

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CHAPECÓ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**ANDRÉ FELIPE NUNES DA SILVA**

**PERDA DE SOLO E ESTIMATIVA DE DEGRADAÇÃO DO RELEVO EM ENCOSTA  
NO PLANALTO DISSECADO DO RIO URUGUAI (RS)**

**CHAPECÓ**

**2022**

**ANDRÉ FELIPE NUNES DA SILVA**

**PERDA DE SOLO E ESTIMATIVA DE DEGRADAÇÃO DO RELEVO EM ENCOSTA  
NO PLANALTO DISSECADO DO RIO URUGUAI (RS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. William Zanete Bertolini

**CHAPECÓ**

**2022**

### **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Silva, André Felipe Nunes da  
Perda de solo e estimativa de degradação do relevo em  
encosta no Planalto Dissecado do Rio Uruguai (rs) /  
André Felipe Nunes da Silva. -- 2022.  
70 f.:il.

Orientador: Doutor William Zanete Bertolini

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da  
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Geografia,  
Chapecó,SC; Erechim,RS, 2022.

1. Erosão. 2. USLE. 3. Desnudação. I. Bertolini,  
William Zanete, orient. II. Universidade Federal da  
Fronteira Sul. III. Título.


**ANDRÉ FELIPE NUNES DA SILVA**

**PERDA DE SOLO E ESTIMATIVA DE DEGRADAÇÃO DO RELEVO EM ENCOSTA  
NO PLANALTO DISSECADO DO RIO URUGUAI (RS)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia.


Esta dissertação foi defendida e aprovada pela banca em 21/07/2022.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **WILLIAM ZANETE BERTOLINI**  
Data: 31/06/2022 18:26:00-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>


---

**Prof. Dr. William Zanete Bertolini – UFFS**  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **CRISTINA OTSUSCHI**  
Data: 01/09/2022 14:42:29-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Prof.<sup>a</sup> Dra. Cristina Otsuschi – UFFS**  
Avaliador

---

**Prof. Dr. Andrey Luis Binda – UFFS**  
Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelas oportunidades. Agradeço à minha família pelo incentivo. Agradeço ao professor William Zanete Bertolini por acreditar no meu trabalho e compreender o processo em que ele foi desenvolvido. À Sandra Cristina Deodoro pelo apoio na obtenção das curvas de nível a partir do modelo digital de elevação do terreno. Agradeço aos meus colegas da turma pioneira do Programa de Pós-Graduação em Geografia, parceiros de aprendizado e apoio mútuo. Agradeço aos brasileiros que por meio dos seus tributos custeiam a Educação Pública.

“Nunca, jamais desanimeis, embora venham ventos contrários”

Amábile Lúcia Visintainer

## RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo geral estimar a perda de solo e a desnudação do relevo em uma parcela de solo no município de Alpestre (RS), em uma vertente no Distrito de Volta Grande, próxima à divisa feita pelo Rio Uruguai entre Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A área de estudo está inserida no Planalto Dissecado do Rio Uruguai. O solo é um recurso escasso não renovável na escala do tempo humano e, pela sua importância para inúmeras atividades humanas – da agricultura à habitação, é necessário preservá-lo. Para isso, quantificação da perda de solo e do rebaixamento do relevo é relevante para compreender a dinâmica da paisagem e identificar os principais fatores que influem na erosão. Utilizou-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE) para a estimativa de perda de solo e o método de Carvalho (1994) para chegar-se à taxa de desnudação do relevo, dividindo o valor da perda de solo pela massa específica considerando que o resultado é equivalente à altura de solo desnudada em milímetros por mil anos (SUMMERFIELD, 1991). Calculou-se um fator K (erosividade das chuvas de  $8755,24 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$  e um K (erodibilidade do solo) de  $0,01868 \text{ tMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{h}$ . Dessa forma, estimou-se uma perda de solo de  $11,92 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e uma taxa de degradação da superfície de  $745 \text{ mm/ka}$ . Tais resultados condizem e quantificam informações do Programa Nacional de Solos do Brasil de que a parcela está em área de alta erodibilidade do solo. As informações quantitativas da perda de solo e da desnudação são importantes para justificar a adoção de medidas que mitiguem a erosão, a fim de reduzir os impactos ambientais e custos econômicos.

Palavras-chave: erosão; USLE; desnudação.

## ABSTRACT

This dissertation has the general objective of estimating soil loss and relief denudation in a plot of soil in the municipality of Alpestre (RS), on a slope in the District of Volta Grande, close to the division made by the Uruguay River between Rio Grande do Sul and Santa Catarina. The study area is available in the Rio Uruguai Dissecado Plateau. Soil is a scarce resource, renewable on the scale of human time and due to its importance for countless human activities – from occupation, it is necessary to preserve it. For this, quantification of the importance and reduction of relief is relevant to understand the landscape and identify the main factors that influence the identification of the main factors. The Universal Soil Loss Equation (USLE) was used for a method of estimating soil loss and the calculation of soil weight by Carvalho (1994) to arrive at the denudation rate, dividing the loss value of soil by the specific mass considering that the result is equivalent to the height of soil denuded in millimeters for a thousand years (SUMMERFIELD, 1991). A K factor (rainfall erosivity of 8755.24 MJmmha-1h-1 and a K (soil erodibility) of 0.01868 tMJ-1mm-1h was calculated. 92 t.ha-1.year-1 and a surface degradation rate of 745 mm/ka. These results match and quantify information from the National Soil Program in Brazil that the plot is in an area of high soil erodibility. The loss of soil losses are important to justify a change of measures that reduce environmental and economic impacts.

Keywords: erosion; USLE; pedology.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da parcela de solo considerada para o cálculo da USLE .....	20
Figura 2: Vista da área de estudo na Volta Grande do rio Uruguai. Ao fundo, barragem da UHE Foz do Chapecó. Indicação da parcela pela seta vermelha .....	20
Figura 3 - Localização da parcela de estudo no contexto geomorfológico regional ..	21
Figura 4 - Contexto pedológico no qual se encontra a parcela considerada .....	22
Figura 5 - Vulnerabilidade à erosão hídrica.....	23
Figura 6 - Declividades no contexto da Volta Grande do rio Uruguai.....	24
Figura 7 - Tela inicial do software KUERY .....	36
Figura 8 - Dados do solo .....	37
Figura 9 - Tela para inserção os dados de textura do solo.....	38
Figura 10 - Relação entre taxa média de desnudação e relevo médio. ....	42
Figura 11 - Textura do solo do horizonte A para a parcela consideradaTextura do solo do horizonte A para a parcela considerada .....	48
Figura 12 - Precipitação acumulada mensal em Iraí de 1981-2010 .....	49
Figura 13 - Cobertura vegetal na parcela da vertente .....	53
Figura 14 - Contexto de degradação das pastagens da Volta Grande.....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator C para diferentes tipos de cobertura do solo e índices de recobrimento vegetal.....	39
Tabela 2 - Fator P de práticas conservacionistas.....	40
Tabela 3 - Classes de Erosividade da chuva média anual e mensal .....	50

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Precipitação acumulada em Iraí de 1981-2010.....	35
Quadro 2 - Cálculo do fator R de 1981 a 2010.....	49
Quadro 3 - Fatores R de municípios gaúchos e catarinenses.....	51
Quadro 4 - Comparação da diferença dos fatores R de diferentes métodos no resultado da USLE .....	56
Quadro 5 - Comparação de taxas de denudação para diferentes pesos específicos do solo, conforme Carvalho (1994) .....	58
Quadro 6 - Fatores da USLE e referência.....	60

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA</b> .....	<b>17</b>
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
2.2 PEDOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	25
2.3 EROÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS .....	27
2.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS.....	32
2.4.1 Fator R.....	34
2.4.2 Fator K.....	35
2.4.3 Fator LS.....	38
2.4.4 Fator C.....	38
2.4.5 Fator P .....	40
2.5 DESNUDAÇÃO DO RELEVO .....	41
2.6 MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
3.1 FATOR K.....	47
3.2 FATOR R.....	48
3.3 FATOR LS.....	51
3.4 FATOR C.....	53
3.5 FATOR P .....	55
3.6 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO ESTIMADA PELA USLE.....	56
3.7 ESTIMATIVA DA ALTURA DA DEGRADAÇÃO COM BASE NA USLE.....	57
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>60</b>
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>62</b>
<b>ANEXO A – LAUDO DA QUANTIDADE DE MATÉRIA ORGÂNICA DA AMOSTRA DE SOLO</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXO B - RELATÓRIO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM ALPESTRE</b> .....	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural importante na gestão estratégica do espaço geográfico, pois a maioria das ações humanas é realizada na superfície terrestre coberta por solos. Este constitui recurso importantíssimo para várias atividades fundamentais, como produção de alimentos, forragem, fibras e energia e área útil para construção civil para uma população humana em rápido crescimento (GARDI *et al.*, 2015).

É um dos principais recursos naturais e um dos que mais tem sofrido devido ao mau uso, sendo constantemente perdido das terras de cultivo devido aos métodos de trabalho utilizados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999) e não é renovável na escala do tempo humano e apresenta características muito diversas conforme sua localização e a conjugação dos fatores ambientais responsáveis pelo seu desenvolvimento. Características intrínsecas do solo tais como sua textura, permeabilidade, quantidade de matéria orgânica e outras são importantes para a compreensão do seu comportamento e, em última análise, para o melhor uso que se possa fazer dele frente às demandas socioambientais.

Uma das principais formas de degradação e perda do solo é a erosão hídrica, a qual é causada pela chuva e pelo escoamento superficial. Estudos sobre isso consideram como os diferentes tipos de chuva afetam essa erosão e como ela irá variar em diferentes tipos de solo (SCHICK, 2014). A erosão é um processo natural que afeta diretamente o solo na sua evolução natural, mas que pode ser acelerada em decorrência da falta de cuidados com ele.

Segundo Boardman (2012, p. 15), “a degradação dos solos afeta tanto as áreas agrícolas como as áreas com vegetação natural e pode ser considerada, desta forma, um dos mais importantes problemas ambientais dos nossos dias”. Essa degradação pode ocorrer de várias formas, como salinização, perda da biota, adição de poluentes bem como pela erosão e conseqüente perda de solo.

Os latino-americanos ganharam a reputação depreciativa de esbanjarem seus recursos naturais (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO), a região da América Latina e Caribe concentra 14% das terras degradadas do mundo, afetando 150 milhões de pessoas (GARDI *et al.*, 2015).

A intensificação do uso do solo para a agricultura, por exemplo, tende a contribuir para essa degradação. Segundo a FAO,

A produção agrícola do Brasil crescerá mais rápido do que qualquer outro país do mundo na próxima década (aumentando em uns 40% em 2019). Este aumento da pressão sobre o solo requer uma abordagem preventiva na hora de fazer sua gestão, a fim de evitar, ou pelo menos manter dentro de um nível sustentável, os processos de degradação (GARDI *et al.*, 2015, p.8).

A gestão do uso do solo é tarefa emergencial frente a uma perspectiva de crescimento populacional e maiores pressões em relação ao uso e ocupação desse recurso para diferentes atividades. Tal desafio necessita de informações e pesquisas de caráter mais local, considerando as condições e características dos lugares, que possam suprir meios para que tal tarefa seja realizada de modo a permitir a sustentabilidade do uso desse recurso. Nesse sentido, Wagner (1986, p. 1) afirma que:

Os danos causados pela erosão hídrica em solos cultivados promoveram a intensificação da pesquisa sobre os processos erosivos, levando ao desenvolvimento de modelos de previsão de perda e ao aperfeiçoamento de práticas de controle. Tais pesquisas resultaram na identificação e classificação das variáveis determinantes do processo erosivo, em cinco fatores básicos, os quais são: 1. erodibilidade do solo; 2. erosividade da chuva, 3. topografia; 4. cobertura e manejo do solo e 5. práticas de controle de erosão.

Para isso, desenvolveram-se modelos matemáticos de predição de taxas de erosão, já que quantificar a erosão em campo é um processo moroso e de alto custo (DEMARCHI; PIROLI; ZIMBACK, 2019).

