

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Rafael Rodrigues da silva

**Estimativa de perda do solo na bacia hidrográfica do Rio Marombas, utilizando Google  
Earth Engine.**

Curitibanos, SC

2023

Rafael Rodrigues da Silva

**Estimativa de perda do solo na bacia hidrográfica do Rio Marombas, utilizando Google Earth Engine.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Alexandre ten Caten.

Curitibanos, SC

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Rafael Rodrigues da  
Estimativa de perda do solo na bacia hidrográfica do  
Rio Marombas, utilizando Google Earth Engine. / Rafael  
Rodrigues da Silva ; orientador, Alexandre ten Caten, 2023.  
34 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus  
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,  
Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Google Earth Engine. 3.  
RUSLE. 4. Solo. 5. SIG. I. ten Caten, Alexandre. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia Florestal. III. Título.

Rafael Rodrigues da Silva

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitibanos, 17 de novembro de 2023.



Documento assinado digitalmente  
**MARCELO BONAZZA**  
Data: 17/11/2023 16:24:50-0300  
CPF: \*\*\*.641.899-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
**Alexandre Ten Caten**  
Data: 17/11/2023 15:52:03-0300  
CPF: \*\*\*.593.590-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Alexandre ten Caten  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
**Eduardo Marques Martins**  
Data: 17/11/2023 15:57:23-0300  
CPF: \*\*\*.708.360-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Eduardo Marques Martins  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
**Caio Bustani Andrade**  
Data: 17/11/2023 16:06:20-0300  
CPF: \*\*\*.168.165-\*\*  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

M.e. Caio Bustani Andrade  
Avaliador  
Pós-mestrando - PPGEAN  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Elizeu e Leoni, por todo apoio, carinho e compreensão que sempre me deram.

A minha esposa Luana, por ser a minha inspiração diária, por sempre me apoiar e me motivar a ser uma pessoa melhor. Obrigado por tudo, meu amor!

Ao professor Alexandre tem Caten, por sua orientação e por ter me apresentado a esse fascinante mundo do sensoriamento remoto.

A todos os amigos que fiz durante o curso, sendo muitas vezes suporte e fonte de inspiração nos momentos difíceis.

Aos professores da UFSC, que se dedicaram a ensinar e instruir durante todos esses anos de curso.

Aos amigos que fiz durante o estágio, pelos momentos divertidos e de grande aprendizado que passamos juntos.

A todos os envolvidos nessa importante etapa de minha vida.

## RESUMO

O solo desempenha um papel vital na sustentação da vida na Terra, provendo funções essenciais como armazenamento de água e suporte à vegetação. No entanto, a degradação causada pela erosão pluvial tem levado à perda de fertilidade, assoreamento dos rios e à transformação de áreas férteis em terrenos improdutivos. Portanto, o presente estudo teve como objetivo realizar a avaliação das perdas de solo na sub-bacia do Rio Marombas no ano de 2023. Utilizando a Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE), foi calculada a taxa anual de perda de solo com base em vários fatores, incluindo erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento e inclinação da encosta, cobertura vegetal e práticas de manejo. A ferramenta de processamento dos dados foi o *Google Earth Engine*, os dados necessários foram obtidos de várias fontes geoespaciais, sendo destaque o *dataset* 'CHIRPS Daily' para precipitação e 'Sentinel-2 MSI' para obtenção do fator C, através do NDVI. Os dados foram processados através da linguagem *JavaScript*, tornando menos onerosas tarefas como a obtenção dos fatores "R" e "C", devido à complexidade do processamento ou tamanho dos dados. A análise mostrou que 42,29% da área de estudo possui baixa susceptibilidade à erosão, enquanto as classes moderada e moderada-alta representam 26,50% e 6,41%, indicativo problemático para a região estudada. A plataforma *Google Earth Engine* facilitou o processamento e análise de dados em grande escala. Os resultados destacam a importância das práticas de conservação do solo sustentáveis na região. A identificação das áreas mais vulneráveis à erosão fornece informações valiosas para estratégias de manejo do solo.

**Palavras-chave:** RUSLE. GEE. Erosão.

## ABSTRACT

Soil plays a vital role in sustaining life on Earth, providing essential functions such as water storage and support for vegetation. However, degradation caused by rainfall erosion has led to fertility loss, river silting, and the transformation of fertile areas into unproductive lands. Therefore, this study aimed to assess soil loss in the Marombas River sub-basin in the year 2023. Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), the annual soil loss rate was calculated based on various factors, including rain erosivity, soil erodibility, slope length and steepness, vegetation cover, and management practices. The data processing tool was Google Earth Engine, and the necessary data were obtained from various geospatial sources, with the 'CHIRPS Daily' dataset for precipitation and 'Sentinel-2 MSI' for obtaining the C factor through NDVI being noteworthy. The data were processed using the JavaScript language, making tasks such as obtaining the "R" and "C" factors less burdensome due to the complexity of processing or data size. The analysis showed that 42.29% of the study area has low susceptibility to erosion, while the moderate and moderate-high classes represent 26.50% and 6.41%, which is problematic for the region studied. The Google Earth Engine platform facilitated the processing and analysis of large-scale data. The results highlight the importance of sustainable soil conservation practices in the region. Identifying the areas most vulnerable to erosion provides valuable information for soil management strategies.

**Keywords:** RUSLE. GEE. Erosion.

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1      | OBJETIVOS .....   | 9         |
| 1.1.1    | Objetivo Geral.....   | 9         |
| 1.1.2    | Objetivos Específicos .....                                       | 9         |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                  | <b>10</b> |
| 2.1.1    | Fator R (Erosividade da Chuva): .....                             | 10        |
| 2.1.2    | Fator K (Erodibilidade do Solo): .....                            | 11        |
| 2.1.3    | Fator LS (Topografia): .....                                      | 11        |
| 2.1.4    | Fator C (Cobertura Vegetal e Manejo): .....                       | 11        |
| 2.1.5    | Fator P (Práticas de Conservação): .....                          | 11        |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>13</b> |
| 3.1      | ÁREA DE ESTUDO .....  | 13        |
| 3.2      | ESTIMATIVA DE PERDA DO SOLO .....                                 | 14        |
| 3.2.1    | Fator R.....  | 15        |
| 3.2.2    | Fator K.....  | 16        |
| 3.2.3    | Fator LS.....   | 16        |
| 3.2.4    | Fator C .....   | 17        |
| 3.2.5    | Fator P .....   | 18        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                | <b>18</b> |
| 4.1      | APLICAÇÃO DA RUSLE .....  | 18        |
| 4.2      | FATORES PARA A PERDA DO SOLO.....                                 | 19        |
| 4.3      | PERDA DE SOLO .....   | 21        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>   | <b>24</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>26</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – SCRIPT PARA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO .....</b> | <b>28</b> |



## 1 INTRODUÇÃO

Os profissionais das ciências agrárias do século XII se vêm diante de grandes desafios:

Com o avanço da fronteira agrícola, a mudança do uso da terra, o aumento do tamanho dos maquinários florestais e das atividades de colheita florestal, se faz necessário pensar no impacto da ação humana no meio rural de várias perspectivas.

A perda de solo está ligada a diversos fatores, como topografia, intensidade das chuvas, entre outros, dos quais dois fatores se destacam, sendo eles a cobertura vegetal e as práticas de manejo e conservação. Esses fatores apresentam uma característica especial dentre os demais: eles podem ser controlados (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012). Contudo, requerem esforço ou necessitam de investimento. Se faz necessário, então, conhecer na escala macro as áreas de maior suscetibilidade a perda de solo, a fim de destinar maiores esforços e recursos para essas áreas.

Com o avanço tecnológico, ferramentas como o Google Earth Engine têm revolucionado a maneira de processar e analisar dados geoespaciais. Esta plataforma, operando em escala planetária, armazena e processa dados maciços, até mesmo na escala de *petabytes* ( $10^{15}$  bytes), tornando possível o que antes era inimaginável – por exemplo, acessar dados de uso da terra do Brasil inteiro na palma da mão. O uso de linguagens de programação nestas ferramentas é um aspecto chave, pois aumenta significativamente a eficiência do processamento, minimiza erros humanos e melhora a precisão e confiabilidade dos dados. Esta eficácia é crucial para uma tomada de decisão mais confiável e ágil. Diante deste cenário, torna-se essencial que profissionais de Engenharia Florestal se aprimorem atualizem suas habilidades em programação. Compreender e utilizar essas ferramentas avançadas não só agiliza o trabalho, mas também abre novos horizontes para a análise e gestão ambiental.

