	194	172	1698
2001	256	141	235	47	35	0	5	61	50	148	223	363	1564
2002	251	337	136	19	31	0	29	8	67	46	227	312	1463
2003	517	132	239	144	125	0	0	23	28	83	207	253	1751
2004	250	314	102	140	108	15	31	0	5	169	198	403	1735
2005	412	116	256	78	145	16	17	1	61	157	321	366	1946
2006	235	332	157	20	3	21	10	27	40	346	355	464	2010
2007	487	181	120	77	45	0	75	0	6	67	200	283	1541
2008	342	216	208	152	45	12	0	52	27	123	148	421	1746
2009	348	232	226	59	92	28	20	27	132	250	215	401	2030
2010	426	186	195	36	33	9	2	0	101	148	217	272	1625
2011	270	150	351	130	1	35	0	25	14	167	164	315	1622
2012	346	146	206	52	30	96	37	0	85	83	184	269	1534
2013	257	284	257	108	125	81	11	20	66	107	148	261	1725
2014	131	115	75	144	12	7	59	0	46	22	221	256	1088
2015	217	245	198	135	83	30	11	0	139	143	241	294	1736
2016	378	188	334	11	36	66	0	28	2	189	215	157	1604
2017	390	197	184	68	117	8	0	5	21	140	169	287	1586
2018	299	258	221	40	22	18	2	64	62	222	429	216	1853
2019	128	269	286	187	94	10	8	56	101	119	249	171	1678

ANEXO 2: VALORES DO FATOR EI30 PARA CÁLCULO DO FATOR R

Anos	Calculo EI 30												EL30 (Soma de todos meses)
	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1962	2384,760	1175,248	2129,820	125,535	51,32 7	44,79 8	0,000	12,51 1	132,0 70	1536,40 9	614,562	3206,9 39	11413,979
1963	2427,342	1747,621	377,666	1,422	3,389	0,000	0,000	0,000	2,319	773,867	850,858	251,61 3	6436,097
1964	1108,841	2537,657	112,142	112,142	98,13 7	25,15 5	33,41 6	0,000	72,48 2	904,798	1369,741	2775,9 64	9150,474
1965	2942,755	2147,016	1258,624	101,545	101,5 45	32,26 3	91,96 9	8,128	36,43 1	758,699	535,875	1506,6 09	9521,460
1966	2247,163	641,305	0,000	15,488	209,2 61	0,000	0,139	1,467	195,0 44	531,191	2120,898	3971,8 53	9933,808
1967	2258,324	2379,955	1680,589	210,837	18,81 6	79,45 1	0,346	0,000	36,48 2	981,544	1828,433	1303,1 11	10777,888
1968	1744,919	630,271	597,155	178,785	1,741	0,000	18,37 7	102,5 98	44,72 9	797,461	1135,857	1522,0 03	6773,896
1969	2263,935	747,709	922,109	319,331	56,44 7	11,88 9	0,000	21,80 1	45,92 4	1235,58 9	1640,386	1037,5 08	8302,629
1970	2193,653	3266,229	320,341	365,582	21,12 4	87,04 0	0,000	12,95 4	309,4 17	598,555	556,490	1113,2 86	8844,672
1971	464,526	567,505	388,349	263,663	59,99 5	346,5 36	59,99 5	0,000	589,1 11	839,780	625,855	3782,0 53	7987,370
1972	1512,546	885,287	710,040	159,640	34,45 6	0,000	462,4 89	80,12 9	299,9 85	717,327	1737,400	1843,8 14	8443,114
1973	1942,257	1079,234	1339,440	2634,29 2	252,8 00	112,5 34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	7360,556
1974	2210,034	609,866	3480,381	187,708	28,00 0	138,6 38	0,000	5,285	68,15 0	0,000	0,000	0,000	6728,063
1975	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1976	362,079	2026,774	588,346	544,451	250,4 57	5,453	232,7 95	277,9 39	1134, 342	835,701	410,270	2048,0 23	8716,633