A quantificação da erosão é fator importante para várias aplicações na área ambiental, com vistas a planejamento e modelagem de cenários de transformações ambientais em curto, médio e longo prazos. Por exemplo, a quantificação da erosão dos solos ajuda a avaliar o potencial de produção de sedimentos de determinada área, normalmente bacias de drenagem. Isso está diretamente relacionado com a desnudação da superfície.

O solo que se desprende do seu local de origem depositando-se em algum outro lugar, que pode ser simplesmente a base da vertente (formação de colúvio) ou no talvegue, pode causar assoreamento e influenciar a fauna e flora do corpo hídrico (devido à possibilidade de acréscimo de matéria orgânica, de aumento da turbidez e modificação de características físico-químicas). O depósito de solo no rio pode diminuir a sua vazão naquele ponto, aumentando o nível à montante (podendo afetar

populações ribeirinhas, as atividades agropecuárias próximas ao rio ou a mata ciliar) e diminuindo à jusante (capaz de prejudicar o abastecimento de água ou geração de energia elétrica).

Sendo dinâmica a cobertura pedológica, compreender a suscetibilidade de perda de solo de uma área devido à erosão é fundamental para uma miríade de atividades, tais quais a gestão de risco de desastres, o planejamento da agricultura e a gestão do uso do solo. Essa perda gera custos *on-site* (dentro da unidade produtiva), o que ocasiona um custo direto ao produtor e indireto à sociedade, que pode perder futuramente o recurso natural (solo) necessário para a produção de alimentos, além de custos *off-site* (fora da unidade produtiva), os quais gerarão externalidades, incidindo diretamente em custos sociais e ambientais (TELLES; GUIMARÃES, 2009).

O embasamento de políticas de cuidado com o uso do solo, a fim de que este seja mantido saudável, salutar ao meio ambiente e útil às suas funções baseia-se na mensuração de suas perdas frente ao processo erosivo. Uma das principais formas de estimar isso é por meio da Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Loss Soil Equation*, USLE), proposta por Wischmeier e Smith (1978) para áreas agrícolas nos Estados Unidos. Muito embora a iniciativa de estimar a perda de solo tenha sido das Ciências Agrárias, devido à influência dessa perda no contexto agrícola, seu uso no contexto geográfico serve como uma ferramenta para a análise do espaço físico e dos recursos que nele se encontram.

Na medida em que se compreende, sob determinadas condições, quanto de solo é erodido de certa área, isso torna possível se estimar também a desnudação e, a partir da topografia, quanto tempo seria necessário para rebaixar determinada superfície do relevo. Trata-se de outra aplicação das estimativas de erosão do solo; neste caso para um tempo geológico mais extenso e tendo como objetivo mensurar a degradação do relevo e sua transformação em milhares de anos. À medida que ocorre a retirada de volume de solo em determinada área, isso gradativamente modifica o relevo local, desnudando-o e tendo como uma consequência seu rebaixamento altimétrico.

Portanto, se a perda de solo ocasiona o rebaixamento do relevo, infere-se que o cálculo da perda de solo de uma área pode subsidiar a estimativa de desnudação do relevo dessa área. É nesta perspectiva que este trabalho está orientado, além, é claro, de estimar a erosão dos solos em uma parcela típica e representativa, em termos de uso do solo, do compartimento geomorfológico do Planalto Dissecado do

rio Uruguai, no município de Alpestre (RS), à margem do rio Uruguai – limite de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral verificar relação de perda de solo e desnudação do relevo em parcela de vertente no Planalto Dissecado do rio Uruguai, no contexto da Volta Grande do rio Uruguai.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Aferir a erodibilidade do solo da parcela;
- b) Identificar a erosividade das chuvas para a área de estudo;
- c) Estimar a taxa de perda de solo dessa parcela; e
- d) Calcular a taxa de desnudação para contexto geomorfológico da parcela objeto da estimativa da erosão.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLÓGICA

Neste capítulo foram feitas a caracterização da área de estudo, a fundação teórica acerca de geomorfologia, pedogênese e erosão de solos bem como os métodos utilizados para a consecução do objetivo geral e dos específicos deste trabalho.

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Rio Uruguai é um importante corpo hídrico que drena o oeste catarinense, o noroeste e oeste do Rio Grande do Sul, servindo também como divisa natural entre os dois Estados brasileiros supracitados. Originalmente a região banhada por este rio era povoada por povos indígenas da etnia Caingangues (OLKOSKI, 2003), motivados pelas águas termais da região bem como pela abundância de peixes. Posteriormente houve o processo de colonização, principalmente no século XX (ALPESTRE, 2020).

Os habitantes dessa região, assim como nas demais regiões brasileiras, utilizavam a terra e os demais recursos naturais de um modo não-exaustivo, conforme as características gerais do uso dos recursos naturais por populações tradicionais. Oskoski (2003, p. 145) apregoa que eles “desenvolviam uma agricultura rudimentar e utilizavam vários instrumentos fabricados por eles”, como machados de pedra.

Ainda no século XIX, na então Província do Rio Grande do Sul, havia uma preocupação de que o território deveria ser colonizado por imigrantes brancos, muito embora a legislação vigente defendia a demarcação de colônias indígenas em terras devolutas (OLKOSKI, 2003). No noroeste gaúcho, o médio e alto Uruguai foram as últimas regiões do Estado a serem colonizadas (ROSSONI; PANNO; SANTOS, 2006).

No século XX, municípios foram sendo fundados na região oeste de Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul, marcando a colonização de grupos teuto e ítalo-descendentes. Como exemplos temos os municípios de Iraí, Alpestre, São Carlos, Palmitos e Águas de Chapecó, Planalto, Sarandi, fundados no século XX. Os habitantes dessas colônias começaram a utilizar os recursos naturais (solo, água e vegetação) para a criação de animais.

Inicialmente as colônias alemãs do sul do Brasil utilizavam três principais técnicas de agricultura rudimentar nas áreas em que foram instaladas: a coivara (também chamado de sistema de corte-queimada da floresta ou sistema da primitiva

rotação de terras). Posteriormente foi introduzido o gado, seu esterco na adubação e o arado para um “sistema melhorado de rotação de terras” e em terceiro estágio o “sistema de rotação de culturas combinado com a criação de gado” (WAIBEL apud ROSSONI; PANNO; SANTOS, 2006).

Conforme Olkoski (2003), a política fundiária rio-grandense promoveu arrendamentos das terras indígenas, causando na realidade uma relação conflituosa entre indígenas e colonizados, para prejuízo daqueles que perderam sua cultura e seu modo de vida, restando trabalhar para um patrão colono, esgotando-se as terras e acabando-se as matas. Após a colonização, os elementos caboclos ou nacionais sofreram um processo mais acentuado de marginalização, sendo tratados nas correspondências oficiais como “intrusos” (TAGLIETTI, 2005). Soma-se a isso, o fato de o padrão cultural dos imigrantes ter sido completamente incompatível com o dos caboclos (ZARTH apud TAGLIETTI, 2005).

Quanto ao clima, Valério et al (2018) descrevem que na região do noroeste gaúcho predomina o tipo climático Cfa (clima temperado, com chuva o ano todo e verão quente). Geomorfologicamente, a área de estudo se localiza no Planalto Dissecado do rio Uruguai, unidade geomorfológica pertencente à Região Geomorfológica Planalto das Araucárias (RADAMBRASIL, 2018), estende-se por 81.543km<sup>2</sup> e abrange vários municípios do oeste catarinense e noroeste gaúcho. Os solos dessa unidade geomorfológica encontram-se no contexto de um relevo muito dissecado, com vales profundos e encostas em patamares (RADAMBRASIL, 2018), o que por si só já dá uma ideia da energia que perpassa tal sistema e que afeta as coberturas pedológicas no sentido de um balanço morfogênese e pedogênese pendente para a primeira.

Essa unidade possui um relevo muito dissecado, apresentando vales profundos e encostas em patamares. Além disso, apresenta altitudes ultrapassando 1000m a leste, decaindo de forma gradativa no sentido oeste e noroeste. Sua geologia é composta de derrames de rochas efusivas, com variações internas. Isso, aliado às condições climáticas, possibilita intemperismo químico, com dissecação diferencial, dado que a drenagem segue de forma preferencial linhas de fraqueza, resultando em vales e sulcos estruturas (RADAMBRASIL, 2018).

O relevo da região é caracterizado por ser intensamente cortado por vales e sulcos, com profundidade variável conforme a potência do rio. Estes vales podem ora apresentar-se de como um “V” aberto, ora como “V” estreito e raramente em forma de

manjedoura, mas sempre com patamares nas vertentes. De forma similar em toda a unidade, a drenagem é fortemente controlada por essa estrutura, contendo rios sinuosos, cujos cursos ocupam áreas de fraqueza das rochas, vales encaixados com patamares nas encostas, devido ao intenso fraturamento das rochas. Evidenciam isso seguimentos de rio retilíneos e grande ocorrência de lajeados, corredeiras, saltos, quedas e ilhas (rochosas, geralmente revestidas por sedimentos aluviais) ao longo do leito (RADAMBRASIL, 2018).

Para este estudo, está sendo considerada como área de aplicação da USLE uma parcela (Figura 1) em posição de média vertente, na margem esquerda do rio Uruguai, logo a jusante da barragem da UHE Foz do Chapecó, no município gaúcho de Alpestre (Figura 2). A Figura 3 ilustra a localização da parcela de estudo no Planalto Dissecado do Rio Uruguai.

Essa parcela em questão pertence a uma ampla vertente de conformação côncava no distrito de Volta Grande. Essa localidade situa-se na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Do lado catarinense, há o município de Águas de Chapecó – o qual faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Chapecó - e do lado gaúcho, Alpestre, que integra a Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea (SEMA, 2022).