Pensando nisso, o presente trabalho visa estimar a perda de solo da sub-bacia do Rio Marombas utilizando a ferramenta *Google Earth Engine*. O estudo lançou mão da Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE), combinadas com *datasets* já presentes no GEE.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Estimar a susceptibilidade à erosão dos solos da bacia hidrográfica do Rio Marombas, com a aplicação da Equação Universal Revisada de Perda de Solo (RUSLE).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- i) Desenvolver um script que possa ser utilizado para prever a perda de solo em qualquer bacia hidrográfica do Brasil, a partir dos *datasets* presentes no *Google Earth Engine*;
- ii) Facilitar o processamento de fatores, que envolvem elevado custo computacional para se obter pelos métodos convencionais, usando Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como os fatores relacionados a erosividade da chuva e a cobertura vegetal;

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 SOLO

O solo cumpre papel essencial para a vida na terra por apresentar diversas funções, sendo algumas, o armazenamento e distribuição de água, regulação do clima (armazenamento de carbono), manutenção da maior parte da biodiversidade de microorganismos e ser o substrato para o desenvolvimento das espécies vegetais. No entanto, com sua deterioração, principalmente devido a erosão pluvial, os solos brasileiros têm perdido as suas propriedades químicas e físicas, colocando em risco áreas férteis e transformando-as em solos improdutivos (GUERRA e JORGE, 2018).

Segundo Guerra *et al.* (2009), a erosão do solo é um fenômeno complexo que resulta da interação de vários fatores, incluindo a intensidade das chuvas, a capacidade do solo de ser erodido, a configuração do terreno e a forma como a terra é utilizada e gerida.

### 2.2 RUSLE

Entre as metodologias disponíveis para avaliar a erosão do solo, os modelos de previsão desempenham um papel crucial. A Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), em português, Equação Universal Revisada de Perda de Solo, é uma atualização da Universal Soil Loss Equation (USLE), inicialmente proposta por Wischmeier e Smith (1978), é amplamente utilizada para estimar a perda anual de solo devido à erosão hídrica. A RUSLE aprimora a USLE incorporando avanços no entendimento dos processos de erosão e é adaptada para incluir práticas de manejo do solo e cobertura vegetal (BARBOSA *et al.*, 2015).

A aplicação da RUSLE, combinada com ferramentas de sistemas de informações geográficas (SIG), como o *Google Earth Engine* (GEE) permite uma avaliação detalhada e espacializada da erosão potencial, facilitando o planejamento de intervenções para a conservação do solo e da água em bacias hidrográficas (LOPES *et al.*, 2011).

Os fatores considerados pela RUSLE são a erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), topografia (LS), cobertura vegetal e manejo (C), e práticas de conservação (P).

#### 2.1.1 Fator R (Erosividade da Chuva):

Este fator refere-se à força das chuvas, sendo um indicativo do potencial erosivo das precipitações em uma área específica. A erosividade é influenciada pela quantidade, intensidade e energia cinética das chuvas (SILVA, 2016).

### **2.1.2 Fator K (Erodibilidade do Solo):**

Representa a suscetibilidade do solo à erosão, que varia de acordo com a textura do solo, estrutura, permeabilidade, entre outros fatores edáficos. Solos com alta erodibilidade são mais propensos a serem deslocados pela água da chuva (CASSOL *et al.*, 2016).

### **2.1.3 Fator LS (Topografia):**

Este fator combina a inclinação do terreno (declividade) e o comprimento da encosta, que afetam a velocidade do escoamento superficial e, conseqüentemente, o potencial de erosão (SILVA *et al.*, 2017).

### **2.1.4 Fator C (Cobertura Vegetal e Manejo):**

Está relacionado ao tipo de cobertura vegetal e às práticas de manejo do solo, sendo esse o fator diretamente ligado ao uso da terra, ou seja, juntamente com o fator P, tem maior facilidade de ser alterado que aos demais fatores. A vegetação protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e ajuda a reduzir o escoamento superficial, devido a presença das raízes, caules, folhas e demais estruturas vegetais próximas ao solo, que atuam como barreira física para a água; enquanto práticas de manejo inadequadas, como o desmatamento, podem aumentar a vulnerabilidade do solo à erosão (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012; TEN CATEN *et al.*, 2012). Este fator varia de 0 a 1, sendo 0 quando não há cobertura vegetal (solo completamente exposto) e 1 quando o solo está completamente coberto por vegetação densa.

### **2.1.5 Fator P (Práticas de Conservação):**

Refere-se às práticas que podem ser adotadas para reduzir a erosão, como terraços, contornos e plantio direto. Estas práticas ajudam a interromper o fluxo da água e a diminuir a velocidade do escoamento, reduzindo assim a perda de solo (GUERRA *et al.*, 2014).

### 2.3 GOOGLE EARTH ENGINE

O *Google Earth Engine* (GEE), é uma plataforma baseada em nuvem que permite análises geoespaciais em escala planetária. Utiliza as capacidades computacionais do Google para abordar diversas questões ambientais, como desmatamento, seca, gestão de desastres e monitoramento climático. Foi projetado para atender não apenas a cientistas de sensoriamento remoto, mas também a um público mais amplo que não possui experiência técnica em supercomputação ou computação em nuvem em grande escala (GORELICK *et al.*, 2017). A ferramenta é capaz de armazenar e processar conjuntos de dados massivos, mesmo na escala de petabytes ( $10^{15}$  bytes), para análise e tomada de decisões (MUTANGA & KUMAR, 2019). A plataforma tem sido utilizada em diversas aplicações, incluindo gestão de água, proteção ambiental e análise de uso e cobertura do solo (VELASTEGUI-MONTOYA, 2023).

### 2.4 MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E EROSÃO

O manejo de bacias hidrográficas é essencial para a conservação do solo e da água, elementos fundamentais para a sustentabilidade ambiental e a produção agrícola. A erosão do solo nas bacias hidrográficas pode ser intensificada por práticas inadequadas de uso da terra, como o desmatamento ou queimadas, resultando em perda de solo, sedimentação de corpos d'água e redução da qualidade da água. Diferentes usos do solo têm impactos significativos na qualidade da água das nascentes, evidenciando a importância de práticas de manejo adequadas para a conservação dos recursos hídricos (SILVA *et al.*, 2017).

Além disso, a identificação das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas é crucial para o controle da erosão do solo e para o manejo dos sedimentos. A compreensão das dinâmicas de sedimentos permite a implementação de estratégias de conservação do solo mais eficazes, contribuindo para a sustentabilidade a longo prazo dos ecossistemas aquáticos e terrestres (CASSOL *et al.*, 2016).

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para estimar o potencial natural de erosão dos solos tem se mostrado uma ferramenta valiosa para o planejamento de medidas de manejo e conservação (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2012).