1977	2985,139	21,830	1129,747	398,893	52,02 3	145,1 39	0,000	115,6 64	674,5 20	718,642	1412,019	1085,2 42	8738,859
1978	3075,171	348,462	131,478	117,386	658,8 57	54,66 8	207,1 15	0,000	127,8 93	610,609	2072,850	2117,9 40	9522,429
1979	2469,586	948,896	308,079	281,572	324,4 52	0,000	35,03 2	59,85 4	281,5 72	513,466	1249,158	1625,1 89	8096,857
1980	1100,692	1486,941	407,774	958,153	22,48 0	346,7 78	0,000	31,84 2	466,7 08	78,772	1802,024	2326,2 42	9028,407
1981	1782,704	201,019	548,691	183,591	2,625	11,08 2	0,405	0,000	29,69 6	3169,66 1	1349,440	3280,9 85	10559,900
1982	2385,778	1217,469	2284,715	45,808	50,34 7	55,06 0	41,44 8	17,69 2	175,0 10	1200,34 3	886,706	1766,5 87	10126,964
1983	2139,857	2237,243	2168,885	323,163	128,2 54	45,22 9	41,35 7	0,000	1000, 077	1732,84 5	778,596	937,42 0	11532,925
1984	820,521	712,403	803,480	185,625	158,6 49	0,000	0,000	88,56 1	276,7 06	214,321	1272,480	3521,5 50	8054,295
1985	4673,501	496,749	2396,806	43,312	10,45 2	0,000	0,000	7,868	36,21 0	117,646	1281,225	1517,1 81	10580,949
1986	2154,624	1297,764	1550,092	66,218	521,2 42	0,120	180,6 92	210,7 03	99,18 6	99,186	301,471	2660,4 77	9141,776
1987	1356,993	1624,407	686,295	183,316	266,5 65	30,44 5	22,33 1	3,748	443,3 38	926,843	678,536	1053,4 24	7276,241
1988	1198,426	2290,415	798,327	1238,06 1	76,41 8	44,93 3	0,450	0,000	17,10 9	1444,11 6	336,160	662,00 5	8106,420
1989	2637,888	1782,011	1235,632	167,822	81,27 4	96,51 4	35,76 5	33,69 4	148,4 95	69,868	1043,913	2302,2 94	9635,171
1990	1229,267	2343,277	592,999	37,418	199,9 47	0,000	42,64 9	170,4 70	66,29 8	725,536	561,599	878,19 6	6847,656
1991	4431,019	1136,131	3075,182	246,875	6,121	0,000	85,00 1	0,000	51,49 6	344,199	306,801	1065,5 27	10748,353
1992	4560,790	782,159	730,875	368,664	46,44 7	0,000	37,54 5	9,060	639,4 70	2167,27 8	105,211	960,59 9	10408,099
1993	507,825	3706,801	1145,469	338,606	22,31 1	97,49 6	0,000	69,57 8	300,7 81	290,314	488,361	2179,8 71	9147,412

1994	1473,489	1169,420	1410,372	291,586	177,689	20,337	3,724	0,000	0,136	1410,372	1218,082	912,243	8087,451
1995	1774,302	2216,290	523,018	447,010	244,728	13,756	1,904	0,000	102,025	719,010	882,455	1928,303	8852,801
1996	969,729	1649,557	1409,834	180,424	119,242	38,878	8,189	86,439	387,417	904,392	1314,562	1258,722	8327,384
1997	4227,638	667,991	631,068	141,481	305,842	243,731	0,000	0,000	87,564	453,285	1204,431	907,314	8870,345
1998	975,072	2778,049	756,839	357,107	192,124	0,807	0,000	127,769	63,210	1348,740	596,180	1477,463	8673,361
1999	1319,463	1479,481	1275,136	33,106	30,696	38,147	0,000	0,000	241,356	145,741	533,536	2460,598	7557,259
2000	5095,580	3572,063	647,492	6,066	4,151	0,000	34,921	34,921	426,319	37,068	937,963	764,401	11560,947
2001	1611,672	584,711	1393,426	90,331	54,725	0,000	2,002	140,711	100,350	634,912	1274,638	2918,165	8805,643
2002	1649,520	2721,968	582,007	20,502	47,122	0,000	2	42,072	174,678	92,172	1390,452	2387,674	9112,879
2003	4836,270	474,845	1302,726	550,545	432,836	0,000	0,000	24,351	34,021	215,779	1020,296	1435,098	10326,767
2004	1417,305	2088,073	308,735	528,911	340,240	11,866	40,764	0,000	1,833	728,405	953,446	3191,419	9610,998
2005	3005,548	348,479	1338,463	177,484	509,242	12,012	13,316	0,108	116,858	582,945	1966,333	2457,629	10528,416
2006	1125,819	2025,760	567,130	17,077	0,679	18,554	5,256	28,443	55,482	2173,114	2270,081	3578,770	11866,164
2007	4870,088	905,297	450,138	211,725	84,957	0,000	202,461	0,000	2,764	167,134	1072,725	1935,417	9902,707
2008	2401,467	1099,521	1031,193	605,015	76,400	8,077	0,000	97,687	32,059	422,154	578,199	3419,100	9770,872
2009	2176,120	1092,264	1044,678	106,524	226,693	30,003	16,934	28,204	418,768	1240,213	959,718	2769,132	10109,252
2010	3708,009	906,393	982,208	55,572	47,931	5,264	0,408	0,000	320,989	614,596	1177,948	1729,464	9548,783