Figura 1 - Localização da parcela de solo considerada para o cálculo da USLE

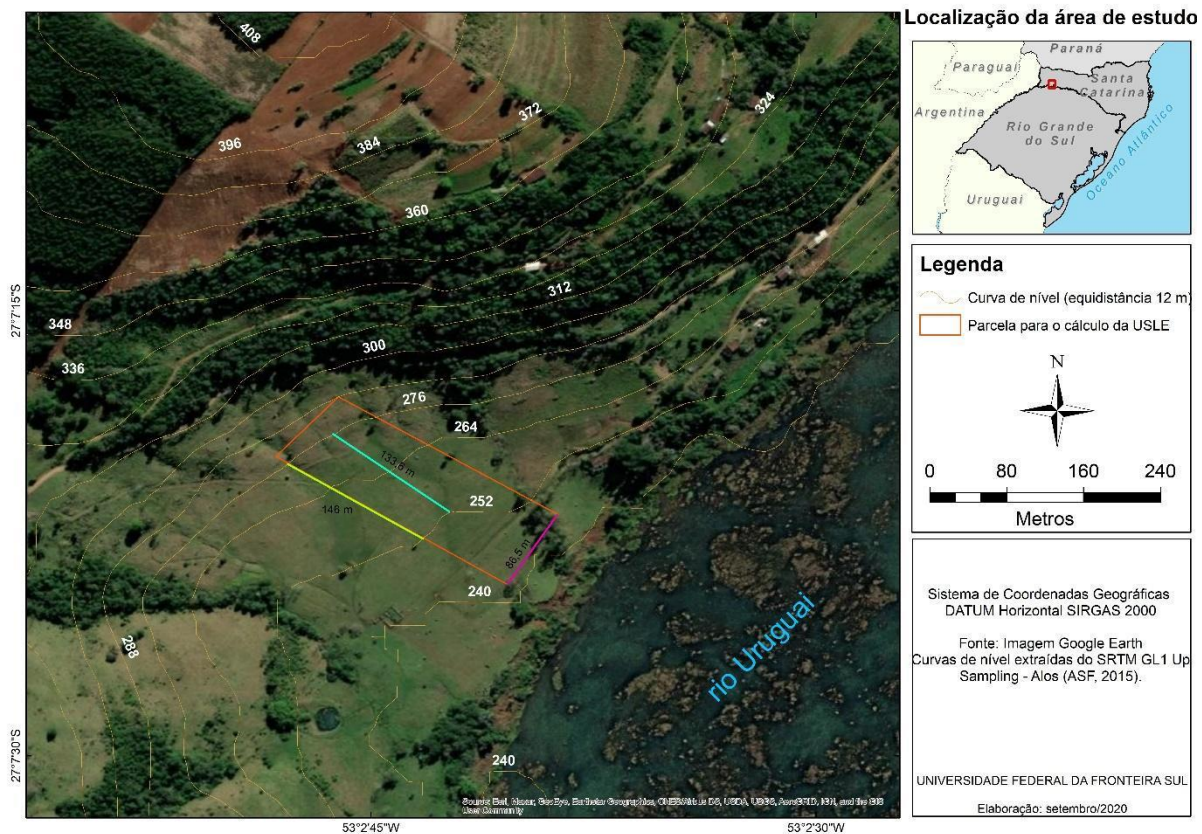
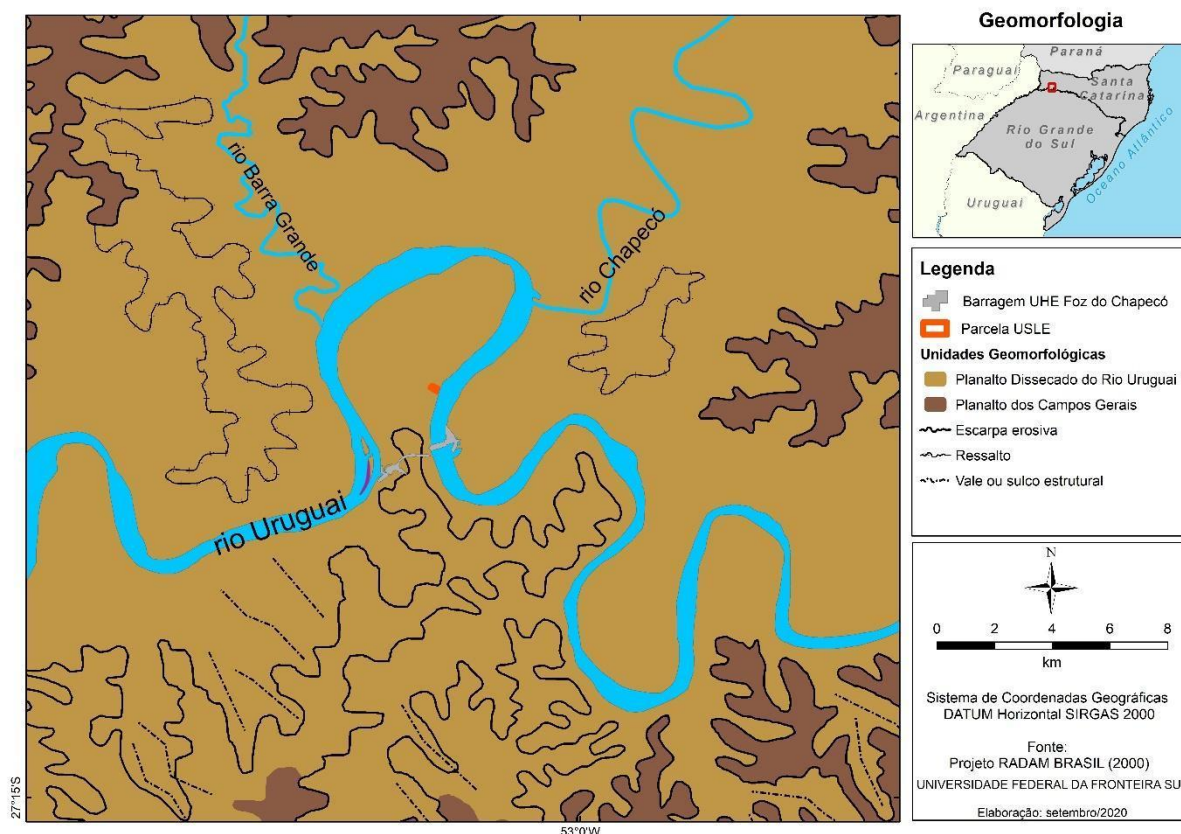


Figura 2: Vista da área de estudo na Volta Grande do rio Uruguai. Ao fundo, barragem da UHE Foz do Chapecó. Indicação da parcela pela seta vermelha



Fonte: arquivo do autor

Figura 3 - Localização da parcela de estudo no contexto geomorfológico regional



De acordo com o Mapa de Solos do Estado de Santa Catarina em escala de 1:250.000 (POTTER; CARVALHO; FLORES; BOLGNOLA, 2004) a região oeste de Santa Catarina e noroeste do Rio Grande do Sul enquadra-se em uma unidade de mapeamento de Cambissolos, Neossolos e Nitossolos. No entanto, observações de campo dão conta de que os solos rasos, pouco profundos e cascalhentos são muito mais frequentes do que a escala dos mapeamentos existentes dá conta de demonstrar para o contexto das encostas dissecadas do vale do rio Uruguai (DEODORO; BERTOLINI; TEMBA, 2021).

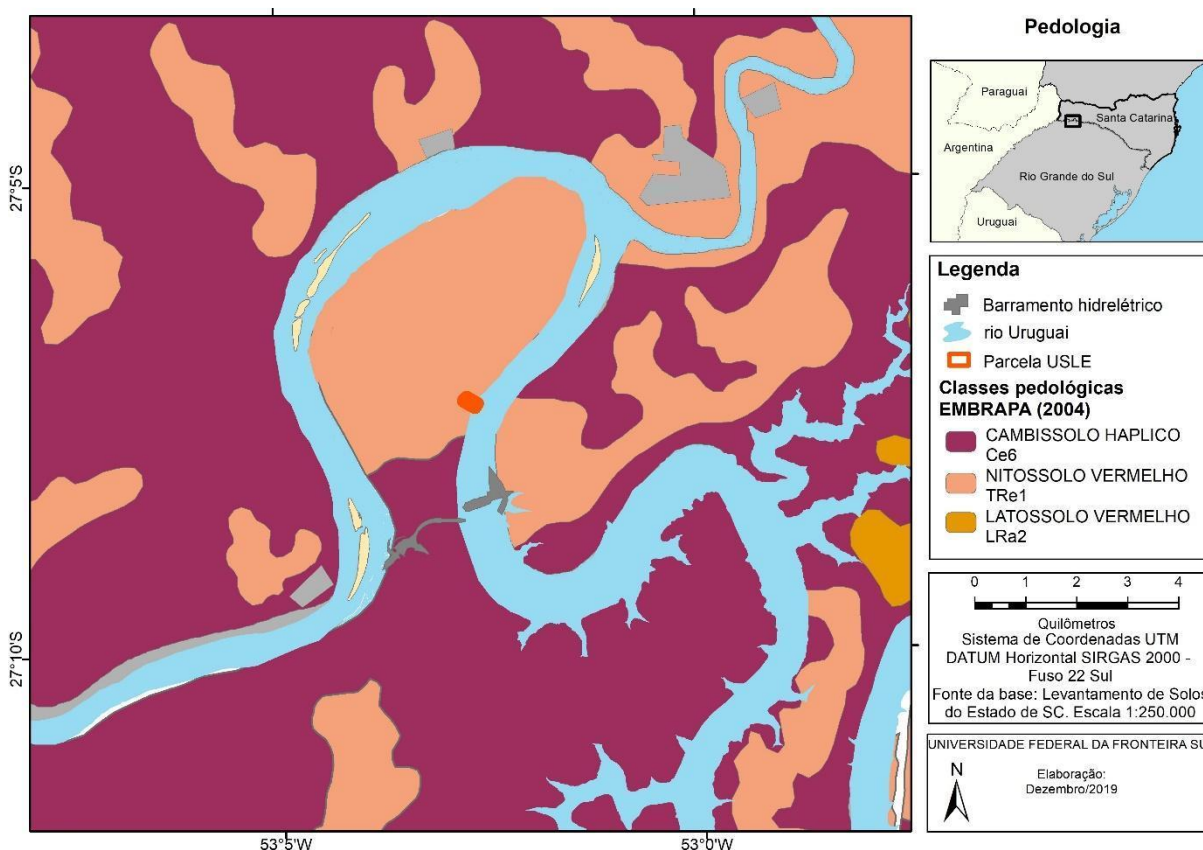
São comuns nas posições de média e alta vertentes campos de matações basálticos semiaflorados à superfície e blocos rochosos junto à massa do solo, o que indica uma cobertura pedológica assentada com certa proximidade à rocha matriz de natureza predominantemente basáltica. Segundo dados do Programa Nacional de Levantamento e Interpretação dos Solos do Brasil<sup>1</sup> (PRONASOLOS, 2022), a parcela deste estudo situa-se na área de Nitossolo Vermelho (Figura 4).

<sup>1</sup> O Programa Nacional de Levantamento e Interpretação dos Solos do Brasil foi instituído pelo Decreto Nº 9.414, de 19 de junho de 2018, coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018), os Nitossolos são constituídos por material mineral com horizonte B nítico podendo ter o horizonte A de qualquer tipo, textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície do solo, sendo também de moderadamente ácidos a ácidos.

Figura 4 - Contexto pedológico no qual se encontra a parcela considerada

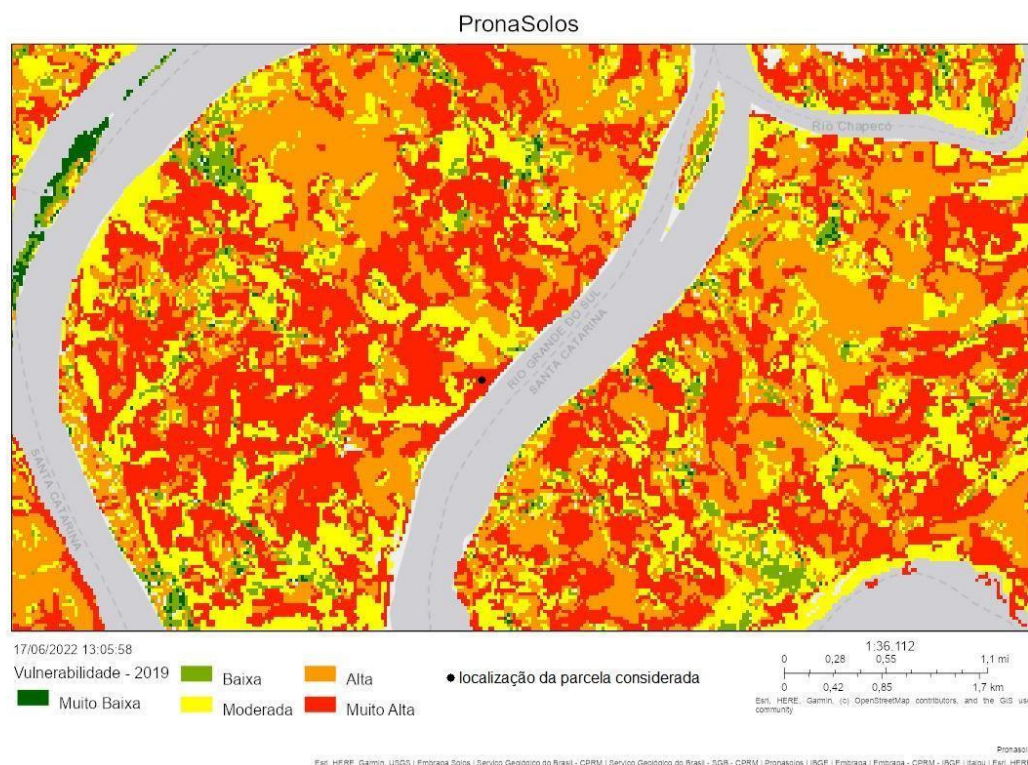


Fonte: Pronasolos <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>

De acordo com a base de dados do projeto PRONASOLOS, a área onde se encontra a parcela considerada neste estudo apresenta e uma suscetibilidade à erosão hídrica muito alta (PRONASOLOS, 2022) (Figura 5).

apoiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Entre outros objetivos, destina-se a executar os levantamentos de solos e as suas interpretações e estruturar e operacionalizar o sistema nacional de informação sobre solos (BRASIL, 2018).