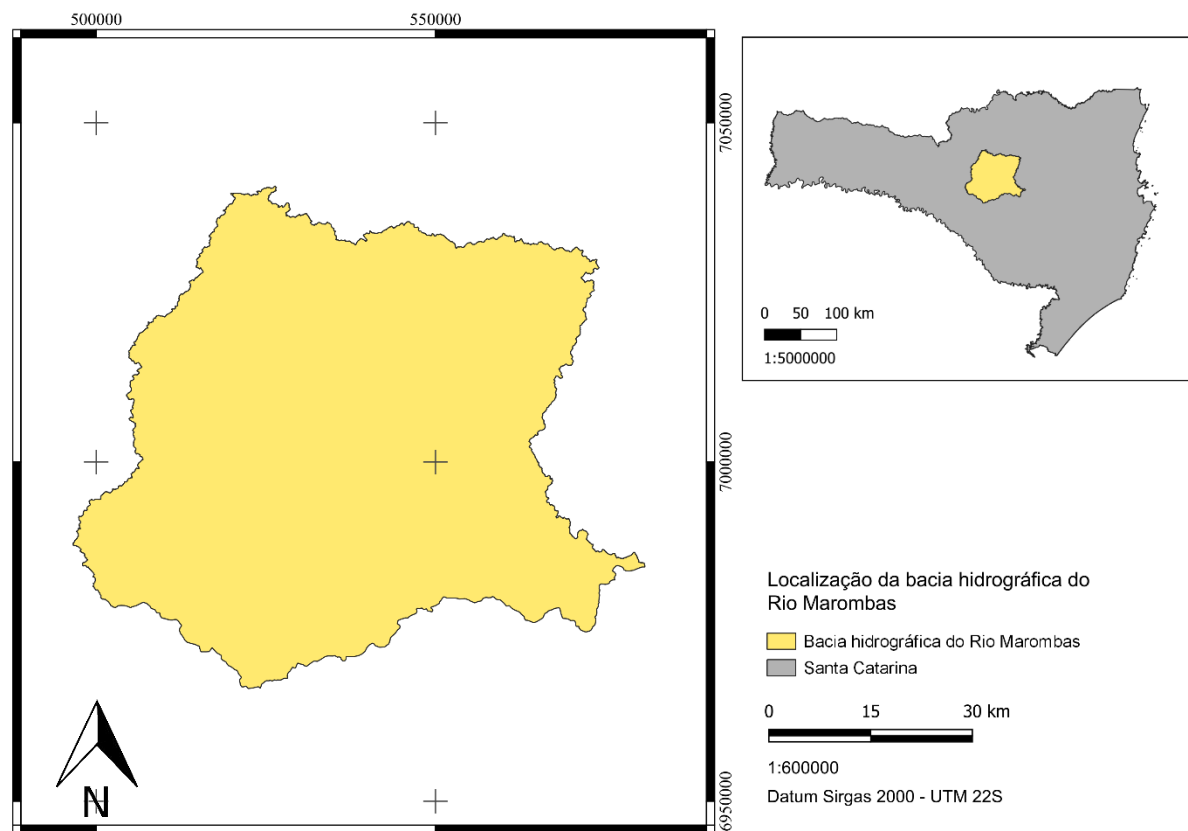
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho foi a sub-bacia hidrográfica do Rio Marombas, que faz parte da bacia hidrográfica do Rio Canoas. A sub-bacia do rio Marombas, com uma extensão de 3.886,53 km<sup>2</sup>, tem papel fundamental para a sociedade e meio ambiente, fornecendo água para irrigação de plantios agrícolas, abastecimento industrial, produção agropecuária e abastecimento público dos municípios de Brunópolis, Campos Novos, Curitibanos, Frei Rogério, Fraiburgo, Lebon Régis, Monte Carlo, Ponte Alta do Norte, Santa Cecília e São Cristóvão do Sul.

Os dados de extensão da área de estudo foram obtidos no *Google Earth Engine*, através do *dataset* “WWF HydroATLAS Basins Level 07”, onde a bacia hidrográfica (BH) do Rio Marombas corresponde ao ID “6070816040”, área representada na Figura 1.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio Marombas, no estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 ESTIMATIVA DE PERDA DO SOLO

O modelo RUSLE empregado, de acordo com os objetivos do estudo, possui a capacidade de quantificar e avaliar a erosão do solo com base em cinco fatores. Através da aplicação de uma multiplicação simples desses fatores (conforme demonstrado na Equação 1), é possível calcular a taxa média anual de perda de solo por unidade de área, expressa em toneladas por hectare por ano ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ). Esse cálculo fornece uma medida importante para compreender o impacto da erosão do solo na região de estudo.

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Em que:

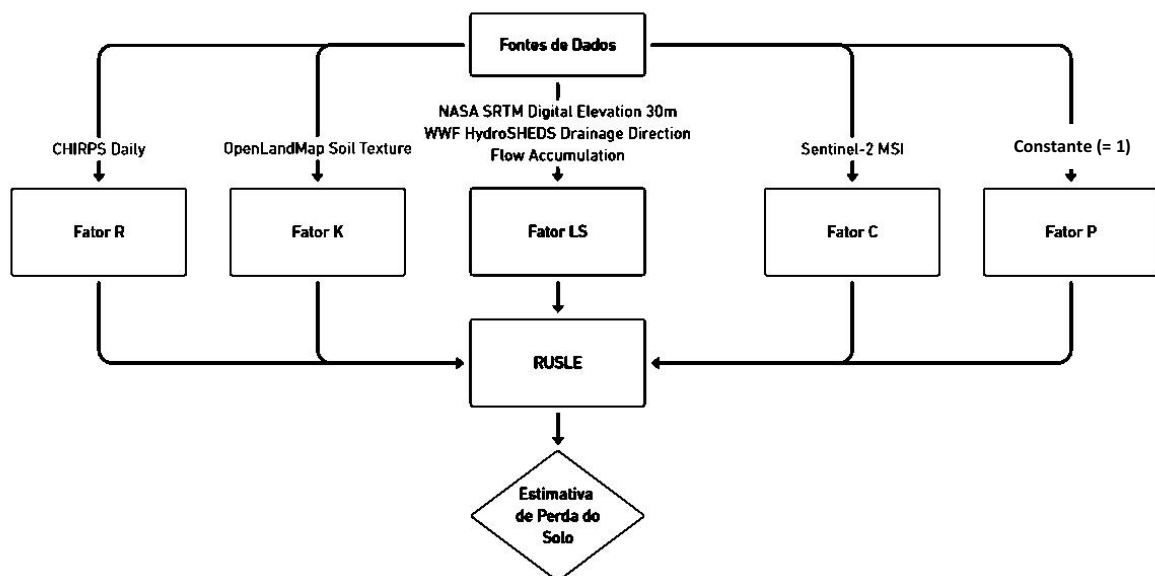
A - taxa de perda de solo média anual por unidade de área ( $t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ),

R - erosividade do solo ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ),

- K - erodibilidade do solo ( $\text{Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ),  
 L - comprimento da encosta (adimensional),  
 S - declividade da encosta (adimensional),  
 C - cobertura do solo e práticas de manejo do solo (adimensional, varia de zero a um),  
 P - práticas agrícolas conservacionistas (adimensional, varia de zero a um).

A equação e a fonte dos dados referentes a esse trabalho podem ser compreendidas com maior facilidade a partir do seguinte fluxograma:

Figura 2 – Fluxograma para o cálculo da RUSLE.



Fonte: Elaborado pelo autor

Será aplicada uma máscara para remoção das áreas urbanas e corpos d'água do cálculo final, já que essas áreas não apresentam erosão em sulcos e entre sulcos.

### 3.2.1 Fator R

Os dados de precipitação foram obtidos no *Google Earth Engine* através do *dataset* “CHIRPS Daily”, com resolução espacial de 5566 m, posteriormente foram devidamente processados, a fim de obter a precipitação média mensal e anual de uma série temporal de 30 anos, para posteriormente realizar o cálculo do fator R através da seguinte equação proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1980).



$$EI = 67,355 * (r^2/P)^{0,85} \quad (2)$$

Onde:

EI - média mensal do índice de erosão (MJ mm ha<sup>-1</sup> L),

r - precipitação média mensal (mm),

P - precipitação média anual (mm).

O índice de erosão médio anual, ou seja, o fator R, é a soma dos valores mensais dos índices de erosão (EI).

### 3.2.2 Fator K

Os dados de textura do solo foram obtidos através do *dataset* “OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System)”, com uma resolução espacial de 250 metros. Posteriormente foi definido um valor de K para cada classe textural, com base na literatura.

Tabela 1 - Fatores K para cada classe textural do *dataset* “OpenLandMap Soil Texture Class (USDA System)”

| Classe textural (USDA System)   | Fator K | Referência                    |
|---------------------------------|---------|-------------------------------|
| <i>Clay</i> (Cl)                | 0.0288  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Silty Clay</i> (SiCl)        | 0.0341  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Sandy Clay</i> (SaCl)        | 0.0277  | Gianinetto <i>et al.</i> 2019 |
| <i>Clay Loam</i> (ClLo)         | 0.0394  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Silty Clay Loam</i> (SiClLo) | 0.0423  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Sandy Clay Loam</i> (SaClLo) | 0.0264  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Loam</i> (Lo)                | 0.0394  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Silty Loam</i> (SiLo)        | 0.0499  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Silt</i> (Si)                | 0.0561  | Gianinetto <i>et al.</i> 2019 |
| <i>Sandy Loam</i> (SaLo)        | 0.0170  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Loamy Sand</i> (LoSa)        | 0.0053  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |
| <i>Sand</i> (Sa)                | 0.0023  | Bouguerra <i>et al.</i> 2017  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.3 Fator LS

O fator "LS" é uma combinação do comprimento de declive (L) e da inclinação (S) do terreno. Matematicamente, é obtido multiplicando o comprimento do declive (L) pela medida

da inclinação (S). Isso resulta em um valor adimensional que reflete como a topografia afeta a erosão do solo.

O fator LS pode ser obtido com base no processamento de um dado MDE, o qual teve como fonte o *dataset* “NASA SRTM Digital Elevation 30m”, juntamente com os dados de direção e acúmulo de fluxo, provindos do *dataset* “MERIT/Hydro/v1\_0\_1”, com uma resolução espacial de 92,77m, então processados a partir das seguintes equações:

$$\beta = ((\text{sen}\theta)/0,0896)/(3 * (\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,56) \quad (3)$$

$$m = \beta/(1 + \beta) \quad (4)$$

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij}+D^2)^{m+1} - A_{ij}^{m+1}}{D^{m+2} * X_{ij}^m * 22,13^m} \quad (5)$$

$$S = \begin{cases} 10,8 * \text{sen}\theta + 0,03 & (S < 9\%) \\ 16,8 * \text{sen}\theta - 0,50 & (S \geq 9\%) \end{cases} \quad (6)$$

Em que:

$L_{ij}$  – fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j),

$A_{ij}$  – área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m<sup>2</sup>) [acúmulo de fluxo],

D – tamanho da grade de células (m) [tamanho do pixel],

$X_{ij}$  – valor da direção de fluxo,

m – coeficiente dependente da declividade,

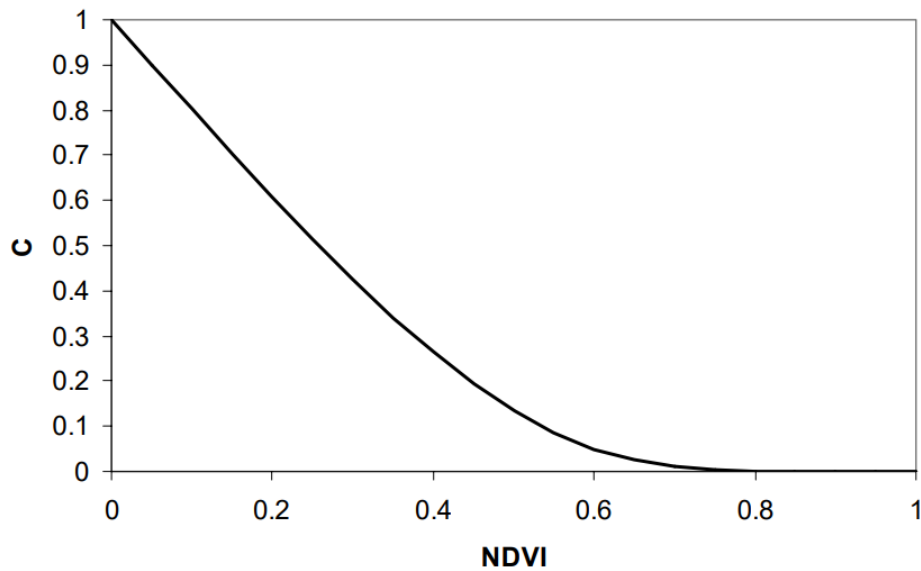
$\beta$  – quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos.

### 3.2.4 Fator C

Para o cálculo do fator C foi utilizado uma correlação entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Fator C, descrita por Van Der Knijff *et al.* (2000) (Equação 6). Para o cálculo do fator C, foi utilizado o NDVI médio de agosto de 2023, através dos dados provindos do *dataset* “Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C”, com uma cobertura de nuvem menor que 5%.

$$C = e^{\left(\frac{-2 * NDVI}{1 - NDVI}\right)} \quad (7)$$

Figura 3 – Relação entre NDVI e fator C



Fonte: Van Der Knijff *et al.* (2000)

### 3.2.5 Fator P

O fator "P" varia de 0 a 1, sendo 1 quando não há práticas de conservação implementadas e valores menores de acordo com a adoção de práticas conservacionistas do solo.

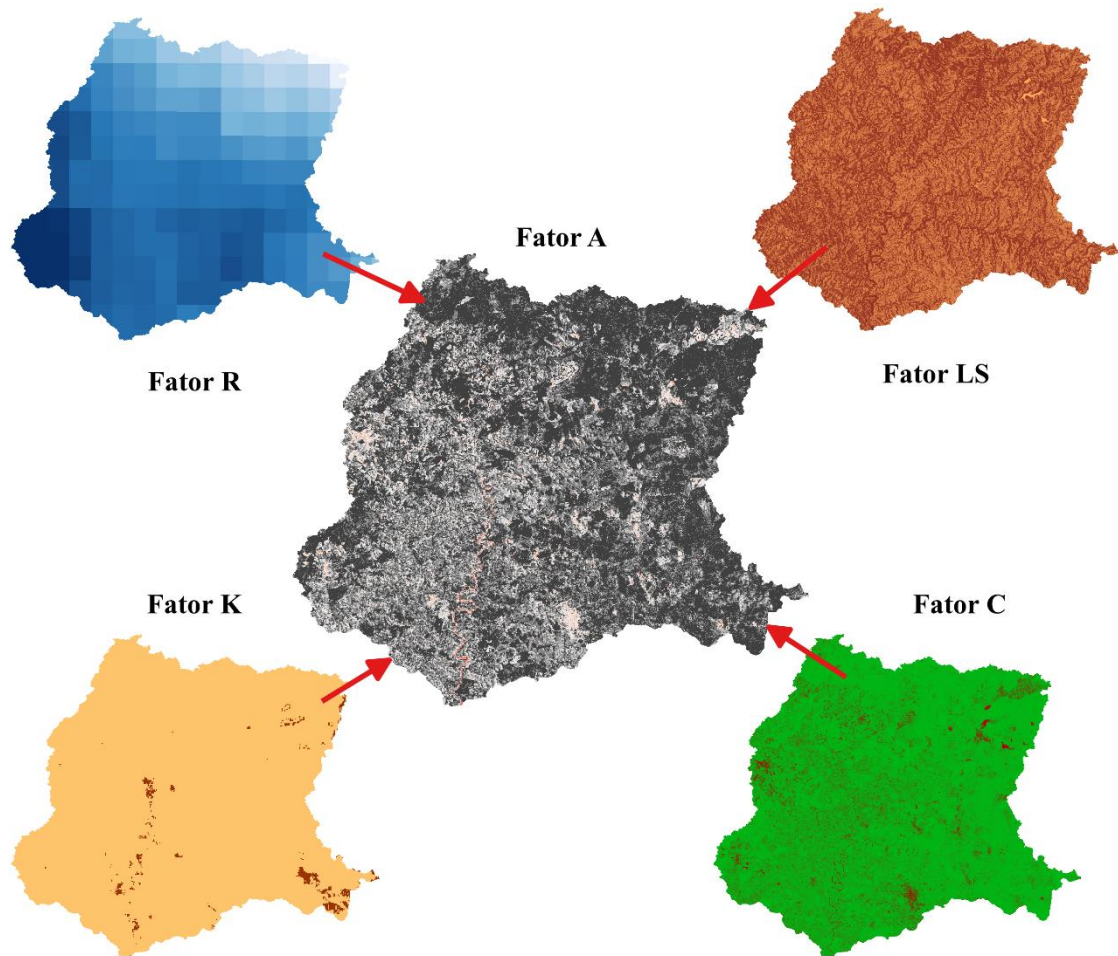
A obtenção do valor do fator "P" pode ser um desafio quando se utiliza sensoriamento remoto. Isso ocorre porque muitas das práticas de conservação do solo não são facilmente identificáveis através de imagens de satélite ou outras técnicas de sensoriamento remoto. Por esse motivo, no presente estudo o fator P será considerado "1" para toda a área de estudo. Assim, podendo superestimar a perda de solo em algumas áreas.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 APLICAÇÃO DA RUSLE

Após o processamento dos fatores, os mesmos foram multiplicados, tendo como resultado o fator A, retornando, portanto, a perda de solo estimada (t/ha/ano). O código do processamento dos dados em *JavaScript* pode ser consultado através do Apêndice A.