Figura 5 - Vulnerabilidade à erosão hídrica



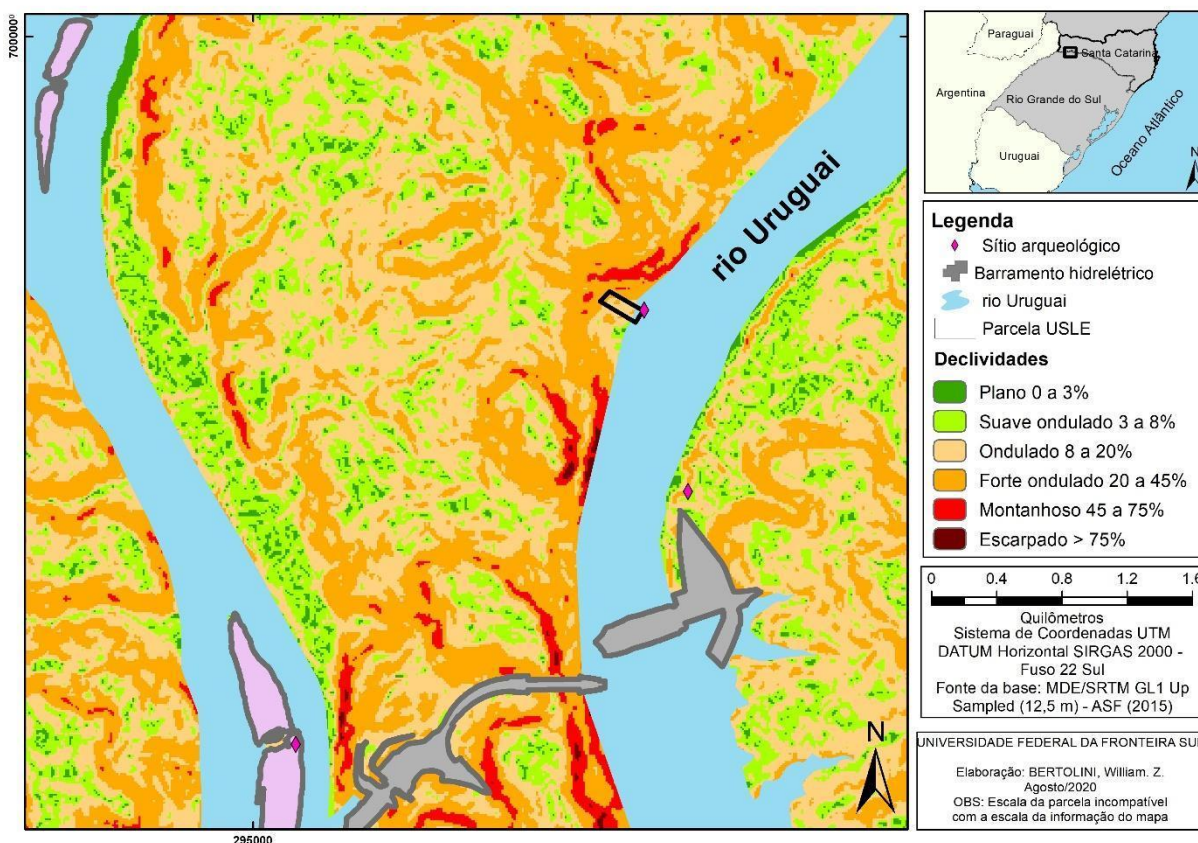
Fonte: Pronasolos <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>

O uso do solo em declividade acentuada para a bovinocultura é predominante, conforme Reis e Miorin (2006). A pecuária é uma expressão da domesticação dos animais, sendo esta uma vantagem que os eurodescendentes tinham em comparação aos nativos indígenas (CROSBY, 1993). Essa mesma atividade é grande causadora de impactos ambientais, pela transformação de áreas com vegetação nativa em pastagem, pelo próprio pisoteio do gado e uso da vegetação restante para outros fins.

Conforme Reis e Miorin (2006), o município de Alpestre, entre outros da região do Médio Alto Uruguai, tem sua geração de renda bruta derivada de atividades agropecuárias realizadas em topografia com alta presença de morros e encostas acentuadas, cujo solo nem sempre é adequado para essa atividade.

A Figura 6 ilustra o descrito por Reis e Miorin (2006), de modo que no Distrito da Volta Grande esse relevo apresenta declividades que variam predominantemente de 8% a 45%. A parcela de estudo, especificamente, está classificada como de relevo ondulado, de 8% a 20%.

Figura 6 - Declividades no contexto da Volta Grande do rio Uruguai



O desmatamento ao longo do Rio Uruguai teve início no extrativismo vegetal, para comercialização da madeira e erva-mate (ONGHERO; FRANCESCHI, 2009). Posteriormente, como se demonstra nas imagens, a terra sem mais árvores foi utilizada para a pecuária.

Atualmente e desde pelo menos 2013, a área tem seu uso destinado a pastagem e pastoreio de gado. Quanto à qualidade dessa pastagem, verifica-se na Plataforma MapBiomas que a área da Volta Grande onde a parcela está inserida não apresenta degradação severa (MAPBIOMAS, 2022).

É característico da região também a base da agricultura familiar de subsistência, predominando as pequenas propriedades, sendo a atividade agrícola responsável por 58% da economia regional (ROSSONI; PANNO; SANTOS, 2006). A vertente em questão atualmente é parte de uma propriedade particular cujo uso do solo é dado por pastagem para a criação de bovinos.

A parcela utilizada para o cálculo da USLE encontra-se a montante do sítio arqueológico RS-URG-001, onde há ossos humanos e cerâmica. Este sítio vem sendo investigado desde 2013 por uma equipe franco-brasileira de arqueologia no contexto



do projeto de pesquisa sobre os “Primeiros Povoamentos do alto Rio Uruguai”. Nessa região, encontram-se os sítios arqueológicos mais antigos do centro-leste da América do Sul, cujos povoamentos remontam a cerca de 12500 anos AP (LOURDEAU, 2016).

A base da concavidade (baixa vertente) constitui, em escala de detalhe, o compartimento de planície aluvial onde se interpenetram formações colúvio-aluvionares. A média e alta vertente representam os segmentos de vertente fora do alcance das cheias do rio Uruguai.

## 2.2 PEDOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A pedologia é o estudo dos solos e, desde os estudos do geólogo Dokuchaev, esteve ligada às questões de seu uso agrícola e precisou estabelecer suas características e propriedades de modo preciso, buscando na Física, na Química, na Biologia e na Mineralogia o suporte para isso. Essa ciência avançou com as observações do seu objeto na natureza e a medição cada vez mais precisa de suas propriedades. Atualmente pode-se pensar em duas pedologias: uma que visa interpretar os aspectos todo solo por meio de medidas e modelos e outra que busca estudar primeiramente a organização dos solos por meio de sua morfologia, espacialidade e integração na paisagem e depois recorrer às medidas laboratoriais (QUEIROZ NETO, 2000).

A Geomorfologia é uma ciência que visa explicar os processos que elaboram o relevo, com a identificação de supostos estágios de evolução temporal das formas, tendo como primeira abordagem a cronologia da desnudação com abordagens litoestratigráficas e análise espacial da distribuição das formas. Essa cronologia da desnudação necessitava da reconstrução da história erosiva da paisagem, buscando evidências de capturas fluviais e indícios de epigenia da drenagem, a exemplo dos boqueirões de vento e canais desajustados ao vale.

É um modelo baseado na observação direta da paisagem e interpretação a priori da ação direta da erosão fluvial no relevo, porém os processos denudacionais destroem as evidências superficiais das condições ambientais e morfologias anteriores, de modo que resta para a reconstrução da paisagem a morfologia e distribuição altimétrica das formas de relevo (CORRÊA *et al.*, 2016).

Por isso, essa base empírica deu lugar a outra abordagem: a análise dos depósitos sedimentares e solos residuais, que preservam os registros de condições

passadas, de forma mais confiável e realista, pelo advento das datações absolutas, a exemplo das feitas por carbono radioativo  $^{14}\text{C}$  e luminescência (CORRÊA *et al.*, 2016).

McFadden e Knuepfer (1990) alegam que tanto pedólogos, quanto geomorfólogos concordam que os solos têm sua história relacionada à história do relevo, localmente e regionalmente. Dessa forma, conforme Bierkland (1990), os estudos sobre Solos para a Geomorfologia almejavam ao menos um dos seguintes objetivos:

- a) Definir cronossequência de solos, utilizadas a fim de estimar a idade dos depósitos superficiais correlativos;
- b) Utilizar os solos como indicadores de maior ou menor estabilidade das paisagens;
- c) Determinar propriedades dos solos que indiquem mudanças climáticas;
- d) Relacionar o desenvolvimento dos solos, a infiltração da água nele e o escoamento superficial das águas pluviais, provocando erosão nas vertentes.

Segundo Queiroz Neto (2000), isso foi utilizado no Brasil para interpretar a evolução das paisagens, considerando o solo não apenas seu integrante, mas um indicador de mecanismos e processos de evolução. Foram interpretadas as relações entre solos e relevo (QUEIROZ NETO, 2000, p. 62):

- a) Através da posição ocupada pelos perfis na paisagem, relacionada a superfícies geomórficas de diferentes idades;
- b) Pela presença de diferenciações verticais no interior dos perfis de solo, interpretadas como descontinuidades erosivas; essas diferenciações poderiam ser marcadas pela presença de linhas de pedra e de horizontes escurecidos (enterrados);
- c) Pelo estabelecimento de cronossequências, através dos resultados de análises laboratoriais e de interpretação da morfologia dos perfis;
- d) Pela presença de corpos ferruginosos (couraças, camadas concrecionárias), que denunciam processos antigos de intemperismo.

A análise estrutural da cobertura pedológica ultrapassou o estudo de perfis isolados e possibilitou uma análise detalhada da organização lateral e espacial (tridimensional) da cobertura do solo ao longo das vertentes (QUEIROZ NETO, 2000).

Boulet (1992) ressalta que essa análise propicia mostrar a participação de processos superficiais na diferenciação lateral da cobertura do solo; e entender a função e a relevância dos processos geoquímicos e pedológicos na evolução do relevo.

Queiroz Neto (2000) ressalta que é a circulação interna da água o fator responsável pelas ações geoquímicas que eliminam ou redistribuem elementos das vertentes. Isso provoca modificações nas formas e gera novas feições, acelerando ou antecedendo processos erosivos superficiais. A evolução do relevo, portanto, não resulta apenas da sucessão de processos paleoclimáticos ou de oposição entre a morfogênese e a pedogênese (climas mais secos e mais úmidos, respectivamente), pois estas podem atuar de forma solidária e contemporânea.

Atuando como agente de morfogênese, a erosão promove a esculturação da crosta terrestre, condicionada pelo regime climático, relevo, cobertura vegetal e tipo de solo. É resultado da dinâmica de um sistema ambiental, ou seja, da dinâmica de uma dada paisagem entendida como sendo a síntese dos diversos componentes que a produzem (DOLLFUS *apud* VITTE; MELLO, 2007).

### 2.3 EROSÃO E CONSERVAÇÃO DOS SOLOS

Bertoni e Lombardi Neto (1999, p. 68) conceituam erosão como “o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água e pelo vento”. A erosão gera pedogênese pela transformação de rocha em solo e pelo transporte do material que compõe um solo para outros locais, dando origem a um solo com novas características.

A água é responsável por cerca de 56% da degradação dos solos no mundo. Atribui-se a erosividade das chuvas à sua energia cinética ou *momentum* (produto da massa pela velocidade), o que se relaciona à intensidade ou quantidade total das chuvas. O momentum é uma medida de pressão (força por unidade de área), o qual tem o caráter de um stress mecânico, causador de desagregação do solo (VITTE; MELLO, 2007).

Pichler (*apud* VITTE; MELLO, 2007) classifica as principais formas de erosão hídrica:

- a) Erosão pelo impacto da chuva ou *splash*;
- b) Erosão em lençol ou laminar;
- c) Erosão em ravinas;

d) Erosão em voçorocas ou boçorocas.

A erosão do solo ocorre em três estágios: desgaste, transporte e deposição dos sedimentos (LAL, 2001). O desgaste inicia-se com a quebra dos agregados pelo impacto das gotas de chuva, força de cisalhamento ou arraste da água e do vento ou dissolução de agentes cimentantes devido a reações químicas. Esses sedimentos são transportados por água corrente ou vento e depositados quando a velocidade do vento ou da água diminui pelo efeito da declividade ou da cobertura do solo. Esse transporte pode variar de alguns milímetros a milhares de quilômetros e o tempo do desprendimento até deposição, de alguns segundos a milhares de anos (ELLISON *apud* LAL, 2001).