Figura 4 – Demonstração dos fatores usados no cálculo da RUSLE, para a área de estudo.

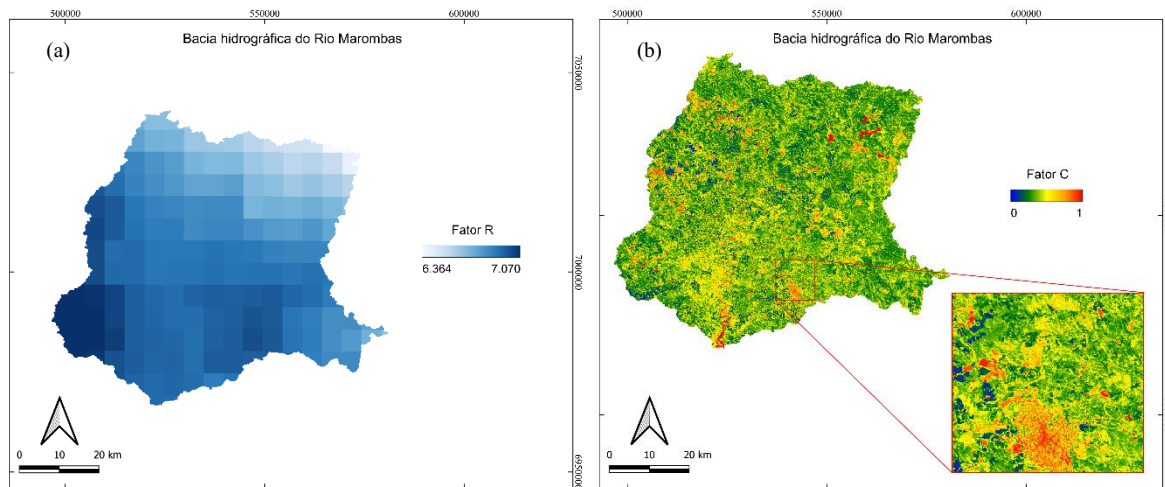


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 FATORES PARA A PERDA DO SOLO

A utilização da ferramenta de processamento de dados geoespaciais em nuvem, *Google Earth Engine*, permitiu a fácil organização e utilização das bases de dados presentes na plataforma, podendo assim gerar rapidamente mapas que, apesar de apresentar menor escala, antes eram onerosos de se obter por meio de *softwares* como o QGIS, principalmente os referentes aos fatores “C” e “R”.

Figura 5 – Fator R (Figura 5a) e fator C (Figura 5b), para a área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

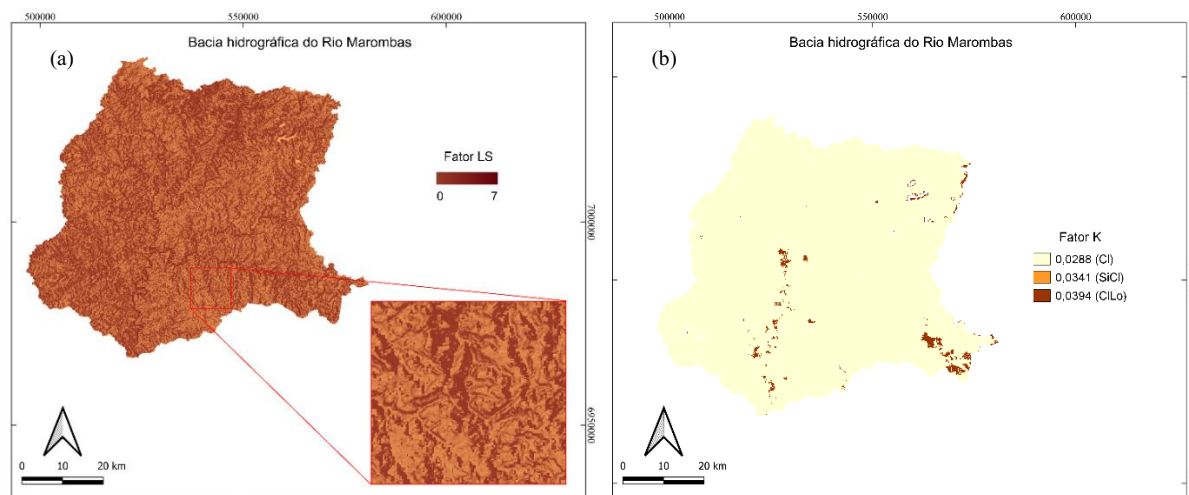
Os valores obtidos para o fator “R”, para uma série temporal de 30 anos, foram de 6.364 à 7.070, para a bacia hidrográfica do Rio Marombas, sendo seu mínimo encontrado na porção nordeste, enquanto o máximo localizado na região oeste do mapa. Schick *et al.* (2014) encontrou um valor médio de R de 5.033 ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), para a região de Lages-SC, com uma série histórica de 24 anos.

Enquanto isso, nota-se que os maiores valores de “C” se dão nas regiões urbanas, de solo exposto e em locais com superfície coberta por água, porém, como as áreas urbanas e corpos d’água não apresentam erosão real, essas serão retiradas do cálculo final do fator A; enquanto regiões preservadas e com maior cobertura do solo apresentam um coeficiente C próximo a zero. Para os dados de NDVI conseguiu se obter 2 imagens com cobertura de nuvem menor do que 5%, durante o mês de agosto de 2023.

O fator LS ainda se trata de um fator de maior facilidade de obtenção através dos softwares de processamento comuns, uma vez que esses podem disponibilizar de ferramentas próprias para o cálculo desse fator. Um exemplo é a ferramenta *LS-factor, field based*, instalada juntamente com o complemento SAGA, no *software* QGIS.

O mapa resultante desse fator apresenta valores mínimos próximos a zero, enquanto apresenta máximas próximas a 7, valores próximos aos obtidos por Fogaça (2022) e Guimarães *et al.* (2011), em estudos realizados em Curitiba-SC e na microbacia do Rio Campinas (Joinville-SC), respectivamente.

Figura 6 – Fator LS (Figura 6a) e fator K (Figura 6b), respectivamente, para a área de estudo.