Quando as gotas da chuva atingem o solo, inicia-se o *splash* (ou erosão por salpicamento), início do processo erosivo, no qual as partículas componentes do solo são preparadas para serem transportadas por meio do escoamento superficial, pela ruptura de seus agregados e pela própria ação transportadora do salpicamento das partículas. Varia de acordo com a resistência do solo ao impacto das chuvas (GUERRA *apud* VITTE; MELLO, 2007).

A erosão laminar, ocorre pelo escoar difuso das águas pluviais, removendo as camadas superficiais do solo. Na erosão linear, o fluxo hídrico concentra-se, resultando em incisões na superfície do terreno podendo formar as ravinas (SALOMÃO *apud* PEREIRA; RODRIGUES, 2022), e boçorocas.

A erosão acelerada dos solos, aquela que decorre em intensidade maior ao que a erosão natural é normalmente decorrência do resultado das ações humanas em determinadas condições climáticas, de vegetação, solo e relevo (VILELA FILHO, 2002). Diante do problema da perda do solo causada pela erosão e as alternativas para mitigar ou corrigir isso, cita-se trecho da Declaração de Princípios da Conferência de Denver (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999, p. 15):

No mundo inteiro estão-se esgotando os recursos naturais como resultado de uma exploração desatinada e temerária que se tem omitido das leis inexoráveis da natureza, esgotamento que acelerou de modo desastroso a última guerra mundial. Em algumas regiões, milhões de pessoas se veem obrigadas a viver em condições mais pobres do que permite uma subsistência tolerável, e em nenhuma parte do mundo se tem conseguido obter um nível de vida adequado a todos. Cremos firmemente que a terra é bastante rica para garantir uma norma de vida melhor para todos, sempre que se adotem sem demora as medidas para esse desenvolvimento, aproveitamento e proteção. Cremos que, apesar de nossos conhecimentos incompletos e

inexatos, mesclados de erros e equívocos, a humanidade sabe já o suficiente para idear medidas efetivas e aplicá-las com bom êxito. Cremos que está ao nosso alcance conservar a civilização, avançar mais do que temos feito pela comodidade e a estabilidade que são os mais velhos sonhos da humanidade, e chegar às gerações futuras, aumentando e reforçando o patrimônio natural que agora se esgota devido ao nosso malbarateamento.

Ross (2011) afirma que a funcionalidade dos ambientes naturais alterados pelas ações humanas é comandada pela energia solar vinda pela atmosfera e pela energia do interior da Terra por meio da litosfera, cuja troca permanente de energia e matéria entre a litosfera e a atmosfera (juntamente com a presença e água nos três estados físicos) é responsável pela dinâmica da vida no planeta.

Os seres humanos também modificam as taxas de erosão natural da paisagem interceptando sedimentos ao longo das vias hidrológicas (SYVITSKI; KETTNER, 2011). Essa intervenção, segundo Reis e Miorin (2006), acelera o tempo de modificação da paisagem, tendo como um de seus resultados a erosão do solo. Ao longo de aproximadamente 5000 anos os seres humanos vêm atuando na superfície terrestre e a transformando, desde a Idade do Ferro até a Revolução Industrial e os dias atuais, passando pelo desenvolvimento da agricultura e a construção arquitetônica de civilizações como a Maia e o Egito Antigo, aumentando quase exponencialmente a estimativa de terra (solo e rochas) movida per capita, pari passu ao também exponencial crescimento populacional ao longo da História (HOOKE, 2000).

Ahnert (1970) já alertava que o resultado do trabalho humano na superfície terrestre não deveria ser subestimado, pois o desmatamento e a perturbação da estrutura natural do solo para a agricultura e a construção civil tendem a aumentar a quantidade de sedimentos das vertentes e interflúvios. A impermeabilização do solo protege a superfície da desnudação, mas aumenta o escoamento superficial em detrimento da infiltração, reforçando assim a descarga fluvial, o que causa maior frequência de inundações e erosão fluvial.

Carvalho (1994) confirma que a ação humana tem acelerado o processo de erosão devido à falta de cuidado com o meio ambiente e ao aumento populacional. O grau de modificação da superfície terrestre pela intervenção humana nos últimos séculos é tal que há autores que definem esta época como Antropoceno, na qual as atividades humanas teriam uma força de mudança de magnitude global, especialmente quanto ao fluxo de sedimentos nos corpos hídricos, devido a diversas

atividades como mineração, agricultura, construção de barragens e pesca (SYVITSKI; KETTNER, 2011). Um exemplo do resultado disso é que em 2020 a quantidade de material produzido pela humanidade (como plásticos, metais, cerâmica, asfalto, concreto, cascalho e outros agregados) excedeu a de biomassa no planeta, superando 1,1 teratoneladas (ELHACHAM *et al.*, 2020).

O impacto da atividade humana na produção/mobilização de sedimentos se intensificou nos últimos 1000 anos. Todavia Syvitski e Kettner (2011) ressaltam que a data exata do início do Antropoceno depende do critério utilizado. Iniciou-se em 1950 se forem considerados os registros de temperatura na superfície da Terra; em 1870 se o critério for a acelerada ascensão do nível do mar; e 1750 caso se tome como parâmetro o incremento das concentrações atmosféricas globais de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Syvitski e Kettner (2011) também elencam algumas das atividades humanas que influenciam na erosão dos solos:

- a) Desmatamento, associado à queda de encostas e sedimentação a jusante;
- b) Pastejo de animais de fazenda, gerando ravinas<sup>2</sup> e erosão do solo;
- c) Agricultura, em ações como terraceamento, lavoura e sistemas de irrigação, extração de água subterrânea e consequentes assoreamento, erosão e subsidência;
- d) Mineração, resultando em alteração nos canais fluviais e nas encostas, instabilidade destas e subsidência;
- e) Canalização de hidrovias, incluindo reservatórios e barragens, desvios, diques de canal, aprofundamento de canal e erosão costeira;
- f) Gestão costeira por meio de molhes, quebra-mares, paredões e portos, ocasionando erosão costeira não natural ou alterações na sedimentação, em pântanos, e manguezais e em dunas;
- g) Guerras que ampliam muitas das atividades supracitadas por tempos superiores aos do combate; e
- h) Aquecimento do clima global e seu impacto na inundações costeiras, intensidade de precipitação e dos ciclones, desertificação e aceleração do ciclo hidrológico.

Todas essas atividades relacionam-se com o uso do solo e isso interfere na qualidade e quantidade dos outros recursos como água e biomassa vegetal. O uso

---

<sup>2</sup> Ravinas, segundo Cavaguti (1994), são canais criados pela ação do escoamento superficial.

exacerbado dos recursos naturais sem uma estratégia de conservação ou renovação deles pode ocasionar um grande esgotamento das fontes de subsistência das populações tanto em termos locais quanto regionais.

Essa exaustão gera migrações para áreas com recursos ainda abundantes ou mesmo, em casos de comunidades isoladas geograficamente, a extinção de toda a comunidade, como ocorreu com o povo da Ilha de Páscoa em processo descrito por Diamond (2007). Nesse caso, não foi possível a renovação dos recursos devido à produção humana. Percebe-se que não foi apenas esse povo que conheceu a ruína de sua civilização devido ao esgotamento de recursos naturais:

A erosão foi um dos fatores mais importantes que causaram a queda das primeiras civilizações e impérios, cujas cidades arruinadas estão agora como despojos estéreis das terras mais férteis do mundo. Os desertos do Norte da China, Pérsia (Irã), Mesopotâmia e Norte da África, contam todos a mesma história do gradual esgotamento do solo, à medida que as exigências crescentes, relativamente a ele, pela progressiva civilização, excediam seu poder recuperativo. A decadência do Império Romano também pode ser contada como uma história do desflorestamento, esgotamento do solo e erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999, p. 14).

Bertoni e Lombardi Neto (1999, p.13) alertam que os solos estão desaparecendo em um ritmo inigualável na História, pela ação das águas e ventos e que a erosão “tem alterado o curso da História do mundo mais radicalmente que qualquer guerra ou revolução”.

De acordo com Vitte (1997), os problemas conexos à degradação ambiental têm sido objeto de mobilizações por parte do setor público e de grupos da sociedade civil e, dentre as questões ambientais, a degradação dos solos está entre as que têm suscitado maior preocupação.

Os processos erosivos causam danos “em atividades econômicas que envolvem a agricultura, meio ambiente e também a infraestrutura e drenagem no meio urbano é possível relacionar tal fenômeno com perdas de ordem financeira, material e ambiental.” (HENNIG; MOTA, 2018, p. 256).

Mensurar as taxas de perda de solo por erosão e analisar suas consequências no espaço é fundamental para antever desastres, considerando que esse fenômeno consta no Código Brasileiro de Desastres (BRASIL, 2012), como erosão continental,

discriminada em laminar, ravinas e boçorocas<sup>3</sup>. O código do desastre é utilizado na inserção dos dados do desastre ocorrido no Sistema Integrado de Informações de Desastres (S2ID), ação realizada pela Defesa Civil do município ou estado atingido. Ele é utilizado para a solicitação e transferência de recursos federais para os municípios.

No caso específico das calamidades geológicas relacionadas à erosão, elas são definidas como “Desastres Graduais ou de Evolução Crônica”, pois têm efeitos sustentados e tendem a se agravar e acentuar gradualmente. Para fins de informação no sistema, considera-se a data de ocorrência do desastre como a data da decretação de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública municipal ou estadual (BRASIL, 2012).

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (BRASIL, 2013), entre 1990 e 2000 houve um aumento de 9,6% nos registros de ocorrência de desastres erosivos no Brasil. Foi o segundo maior aumento registrado, atrás apenas dos movimentos de massa, cujos registros aumentaram 21,7% nesse período. De 1991 a 2012, há registro de que a erosão afetou 18.203 pessoas na região sul, 155.500 pessoas na região sudeste, 1.153.583 pessoas na região centro-oeste, 206.035 na região nordeste e 150.499 na região norte (BRASIL, 2013).

## 2.4 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS

Para a estimativa de erosão, utilizam-se modelos de simulação, a exemplo dos modelos matemáticos, auxiliando na determinação de práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários agrícola (CHAVES *apud* GARCIA, 2001), pois resultados de estimativas exclusivamente empíricas são limitadas quanto ao tempo, custos e imprevisibilidade da natureza (FERREIRA; SMITH *apud* GARCIA, 2001).

Uma das principais metodologias utilizadas para estimar a perda de solo de uma dada área é a Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation*, USLE). A USLE é um modelo numérico para estimar perdas médias de solo a longo prazo a partir da erosão hídrica, considerando as condições de uso do solo previstas

---

<sup>3</sup> Boçorocas ou voçorocas, segundo Cavaguti (1994), são canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático, resultado do crescimento das ravinas.



pelos fatores da equação (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Em termos de cálculo, o resultado de perda de solo (A) é dado em unidade(s) de massa por área ao longo de determinado tempo.

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Fonte: Wischmeier e Smith (1978)

Essa equação foi inicialmente desenvolvida por Wischmeier e Smith na década de 1950 nos EUA em colaboração com o Serviço de Pesquisa em Agricultura Nacional e a Universidade de Purdue para um manual do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos com o objetivo de prever perdas por erosão pluvial, em termos de massa por área (*Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide To Conservation Planning*)<sup>4</sup>. Sinteticamente, na equação da USLE a letra A simboliza a perda de solo total calculada, R é o fator de erosividade das chuvas, K simboliza o fator de erodibilidade do solo, L é o comprimento da área na qual se calculará a perda de solo, S indica a declividade dessa área, C refere-se ao fator de cobertura vegetal e P, às práticas conservacionistas.

A concepção da equação está baseada em análises de perdas de solo empiricamente mensuradas em parcelas de solo agrícola em vários estados norte-americanos que permitiram o melhoramento das estimativas de cada um de seus fatores ao longo do tempo. Seu objetivo é habilitar os responsáveis por planejamento a prever a taxa média de erosão do solo por cada combinação possível de sistema de cultivo e práticas de uso do solo em tipo de solo, padrão pluvial e topografia específicos (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Para estimativa da perda de solo por meio da USLE, foi delimitada a parcela em questão com base na análise do modelo digital de elevação (DEM) gerado a partir da imagem do sensor de radar PALSAR (*Phase Array type L-Band Synthetic Aperture Radar*) associado ao satélite ALOS de resolução espacial de 12,5 metros. Para essa foi estimada a perda superficial de sedimentos (solo) por meio da USLE, cujos fatores componentes da equação foram calculados conforme descrição adiante.