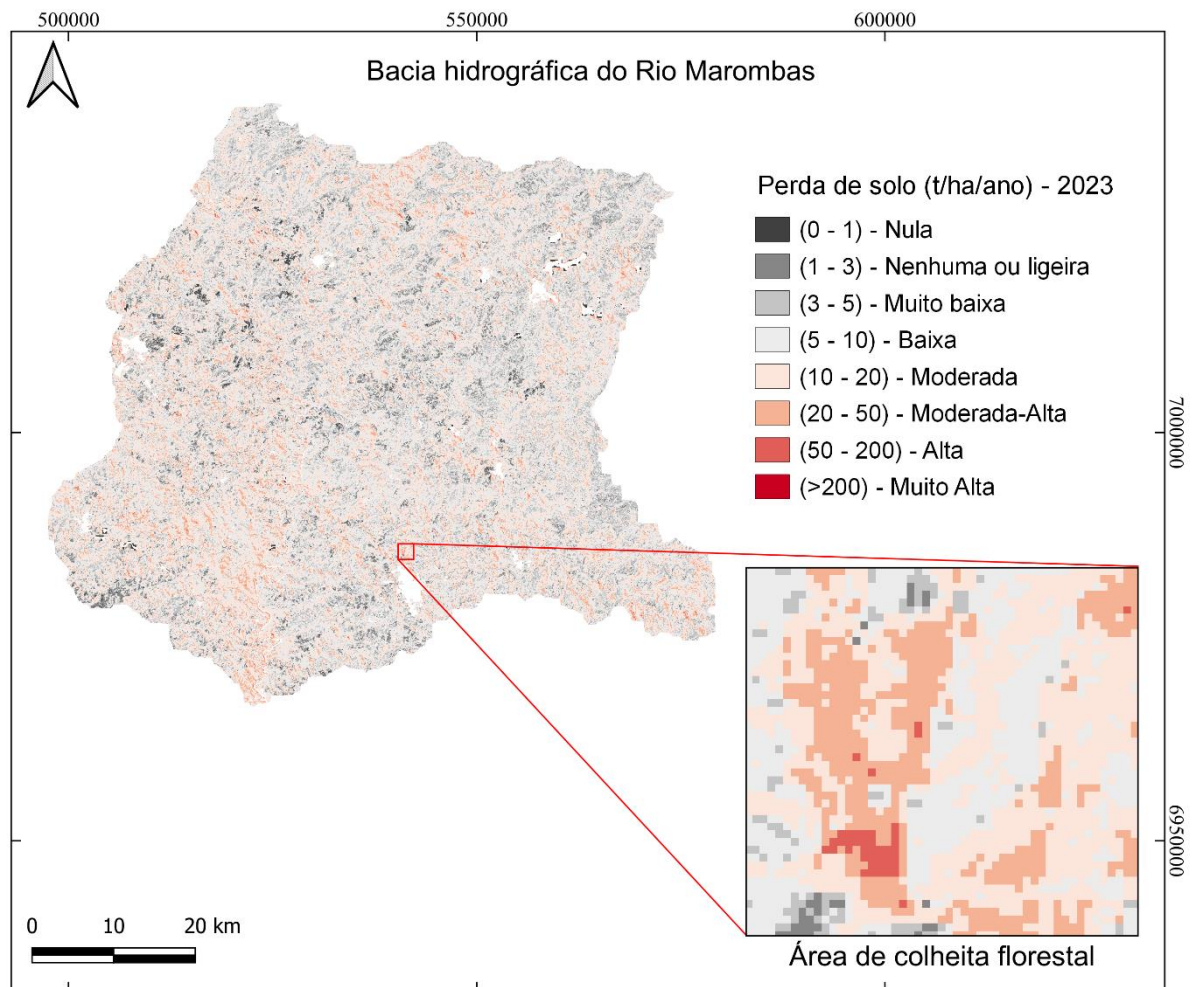
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o fator “K”, na bacia hidrográfica do Rio Marombas incidiram apenas três classes, sendo a de maior incidência a de textura argilosa, com 98,26%, apresentando um valor K de 0,0288.

#### 4.3 PERDA DE SOLO

Reunindo todos os fatores mencionados acima, conseguiu-se obter o mapa de perda do solo (Fator A), que para maior compreensão, teve seus valores divididos em 8 classes, definidas pelo autor, a partir das classes propostas pela FAO (1967). Para toda a extensão da BH do Rio Marombas, se obteve uma perda média de solo de 6,33 t/ha/ano.

Figura 7 – Estimativa de perda do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Marombas, utilizando *Google Earth Engine*. Em destaque, uma área de colheita florestal de pinus.

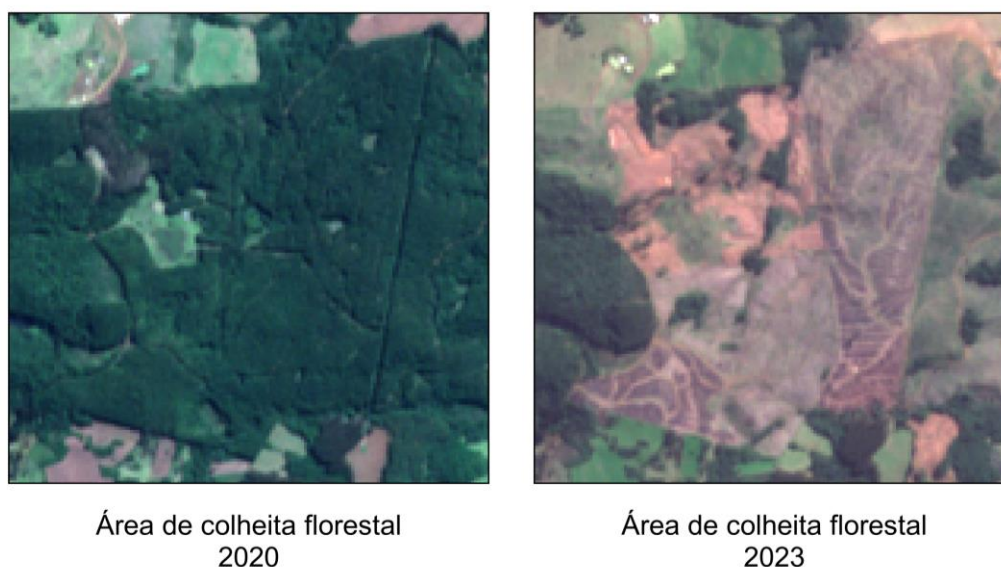


Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da apresentação do mapa, pode se observar que as regiões mais propensas a maiores perdas de solo foram de solo exposto ou de baixa cobertura vegetal. Foi gerado um mapa no espectro visível com imagens de satélite Sentinel 2, a fim de comparar a área destacada nos anos 2020 e 2023, podendo ver claramente a mudança no uso da terra. A mesma área apresentou uma média de perda de solo de 9,79 t/ha/ano.



Figura 8 – Comparação do uso da terra para uma mesma área, demonstrando solo exposto após a colheita de pinus.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a maior compreensão dos dados, a tabela a seguir mostra a área e percentual de cada classe de perda de solo, com base nas classes propostas pela FAO (1967) e adaptadas pelo autor.

Tabela 2 - Classes de perda de solo estimadas para o ano de 2023, na área da bacia hidrográfica do Rio Marombas.

| Perda de solo (t/ha/ano) | Classes            | Área (ha)  | (%)    |
|--------------------------|--------------------|------------|--------|
| 0 - 1                    | Nula               | 1.292,76   | 0,34%  |
| 1 - 3                    | Nenhuma ou ligeira | 17.669,07  | 4,61%  |
| 3 - 5                    | Muito baixa        | 69.201,81  | 18,07% |
| 5 - 10                   | Baixa              | 168.121,26 | 43,91% |
| 10 - 20                  | Moderada           | 101.478,78 | 26,50% |
| 20 - 50                  | Moderada-Alta      | 24.537,78  | 6,41%  |
| 50 - 200                 | Alta               | 588,24     | 0,15%  |
| > 200                    | Muito alta         | 0,09       | 0,00%  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como observado na Tabela 2 a classe de 5 a 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, considerada com nenhuma ou ligeira susceptibilidade a erosão teve a maior ocorrência na região de estudo, correspondendo a 43,91% da área total, ou seja, 168.121,26 ha. Além disso, nota-se que as classes representando moderada e moderada-alta compreendem 26,50% e 6,41% da área de estudo, respectivamente, proporções bem acima das encontradas por Fogaça (2022), utilizando a RUSLE e considerando



o fator P como constante (=1) em Curitibaanos-SC para o ano 2020, sendo 5,64% e 2,51%, para as mesmas classes de perda de solo.

Como o presente trabalho foi um estudo inicial e estima a perda de solo ao longo do ano, o autor recomenda, em estudos futuros, realizar a estimativa de perda de solo para dados mensais, podendo assim relacionar melhor as perdas de solo com a época de plantio e colheita (no caso florestal, a ação de maior impacto sobre o solo) das culturas de interesse, dando maior precisão de dados para embasar possíveis tomadas de decisão.

## 5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa proporcionou uma avaliação abrangente das perdas de solo na sub-bacia hidrográfica do Rio Marombas, integrando o modelo da RUSLE com a plataforma em nuvem *Google Earth Engine*. Os resultados obtidos revelaram áreas com diferentes níveis de susceptibilidade à erosão, as áreas que apresentaram baixa perda de solo (5 a 10 t/ha/ano) foram a maioria, representando 43,91% da área da BH, enquanto as classes moderada e moderada-alta representam 26,50% e 6,41%, indicativo problemático para a região estudada.