A seguir são descritos e tratados cada um dos fatores da Equação Universal de Perda de Solo como originalmente concebido por Wischmeier e Smith (1978).

---

<sup>4</sup>Previsão de Perdas por Erosão Pluvial: um Guia para Planejamento de Conservação, em tradução livre.

Destaca-se que a USLE, desde sua concepção, passou por adaptações que acabaram dando em formas ligeiramente diferentes de realizar os cálculos e que, por vezes, acabaram dando em outras denominações, como a RUSLE.

#### 2.4.1 Fator R

O fator R refere-se à erosividade das chuvas que atingem a área de interesse. Isso, segundo Mazurana et al. (2009, p. 976), "é a capacidade potencial das chuvas em causar erosão do solo, e se constitui em grande problema nas áreas de utilização agrícola dos solos". Para o cálculo desse fator neste estudo, foram utilizadas as Normais Climatológicas de 1981 a 2010 (Quadro 1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) captada pela estação meteorológica de Iraí, município vizinho a Alpestre.

Obtém-se a erosividade anual das chuvas de todos os anos da série analisada por meio da soma dos índices mensais de cada ano (MAZURANA et al., 2009). O fator R possui como unidade MJmmha-1h-1 (energia vezes quantidade de chuva por área e tempo).

Foi utilizada uma equação de regressão para estimativa do índice de erosividade EI30, que é definido como o produto da energia cinética total da chuva pela intensidade máxima da chuva em 30 minutos. O fator R foi definido pela soma dos valores mensais de EI30 (BACK, 2018), utilizando-se as médias mensais de precipitação da estação meteorológica de Iraí.

O fator de erosividade das chuvas foi definido pela soma dos valores mensais de EI30 (BACK, 2018), com a fórmula de Back, Alberton e Poletto (2016):

$$EI30 = 44,307(Pm)^2 Pa^{-1} + 109,6$$

na qual Pm é a precipitação mensal e Pa é a precipitação anual. O resultado indica a classe de erosividade das chuvas, conforme Quadro 1.

Conforme Borselli *et al.* (2012), "há um efeito climático significativo na erodibilidade do solo" e Ahnert (1970) concluiu que é a sazonalidade das chuvas que afeta as taxas de desnudação:

As de precipitação média anual não parecem ter influência significativa sobre a taxa de desnudação total, embora possa afetar a taxa entre o esvaziamento em solução e a remoção de partículas. Provavelmente a distribuição sazonal da precipitação é mais importante do que o total anual.

Quadro 1 - Precipitação acumulada em Iraí de 1981-2010

<b>Mês</b>	<b>Quantidade (mm)</b>
<b>Janeiro</b>	<b>162,2</b>
<b>Fevereiro</b>	<b>187,3</b>
<b>Março</b>	<b>120,1</b>
<b>Abril</b>	<b>157,6</b>
<b>Mai</b>	<b>163,2</b>
<b>Junho</b>	<b>159,1</b>
<b>Julho</b>	<b>144,5</b>
<b>Agosto</b>	<b>129,6</b>
<b>Setembro</b>	<b>175,5</b>
<b>Outubro</b>	<b>240,7</b>
<b>Novembro</b>	<b>152,0</b>
<b>Dezembro</b>	<b>160,2</b>
<b>Anual</b>	<b>1952,0</b>

Fonte: Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (adaptado pelo autor)

#### 2.4.2 Fator K

O fator K diz respeito à erodibilidade, ou seja, a taxa de perda de solo para um solo específico de acordo com suas características intrínsecas. Existe uma diferença entre erosão do solo (A) e erodibilidade do solo (K), pois aquela pode ser mais influenciada pelas características das chuvas, da cobertura do solo e da inclinação ou declive do terreno do que pelos atributos inerentes do solo, muito embora alguns solos sejam mais facilmente erodidos que outros, mesmo com os demais fatores iguais (WISCHMEIER; SMITH, 1978), isso devido a variáveis como textura do solo, quantidade de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo (PEREIRA, 2006).

A erodibilidade representa a resposta de um solo a numerosos processos hidrológicos e erosivos, dos quais ressaltam-se o escoamento superficial (*runoff*), erosão laminar e em sulco (BORSELLI *et al.*, 2012). Para a definição desse fator, foi utilizado o software KUERY desenvolvido e disponibilizado gratuitamente por Borselli *et al* (2012) (Figura 7). O cálculo por meio desse aplicativo leva em consideração as informações de textura e quantidade de matéria orgânica para obtenção do fator K.

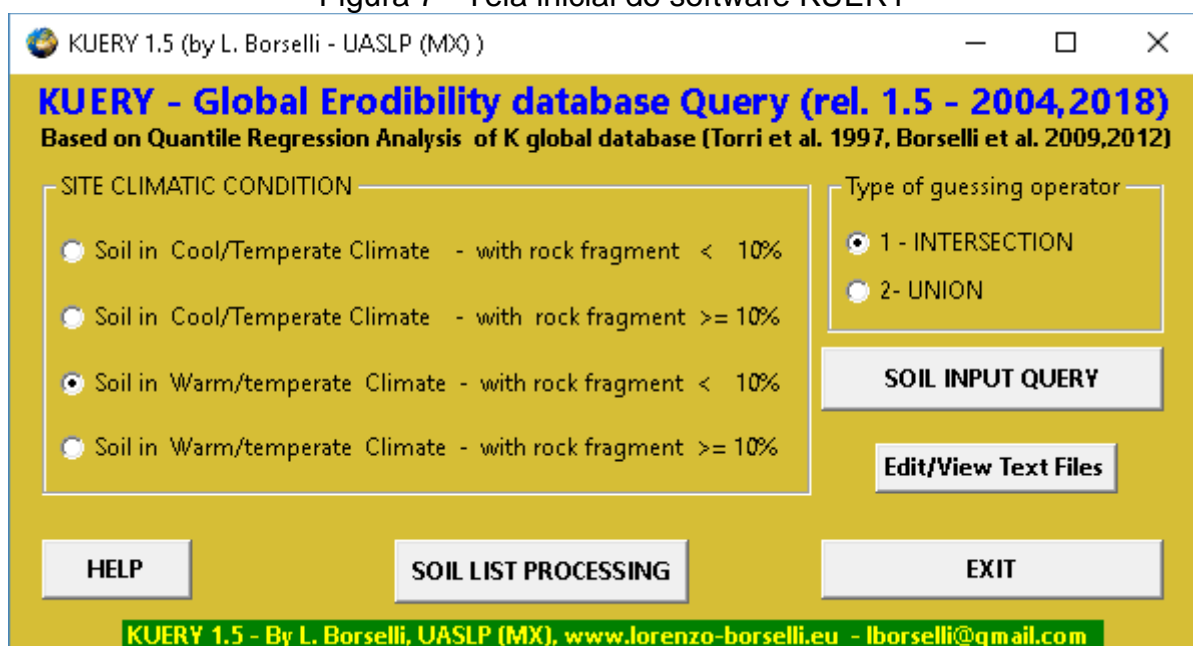
De modo a viabilizar a obtenção do fator K a matéria orgânica do horizonte A da parcela foi mensurada nos laboratórios da ESALQ/USP seguindo o método de pH H<sub>2</sub>O; pH em KCL mol L<sup>-1</sup> (TEIXEIRA, 2017). A amostra desse horizonte foi coletada em campo em 19 de outubro de 2019, seca ao ar, destorroada e quarteada. Vinte gramas foram utilizados para a mensuração da textura e outra parte foi enviada para mensuração da matéria orgânica.

No cálculo do fator K por meio do software mencionado, foi escolhida a opção “Solo em clima quente com fragmentos de rocha menor que 10%” (Figura 7). O software considera ainda no cálculo do fator K, os parâmetros D<sub>g</sub> e S<sub>g</sub> (Figura 8). O parâmetro D<sub>g</sub> refere-se ao logaritmo da média geométrica da distribuição do tamanho de partícula, no qual  $f_i$  É a fração de massa das partículas na classe com intervalo de diâmetros  $d_i$  e  $d_{i-1}$  (em mm) (BORSELLI, 2012).

$$D_g = \sum_i f_i \log_{10}(\sqrt{d_i - d_{i-1}})$$

Fonte: Borselli (2012)

Figura 7 - Tela inicial do software KQUERY



Fonte: BORSELLI (2012)

Figura 8 - Dados do solo

Fonte: BORSELLI (2012)

O segundo parâmetro textural ( $Sg$ ) é o logaritmo do desvio padrão geométrico de  $Dg$ . Para o cálculo desses parâmetros é necessária a inserção das porcentagens de areia, silte e argila.

$$Sg = \sqrt{\sum_i f_i [\log_{10} \sqrt{(d_i - d_{i-1})} - Dg]^2}$$

Fonte: Borselli (2012)

Nessa nova janela (Figura 9), são inseridos os percentuais de areia, silte e argila, que caracterizam a textura do solo. Para a amostra considerada da parcela a textura do solo foi mensurada conforme a textura do solo foi feita no laboratório de geologia da UFFS Campus Chapecó em dezembro de 2019, conforme procedimentos indicados por RUIZ (2005) no Laboratório de Geologia da UFFS. Com essas informações, o software calcula o valor médio do fator  $K$ . Este foi o valor considerado para emprego na USLE.

Figura 9 - Tela para inserção os dados de textura do solo

Fonte: Borselli (2012)

### 2.4.3 Fator LS

O fator LS, também chamado de fator topográfico, é uma combinação do comprimento da área estudada com a sua inclinação (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O comprimento da inclinação compreende a distância do ponto de origem do escoamento superficial até onde a deposição começa a ocorrer (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Vitte e Mello (2007) afirmam que o comprimento e a declividade das vertentes são os fatores em que o relevo influencia a erosão, de modo que as vertentes mais íngremes facilitam a erosão dos solos, na medida em que aumentam o escoamento superficial.

A parcela de vertente considerada para o cálculo da USLE situa-se entre 200m e 300m de altitude. Tanto o comprimento da parcela quanto a inclinação (declive) da área foram calculados com base nas curvas de nível extraídas do modelo digital de terreno ALOS/PALSAR (ASF, 2015). O fator LS é adimensional. Neste trabalho fator LS será calculado pela equação apresentada por Coutinho *et al.* (2014), na qual X é comprimento da parcela (m); e D é a declividade do terreno (%).

$$LS = \left(\frac{\sqrt{x}}{100}\right) * (1,36 + 0,97D + 0,1385D^2)$$

Fonte: Coutinho *et al* (2014)

### 2.4.4 Fator C

De Ploey (*apud* VITTE; MELLO, 2007), afirma que a vegetação e o embasamento rochoso protegem as vertentes contra a erosão. Isso se fundamenta, precipuamente, na hipótese de que a força da gravidade é atenuada pela resistência oferecida pelas rochas afloradas bem com que a vegetação e a cobertura rochosa promovem desvios da água da superfície do solo, além de absorver a água e parte da energia erosiva de origem climática.

A vegetação é utilizada na bioengenharia para controle da erosão e estabilização de taludes porque as raízes funcionam como fibras que aumentam a resistência do solo ao cisalhamento (BARBOSA; LIMA, 2013). A USLE leva em consideração o tipo de cobertura vegetal como fator de proteção contra a erosão superficial do solo, denominando-o de fator C. Ele é relevante para a proteção do solo e mitigação das perdas de solo (PEREIRA, 2006).

Conforme a Tabela 1 apresentada por Pereira (2006), é possível verificar que, com o aumento da cobertura vegetal, o valor do fator C diminui. Ou seja, a quantidade de solo coberto tem relação inversa com a suscetibilidade à erosão hídrica. Da mesma forma, quanto menos densa e mais baixa é a vegetação, menos ela mitiga a perda de solo.

Tabela 1 - Fator C para diferentes tipos de cobertura do solo e índices de recobrimento vegetal

Tipo de Cobertura do Solo	Fator C (% de Recobrimento)				
	0	25	50	75	100
Sem cobertura/solo desnudo	1,00	-	-	-	-
Culturas agrícolas	-	0,500	0,250	0,100	0,050
Pastagem e ervas-daninhas	-	0,450	0,200	0,090	0,010
Arbustos	-	0,400	0,180	0,090	0,005
Árvores/reflorestamento	-	0,350	0,150	0,0080	0,003
Floresta densa	-	0,280	0,100	0,050	0,001

Fonte: Pereira (2006)

Os diferentes tipos de cobertura do solo influenciam a suscetibilidade de perda do material que o compõe, sendo que a eficiência da atenuação dessa perda inicia-se com 70% do solo coberto (PEREIRA, 2006). Conforme os índices trazidos por Walker (2004 *apud* PEREIRA, 2006, p. 14), percebem-se as diferenças entre os tipos e as

quantidades de vegetação presente na cobertura do solo e suas influências na mitigação da erosão hídrica do solo.

Ou seja, comparando-se a vegetação original com a vegetação adotada pela ação humana, pode-se concluir que a pastagem é 50 vezes menos eficaz para a conservação do solo que a vegetação original de floresta, em casos de 100% de cobertura vegetal.

#### 2.4.5 Fator P

O fator P (Tabela 2) é relativo às práticas de manejo e conservação do solo e varia de acordo com a inclinação, os níveis de proteção e as práticas de manejo e é adimensional (DIAZ, 2001; PEREIRA, 2006).

Em caso de não haver práticas executadas na área, como é o caso da área de estudo, o valor será 1, que numericamente não afeta o resultado da equação, visto que os valores tabelados para as práticas conservacionistas juntamente à inclinação são menores que 1, o que significa que na equação esse fator tende a diminuir a quantidade de massa de solo perdida.

Tabela 2 - Fator P de práticas conservacionistas

Inclinação %		Fator P					
		1-2	3-8	9-12	13-16	17-20	21-25
Práticas Conservacionistas	Cultivo em nível	0,60	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
	Cultivo em faixas	0,30	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
	Terraços	0,12	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18

Fonte: Adaptado de Diaz (2001)

Vale destacar que, embora não tenham sido verificadas *in loco* práticas de manejo junto à cobertura de pastagem da qual a parcela considerada faz parte, não há erosão laminar do solo aparente na área.



## 2.5 DESNUDAÇÃO DO RELEVO

A erosão do solo ocasiona um desgaste volumétrico na superfície responsável pelo rebaixamento do relevo das áreas continentais, podendo atingir valores consideráveis em regiões desprotegidas. A esse conjunto de processos causados pelos agentes de intemperismo e de degradação do solo que culminam no abaixamento de superfícies elevadas dá-se o nome de denudação (CARVALHO, 1994).

A denudação das superfícies continentais é muito variável de um ponto de vista espacial, desde espaços pequenos (como as vertentes) até vastas bacias de drenagem. Varia também desde uma escala de um evento erosivo rápido, por exemplo, até a gênese e degradação de cadeias de montanhas. Nesse sentido, existem muitas técnicas disponíveis para mensurar os fluxos, balanços e taxas de sedimentação e denudação.

Entre as principais estão a mensuração da carga fluvial suspensa, as estimativas de quantidades de sedimentos em sistemas sedimentares, o uso de termocronômetros como U-Th/He, as análises de traços de fissão e as análises de radionuclídeos cosmogênicos (ALLEN, 2017). Embora a erosão das superfícies continentais seja uma parte importante da desnudação total, sobretudo em áreas de regime pluviométrico significativo, é importante ressaltar que há outra parte da desnudação que acontece no subsolo e é representada pela exportação geoquímica de solutos dos mantos de intemperismo via trabalho de percolação das águas em subsuperfície.

Importante considerar também que nem toda a carga sedimentar gerada pelo processo erosivo será exportada para fora de uma determinada bacia de drenagem, escala espacial normalmente abordada nos estudos de quantificação da desnudação em larga escala. No entanto, a erosão dos solos é uma parte importante da desnudação mecânica dos continentes.

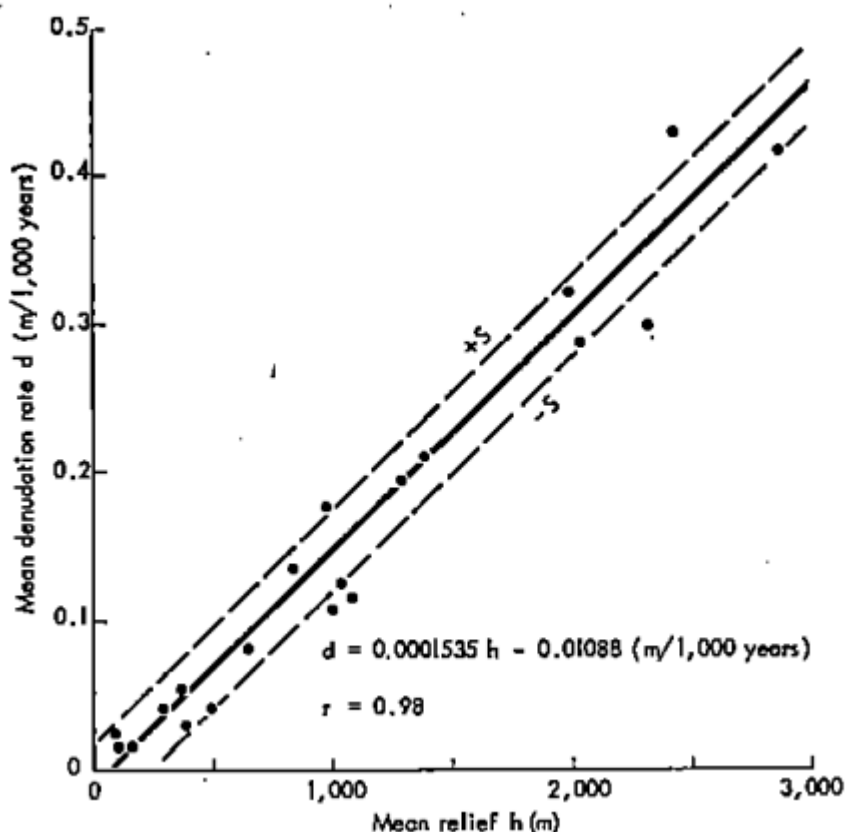
Ahnert (1970) diz que a taxa de denudação é muito mais difícil de se determinar que o relevo, pois para conhecer isto é suficiente o pesquisador escolher a diferença de elevação em uma área padrão, como 1km<sup>2</sup>, em uma bacia de drenagem. Isso acontece porque a taxa de desnudação é muito lenta em comparação à escala humana e sensível a mudanças ambientais que afetem os instrumentos de medição

que estejam sobre as vertentes, influenciando o resultado. Por isso, a determinação dessa taxa deriva da determinação do transporte de sedimentos dos rios.

Essa taxa de denudação é principalmente influenciada pelas características do relevo, que tende a aumentar conforme há a remoção do material rochoso intemperizado com as partículas sólidas (AHNERT, 1970).

Essa relação diretamente proporcional entre relevo e denudação é ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Relação entre taxa média de desnudação e relevo médio.



Fonte: Ahnert (1970)

Do ponto de vista da consideração do processo erosivo enquanto fenômeno natural e lento de evolução e transformação das paisagens, vale destacar que a erosão constitui processo fundamental na desnudação das paisagens continentais e na configuração do relevo, que por sua vez condiciona o trânsito e a concentração de águas correntes no espaço. Sobre essa relação entre relevo, solo e fluxos hídricos, Espindola (2010, p. 67-68) afirma:

A evolução do relevo em áreas desprovidas de movimentos tectônicos expressivos estaria subordinada a um nível de base a comandar os mecanismos de acumulação e remoção dos materiais das formações

superficiais. Compartimentos com relevos suaves seriam aptos a acúmulos de espessos mantos de alteração e solos; ao contrário, relevos ondulados estariam sujeitos a descarnamentos erosivos e solos rasos. Mudanças climáticas, acompanhadas de modificações das coberturas vegetais, acarretariam novos direcionamentos nessa dinâmica. Raramente se atribuiu ao solo a co-responsabilidade pelas modificações dos fluxos hídricos geradores das denudações.

Essa co-responsabilidade pode ser explicada pelas características de erodibilidade do solo, que modificam o relevo e, portanto, a drenagem. Na medida em que a taxa de desnudação leva em consideração o relevo, que por sua vez tem no solo um fator de transformação mediante sua maior ou menor resistência à erosão, o quantitativo de material pedogenizado perdido na escala do tempo geológico é um dado que ajuda a pensar a respeito da desnudação da paisagem de um ponto de vista geomorfológico. Questão complexa nesse sentido, no entanto, é a extrapolação de taxas de erosão atuais para cenários ambientais pretéritos, dos quais muitas vezes se conhece pouco em termos dos fatores e processos intervenientes em sua constituição.

A estimativa da quantidade de solo perdida por erosão hídrica em determinada área ao longo de certo tempo é uma estimativa importante não só para subsidiar tomadas de decisão a respeito da conservação e uso do solo, mas também para inferir as taxas de desnudação da superfície a médio termo. Nesse último caso, a aplicação da USLE fornece ainda um valor importante para balizar as estimativas de rebaixamento ou desnudação do relevo. Além disso, tais estudos do solo e do seu uso contribuem para uma análise da fragilidade ambiental de um ambiente, para a qual se exigem estudos sobre relevo, subsolo, solo, uso da terra e clima (ROSS, 2011). Se não houvesse rochas duras, proteção vegetal e irregularidades na crosta terrestre, a denudação gradual já teria levado todo o solo erodido para os oceanos (CARVALHO, 1994).

Tendo em vista que o escoamento superficial das águas tem grande importância no montante de material desnudado quanto maior a erosão dos solos, mais suscetíveis estiverem ao processo erosivo e mais íngremes forem as áreas, maior será a denudação. A declividade da superfície é um fator importante pois confere mais energia à ação dos agentes erosivos. Essa altura de degradação do solo consiste num valor relativo à camada de certa altura retirada da superfície pelo efeito da erosão e pode ser estimada em  $t.km^{-2}.ano^{-1}$  pela seguinte equação (CARVALHO, 1994):

$$h = \frac{E}{\gamma_{ap}}$$

$$h = \frac{\frac{t}{km^2 \times ano}}{\frac{t}{m^3}}$$

$$h = \frac{t}{km^2 \times ano} \times \frac{m^3}{t}$$

Na qual:

h= taxa anual de rebaixamento do relevo, em m/km<sup>2</sup>.ano

E= perda de solo, em t/km<sup>2</sup>.ano

$\gamma_{ap}$ = massa específica do solo, compreendido entre 1,3 a 2,4 t/m<sup>3</sup>

Carvalho (1994) explica que normalmente se calcula a degradação considerando  $\gamma_{ap}$  como 1,6 t/m<sup>3</sup> e que para espaços de tempo curtos, a exemplo de um ano, expressa-se o valor em milímetros e em metros para milhares de anos. Para os fins desta pesquisa, o numerador da equação anterior refere-se à mensuração da erosão do solo proporcionada pela USLE, enquanto o denominador refere-se a uma densidade média do material como preconizado por Carvalho (1994).

Por definição, e mediante a necessidade de conversão de unidades de t/km<sup>2</sup>.ano para m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.ano, 1 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>.ano é equivalente a uma taxa média de rebaixamento superficial de 1mm/1000 anos ou 1mm/ka (SUMMERFIELD, 1991). Essas taxas são tradicionalmente mensuradas com base na descarga sólida de rios.

Importante destacar que o exercício de aplicação das perdas de solo para estimativa parcial da desnudação aqui empreendida deve levar em consideração alguns pontos importantes. Primeiro, o fato de que a erosão é variável temporalmente, sobretudo em tempos longos como o tempo geológico. Uma perda volumétrica fixa de material sedimentar superficial não é real no tempo geológico em função das alterações ambientais e de regime pluviométrico às quais o próprio solo (reservatório fornecedor de sedimentos) está submetido.

A desnudação total é sempre uma taxa de perda de material para determinada área. Se a carga sedimentar não sai dessa área, não é considerado como desnudação. Por isso, as taxas desnudacionais são mensuradas a partir da carga transportada pelos rios. Portanto, nem toda perda de solo significa, ao final das contas, uma desnudação de determinada área. Os sedimentos podem ficar estocados em

partes do relevo como por exemplo colos e concavidades (SUMMERFIELD, 1991 e ALLEN, 2017).