A plataforma *Google Earth Engine* demonstrou ser uma ferramenta poderosa para processamento e análise de dados geospaciais em larga escala. O que facilitou significativamente a obtenção e organização das informações necessárias para a pesquisa, principalmente relacionadas aos fatores “R” e “C”, já que por exemplo, um método comum de se estimar o fator R com SIG, é utilizar de dados de estações meteorológicas, que por sua vez precisam ser processados através de grandes tabelas e então interpolados para a área de interesse.

Os resultados obtidos indicam a importância de medidas de conservação do solo e práticas agrícolas sustentáveis na região estudada, como a rotação de culturas, adoção de SAFs, cordões de vegetação permanente e a recuperação de áreas degradadas. A identificação das áreas mais vulneráveis à erosão fornece subsídios para a implementação de estratégias de manejo adequadas, visando a preservação dos solos e a sustentabilidade dos recursos naturais.

Como este trabalho representa um estudo inicial que estima a perda de solo ao longo do ano, o autor sugere que pesquisas futuras realizem estimativas de perda de solo em uma escala mensal. Isso permitiria uma compreensão mais detalhada da sazonalidade dos processos erosivos, especialmente em relação às épocas de plantio e colheita (no caso florestal, a ação de maior impacto sobre o solo) das culturas de interesse. Uma análise mais detalhada, levando em conta as mudanças de cobertura da terra ao longo do tempo, que influenciam os fatores C e P a

curto prazo, pode proporcionar uma precisão de dados aprimorada para fundamentar possíveis tomadas de decisão.

A incorporação de dados adicionais, como práticas de conservação específicas, pode aprimorar ainda mais a precisão das estimativas. Já que esse foi um fator limitante para o estudo, devido ao fator P ser considerado 1 para toda a extensão da área de estudo.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 38, n. 1, 2015.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BOUGUERRA, H. *et al.* Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the Revised Universal Soil Loss Equation through GIS. **Journal of Water and Land Development**, v. 32, n. 1, p. 13, 2017.
- CASSOL, E. A. *et al.* Erosão hídrica em Latossolos Vermelhos distróficos típicos sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 3, p. 276-289, 2016.
- FAO - Food and Agriculture Organization. 1967. **La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. Cuadernos de fomento agropecuario da Org. de Las Naciones Unidas-FAO**. Roma, n. 81, 207 p.
- FOGAÇA, G. B. **Uso da terra e susceptibilidade à erosão no município de Curitiba, SC**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Catarina. Curitiba. 2022.
- GIANINETTO, M. *et al.* D-RUSLE: a dynamic model to estimate potential soil erosion with satellite time series in the Italian Alps. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 4, p. 34-53, 2019.
- GORELICK, N. *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.
- GUERRA, A. J. T. *et al.* Soil erosion and conservation in Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 81-91, 2014.
- GUERRA, A. T.; DA SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M.. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Bertrand Brasil, 2009.
- GUERRA, A. T.; JORGE, M. C. O. **Deterioração dos solos brasileiros: impactos, causas e estratégias de manejo**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2018.
- GUIMARÃES, R. Z. *et al.* Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC. **Raega-o espaço geográfico em análise**, v. 23, p. 534-554, 2011.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, 1980.
- LOPES, A. *et al.* Integração da RUSLE com SIGs para análise espacial da erosão do solo. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.l.], v. 63, n. 6, p. 571-582, 2011.

MUTANGA, O.; KUMAR, L. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. **Remote Sensing**, v. 11, n. 17, p. 1-17, 2019.

SCHICK, J. et al. Erosivity of rainfall in Lages, Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online], v. 38, n. 6, p. 1890-1905, 2014. Disponível em: . Acesso em: 5 out. 2023.

SILVA, A. M. da. Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.l.], v. 68, n. 7, p. 1401-1414, 2016.

SILVA, M. L. N. *et al.* Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da Microcentral Hidrelétrica do Lageado, Botucatu-SP. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 32, n. 2, p. 150-160, 2017.

TEN CATEN, A; MINELLA, J. P. G.; MADRUGA, P. R. A. Desintensificação do uso da terra e sua relação com a erosão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1006-1014, 2012.

VAN DER KNIJFF, J. M.; JONES, R. J. A.; MONTANARELLA, L. **Soil erosion risk: assessment in Europe**. 2000. Disponível em: [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/pesera/pesera\\_cd/pdf/ereurnew2.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_cd/pdf/ereurnew2.pdf) Acesso em: 30 out. 2023.

VELASTEGUI-MONTOYA, V. *et al.* Google Earth Engine: A platform for environmental monitoring through remote sensing. **Environmental Development**, v. 12, p. 100410, 2023.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington: U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n. 537, 1978.

**APÊNDICE A – SCRIPT PARA ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO**

```
//Seleção da area de estudo
var bacias = ee.FeatureCollection("WWF/HydroSHEDS/v1/Basins/hybas_7");
Map.addLayer(bacias, null,'Bacias Hidrográficas',0)

var aoi = ee.FeatureCollection("WWF/HydroSHEDS/v1/Basins/hybas_7")
    .filter(ee.Filter.eq('HYBAS_ID', 6070816040));

var empty = ee.Image().byte(); //Realizar o contorno
var outline = empty.paint({
  featureCollection: aoi,
  color: 1,
  width: 2
});

//Visualizar nossa área de estudo
Map.addLayer(outline, {palette: '#000000'}, 'Área de Estudo');
Map.centerObject(aoi, 9)

// *** Fator R ***

//Definir o intervalo de tempo para calculo do Ei30ano
var startyear = 1990;
var endyear = 2020;

//Criar uma lista sequencial para ano
var years = ee.List.sequence(startyear,endyear);

//Criar uma lista sequencial para meses
var months = ee.List.sequence(1,12);

//Definir nossa data inicial e final
var startdate = ee.Date.fromYMD(startyear,1,1);
```

```

var enddate = ee.Date.fromYMD(endyear,12,31);

// SOMA Ei30Mensal :  $67.355*(r^2/P)^{0.85}$ 

//Selecionando uma coleção
var chirps = ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY")
    .select('precipitation')
    .filterDate(startdate, enddate)
    .filterBounds(aoi);

// Precipitação média anual
var precipitacao_media_anual = ee.ImageCollection.fromImages(
  years.map(function (year) {
    var anual = chirps.filter(ee.Filter.calendarRange(year, year, 'year'))
      .sum()
      .clip(aoi);
    return anual
      .set('year', year)
      .set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(year, 1, 1));
  })
);

var precipitacao_media_anual_final = precipitacao_media_anual.mean(); // Calcular a média
anual
Map.addLayer(precipitacao_media_anual_final,
  {palette:['white','red','yellow','green','blue'],min:1500, max:1900}, "Precipitação média anual",
  0)

// Calcular a média mensal para cada mês ao longo de 30 anos
var precipitacao_media_mensal = ee.ImageCollection.fromImages(
  months.map(function(m) {
    return ee.ImageCollection.fromImages(
      years.map(function(y) {

```

```

var precipitation_month = chirps.filter(ee.Filter.calendarRange(y, y, 'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(m, m, 'month'))
    .sum() //Soma todos os dias do mês
    .clip(aoi);

return precipitation_month.set('year', y)
    .set('month', m)
    .set('system:time_start', ee.Date.fromYMD(y, m, 1));
})
).mean() // Calcular a média da coleção de imagens mensais
;
})
);

print('Precipitação média mensal CHIRPS', precipitacao_media_mensal);

// Adicionar a coleção de imagens ao mapa
Map.addLayer(precipitacao_media_mensal, {min: 0, max: 1000, palette: ['blue', 'green',
'yellow', 'red']}, 'Precipitação Média Mensal', 0);

// Função para calcular a equação
var calcularEquacao = function(image) {
    var x = image.select('precipitation');
    var valor_equacao =
(x.pow(2).divide(precipitacao_media_anual_final)).pow(0.85).multiply(67.355);

return valor_equacao.rename('valor_equacao')
    .set('year', image.get('year'))
    .set('month', image.get('month'))
    .set('system:time_start', image.get('system:time_start'));
};

// Aplique a função à coleção de imagens
var resultado_equacao = precipitacao_media_mensal.map(calcularEquacao);

```

```

print (resultado_equacao)
var R = resultado_equacao.sum();
Map.addLayer(R, {palette:['white','red','yellow','green','blue'],min:6300, max:7200}, 'R', 0);

// *** Fator LS ***

// Variável M
// Beta: quociente entre a erosão em sulcos e entre sulcos

var DEM = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003")
var elevation = DEM.select('elevation');
var slope1 = ee.Terrain.slope(elevation).clip(aoi);
var sinDeclividade = slope1.expression('sin(Declividade * 0.01745)', {'Declividade': slope1});
var parte1 = sinDeclividade.divide(0.0896);
var sinDeclividadeElevado = sinDeclividade.pow(0.8);
var parte2 = sinDeclividadeElevado.multiply(3);
var parte3 = parte2.add(0.56);
var beta = parte1.divide(parte3).rename('beta');

Map.addLayer(beta, {min: 0, max: 1.5}, 'Beta', 0)

var m = beta.expression('beta / (1 + beta)', {'beta': beta}) //Fórmula fator M para cálculo do
fator L
Map.addLayer(m, {min: 0, max: 0.6}, 'M', 0)

//Direção de Fluxo
var dir = ee.Image('MERIT/Hydro/v1_0_1').select('dir').clip(aoi).rename('dir');
// 45° = NE; 360° = N
var flowdir = dir.remap(
  [128, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64],
  [45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360],
  null
).rename('flowdir').clip(aoi);

```



```
Map.addLayer(flowdir, {min: 45, max: 360}, 'Direção de Fluxo', 0);
```

```
// Agora a acumulo de fluxo
```

```
var flowacc = ee.Image('MERIT/Hydro/v1_0_1').select('upa').clip(aoi).rename('flowacc')
```

```
Map.addLayer(flowacc, {min: 1, max: 200}, 'Acumulo de Fluxo', 0)
```

```
//Fator L
```

```
var L = ee.Image().expression(
```

```
'((A + pow(D, 2))**(m + 1) - pow(A, (m + 1))) / (pow(X, m) * pow(D, (m + 2)) *  
pow(22.13, m))',
```

```
{
```

```
'A': flowacc, // Área de contribuição de uma célula com coordenadas (Flow  
Accumulation)
```

```
'D': 30, // Tamanho do pixel
```

```
'X': flowdir, // Valor da direção de fluxo
```

```
'm': m // Coeficiente dependente da declividade
```

```
}
```

```
);
```

```
Map.addLayer(L, {min: 0, max: 1}, 'L', 0)
```

```
//Fator S
```

```
var S = ee.Image().expression(
```

```
'tan(a * 0.01745) < 0.09 ? 10.8 * sin(a * 0.01745) + 0.03 : 16.8 * sin(a * 0.01745) - 0.5',
```

```
{
```

```
'a': slope1 // Substitua com o valor de 'a' que deseja usar
```

```
}
```

```
);
```

```
Map.addLayer(S, {min: 0, max: 2}, 'S', 0)
```

```

var LS = ee.Image(L.multiply(S))
Map.addLayer(LS, {min: 0, max: 3, palette: ['blue','yellow','red']}, 'LS', 0);

// *** Fator C ***

var date1 = '2023-08-01'; //Definir ano para análise de perda do solo
var date2 = '2023-09-01';

var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2").filterDate(date1, date2)
    .select('B.*')
    .filterBounds(aoi)
    .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5)) //porcentagem de
nuvens lt=low then gt=;

print('Quantas imagens', s2);

var s2 = s2.mean().clip(aoi);
var image_ndvi = s2.normalizedDifference(['B8','B4']).rename("NDVI");

Map.addLayer (image_ndvi, {min: 0, max: 1, palette: ['FFFFFF','CC9966','CC9900', '996600',
'33CC00', '009900','006600','000000']}, 'NDVI', 0);

var alpha = ee.Number(-2)
var beta = ee.Number (1)

// Aplique a equação exponencial
var C = image_ndvi.expression('ndvi < 0 ? 1 : exp(alpha * (ndvi / (beta - ndvi)))', {
  'alpha': alpha,
  'beta': beta,
  'ndvi': image_ndvi
}).rename("C");

```

```
Map.addLayer(C, {min: 0, max: 1, palette: ['blue','green','yellow', 'orange', 'red']}, 'C', 0);
```

```
// *** Fator K ***
```

```
var soil = ee.Image("OpenLandMap/SOL/SOL_TEXTURE-CLASS_USDA-
```

```
TT_M/v02").select('b0').clip(aoi).rename('soil')
```

```
Map.addLayer(soil, {min: 1, max: 12, palette:
```

```
['d5c36b','b96947','9d3706','ae868f','f86714','46d143','368f20','3e5a14','ffd557','fff72e','ff5a9d',  
'ff005b']}, 'Soil', 0);
```

```
var K = soil.expression( //Bouguerra et al. 2017 para todos, exceto os devidamente  
citados
```

```
"(b('soil') > 11) ? 0.0053" +
```

```
" : (b('soil') > 10) ? 0.0170" +
```

```
" : (b('soil') > 9) ? 0.0561" + //Gianinetto et al. 2019
```

```
" : (b('soil') > 8) ? 0.050" +
```

```
" : (b('soil') > 7) ? 0.0499" +
```

```
" : (b('soil') > 6) ? 0.0394" +
```

```
" : (b('soil') > 5) ? 0.0264" +
```

```
" : (b('soil') > 4) ? 0.0423" +
```

```
" : (b('soil') > 3) ? 0.0394" +
```

```
" : (b('soil') > 2) ? 0.0277" + //Gianinetto et al. 2019
```

```
" : (b('soil') > 1) ? 0.0341" +
```

```
" : (b('soil') > 0) ? 0.0288" +
```

```
" : 0")
```

```
.rename('K').clip(aoi);
```

```
Map.addLayer(K, {min: 0, max: 0.06, palette:
```

```
['a52508','ff3818','fbff18','25cdfd','2f35ff','0b2dab']}, 'K', 0);
```

```

// *** Fator A ***

// Aplicar mascara para retirar as áreas urbanas e corpos d'agua

var mapbiomas = ee.Image('projects/mapbiomas-
workspace/public/collection8/mapbiomas_collection80_integration_v1')
    .select('classification_2022')
    .clip(aoi);
Map.addLayer(mapbiomas, null, 'MapBiomas', 0)

// Criar máscaras
var waterMask = mapbiomas.eq(33);
var urbanMask = mapbiomas.eq(24);

// Combinar máscaras
var combinedMask = waterMask.or(urbanMask).not();

//Calculo RUSLE
var P = ee.Image(1) //Definir valor do fator P
var fator_a = ee.Image(R.multiply(K).multiply(LS).multiply(C).multiply(P)).rename("Soil
Loss"); //t/ha/ano

// Aplicar a máscara à sua imagem ou dataset
var soil_loss = fator_a.updateMask(combinedMask);

var style = ['#404040','#868686','#c4c4c4','#ecec', '#fce6dc', '#f6b294', '#e25e58', '#ca0020']

Map.addLayer (soil_loss, {min: 0, max: 20, palette: style}, 'Perda de solo (t/ha/ano)', 1)

var SL_class = soil_loss.expression(
    "(b('Soil Loss') < 1) ? 1" +
    ": (b('Soil Loss') < 3) ? 2" +
    ": (b('Soil Loss') < 5) ? 3"+

```

```

": (b('Soil Loss') < 10) ? 4"+
": (b('Soil Loss') < 20) ? 5"+
": (b('Soil Loss') < 50) ? 6"+
": (b('Soil Loss') < 200) ? 7"+
  ": 8")
  .rename('SL_class').clip(aoi);
// Aplicar a máscara à imagem
var SL_class = SL_class.updateMask(combinedMask);

Map.addLayer (SL_class, {min: 1, max: 8, palette: style}, 'Classes de perda de Solo')

// var adc = ee.FeatureCollection('users/rafaelrodriguesrgee/area_corte')

var SL_mean = soil_loss.reduceRegion({
  geometry: aoi,
  reducer: ee.Reducer.mean(),
  scale: 500,
  maxPixels: 475160679
})

print("Média de perda de solo para a área de interesse",SL_mean.get("Soil Loss"))

```