E de fato assim podem permanecer por longos tempos. A desnudação total (mensurada como a soma de desnudação mecânica que inclui a erosão superficial do solo mais a desnudação geoquímica) trata de um valor superior à mensuração apenas da degradação do solo ou altura de degradação do solo (erosão líquida) como considerada por Carvalho (1994) e tratada neste trabalho.

## 2.6 MATERIAIS E MÉTODOS

Durante este trabalho, foi realizada pesquisa bibliográfica de artigos nas plataformas Periódicos CAPES e Google Scholar, buscando-se pelos termos “perda de solo” e “erosão”, livros sobre pedologia, erosão e conservação de solos, sítios eletrônicos e o Portal de Dados do Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos<sup>5</sup>), para a compreensão dos conceitos e da dinâmica relacionados aos processos erosivos, à perda de solo, ao rebaixamento do relevo e à caracterização da área de estudo.

Optou-se pelo uso da Equação Universal de Perda de Solos de Wischmeier e Smith (1978) por ser ainda uma metodologia relativamente simples e empregada no Brasil (WAGNER, 1986), fato corroborado pelo resultado da pesquisa nas bases de dados consultadas.

Foram utilizados os softwares Google Earth Pro<sup>6</sup>, KUERY 1.5<sup>7</sup>, desenvolvido por Borselli *et al.* (2012), netErosividade RS<sup>8</sup>, do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa e Libreoffice Calc<sup>9</sup> para os cálculos da pesquisa.

Com o Google Earth Pro foi plotada a área e estudo, com as informações do Modelo Digital de Elevação ALOS PALSAR (ASF, 2015) para o posterior cálculo do fator LS. Com o KUERY 1.5 foi mensurado o Fator K. Com o netErosividade RS foi

---

<sup>5</sup> Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>

<sup>6</sup> Disponível em: <https://www.google.com/earth/versions/#earth-pro>

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.lorenzo-borselli.eu/kuery/>

<sup>8</sup> Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

<sup>9</sup> Disponível em: <https://pt-br.libreoffice.org/descubra/calc/>

identificado um Fator R. No LibreOffice Calc foram tabelados os valores para os cálculos nas equações de perda de solo e de desnudação do relevo.

A fim de aprofundar o conhecimento e coletar amostras de solo para análise da textura, foi feito trabalho de campo visitando a área estudada na Volta Grande, município de Alpestre (RS), no dia 19 de outubro de 2019.

### 3 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos fatores da USLE para a parcela. De posse dos resultados da amostra, foi utilizado o software KUERY para obter a informação da erodibilidade do solo.

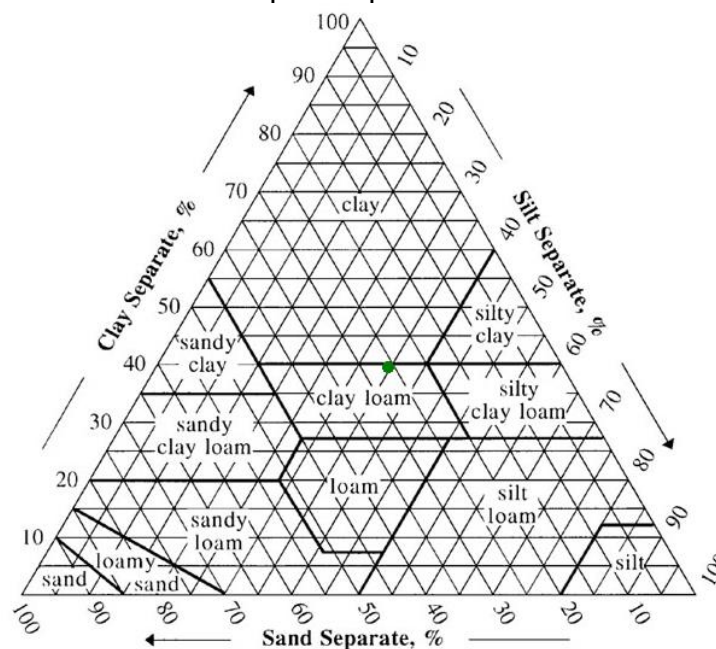
Com todas as informações obtidas foi calculada a perda de solo na parcela da vertente e sua taxa de denudação. Também foram tecidas discussões e comparações com outros trabalhos atinentes.

#### 3.1 FATOR K

A mensuração do fator k (erodibilidade do solo) é um dos principais e mais importantes para a USLE. Aqui foi utilizado o software KUERY (BORSELLI, 2012) que demanda o conhecimento da textura e da quantidade de matéria orgânica do solo. A coleta da amostra de solo foi encaminhada à ESALQ/USP para ser determinada a quantidade de matéria orgânica, a qual é de 31g/kg ou 3,1%.

A análise para determinação dos percentuais de areia, silte e argila foi feita no Laboratório de Geologia da UFFS em dezembro de 2019, conforme procedimentos indicados por RUIZ (2005). O resultado foi uma composição de 10,43% de areia grossa; 17,53% de areia fina; 32,98% de silte e 39,07% de argila. Portanto, a amostra do horizonte A utilizada para mensuração da perda de solo neste trabalho pode ser classificada como de textura franco-argilosa (Figura 11). Utilizando o software KUERY (versão 1.5), chegou-se a um valor de K médio de  $0,01868 \text{ tMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{h}$ .

Figura 11 - Textura do solo do horizonte A para a parcela considerada



Fonte: Soil Texture Calculator

[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167)

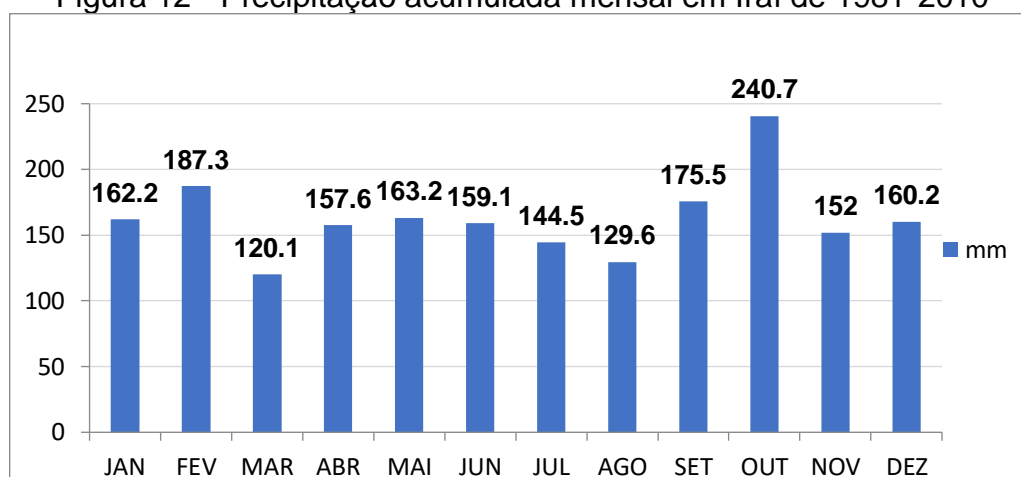
### 3.2 FATOR R

Neste estudo, foi calculado o fator R com base em dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com médias mensais e anual da estação meteorológica de Iraí (RS), constituindo esses dados uma média mensal de 1981 até 2010 (Figura 12). Foi escolhida a estação desse município por ser a mais próxima ao município de Alpestre, onde se localiza a parcela considerada para a mensuração da erosão.

Considerando o cálculo do fator R como o somatório dos EI30, os quais são  $EI30 = 44,307(Pm)^2 Pa^{-1} + 109,6$ , chegou-se ao resultado de  $8755,24 MJmmha^{-1}h^{-1}$  a (Quadro 2). Segundo Carvalho (2008) e Back e Poletto (2018), isso significa uma erosividade forte ou alta, conforme Tabela 3.



Figura 12 - Precipitação acumulada mensal em Iraí de 1981-2010



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (adaptado pelo autor)

Quadro 2 - Cálculo do fator R de 1981 a 2010

		<b>Precipitação mensal</b>	<b><math>44,307(P_m)^2 Pa^{-1} + 109,6</math></b>
<b>P<sub>m</sub></b>	<b>Janeiro</b>	162,2	706,8
	<b>Fevereiro</b>	187,3	905,9
	<b>Março</b>	120,1	437,0
	<b>Abril</b>	157,6	673,4
	<b>Mai</b>	163,2	714,2
	<b>Junho</b>	159,1	684,2
	<b>Julho</b>	144,5	583,5
	<b>Agosto</b>	129,6	490,8
	<b>Setembro</b>	175,5	808,7
	<b>Outubro</b>	240,7	1424,7
	<b>Novembro</b>	152,0	634,0
	<b>Dezembro</b>	160,2	692,1
<b>Pa</b>	<b>Anual</b>	1952,0	
<b>Somatório de EI30</b>			<b>8755,24</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 3 - Classes de Erosividade da chuva média anual e mensal

Classe de erosividade	EI30
	MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Muito baixa	R < 2.500
Baixa	2.500 < R < 5.000
Média	5.000 < R < 7.000
Alta	7.000 < R < 10.000
Muito alta	R > 10.000

Fonte: Back e Poletto (2018)

Esse resultado é similar ao apresentado pelo *software* netErosividade RS, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH)<sup>10</sup> da Universidade Federal de Viçosa (UFV), o qual exhibe a erosividade das chuvas para cada município no estado do Rio Grande do Sul. Ele utiliza os métodos de cálculo do EI30 de Foster *et al* (1981) e de Wagner e Massambani (1988), segundo os quais a erosividade das chuvas em Alpestre é de 8742 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> e de 8923 MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>, respectivamente, conforme Anexo B.

O fato de que o clima da região ter como uma de suas características uma boa distribuição das chuvas durante todo o ano (Valério *et al.*, 2018) pode explicar essa erosividade. Borselli (2012, p. 91) propõe uma explicação para esse fato:

Uma possível explicação pode ser que a solos argilosos tendem a ter taxas de infiltração muito maiores em um clima quente onde podem apresentar fissuras que permanecem abertas durante todo o ano. Ao mesmo tempo, a matéria orgânica do solo será mais mineralizada, resultando rapidamente em uma estabilidade menor do agregado do solo. Laterização de solo e a dinâmica de sesquióxidos são processos típicos de clima resultando em uma maior resistência do solo. Ainda outros processos podem ser sugeridos e todas essas observações apontam para o fato de que mais pesquisas são necessárias para avançar e além dos intrínsecos limites das definições de erodibilidade do solo, como a utilizada pela USLE.

Outros autores também calcularam a erosividade das chuvas, em diferentes localidades (Quadro 3). No Rio Grande do Sul, Mazurana *et al.* (2009) chegaram a um valor de R para 11217 MJ mm há<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para a cidade de Santa Rosa, distante 158 km de Alpestre. Para Ijuí, Cassol *et al* (2007) chegaram a um valor de 8825 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Schimidt (2017) deduziu o valor de 9765 MJ mm há<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> para o

<sup>10</sup> Site do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa: <http://www.gprh.ufv.br/index.php>

município de Augusto Pestana (RS). Para Pelotas (RS), Tuchenhagen et al (2017) calculam um fator de erosividade de 5992,3 MJ mm há<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>.

Em Santa Catarina, Back (2018) calculou o R para as cidades catarinenses de São Joaquim e Lages como 7579,3 MJ mm há<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> e 5546,8 MJ mm há<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> respectivamente. Para a Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, na cidade catarinense de Capivari de Baixo, o Fator R foi de 5749,30 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> (SILVA *et al.*, 2018). Para Florianópolis, Back e Poletto (2017) calcularam um fator R de 7522 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Back, Alberton e Poletto (2016) indicaram 8957,3 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para Chapecó (SC).

Quadro 3 - Fatores R de municípios gaúchos e catarinenses

<b>Autores</b>	<b>Local</b>	<b>Resultado (mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
Mazurana <i>et al</i> (2009)	Santa Rosa (RS)	11217,0
Cassol <i>et al</i> (2007)	Ijuí (RS)	8825,0
Schmidt (2017)	Augusto Pestana (RS)	9765,0
Tuchenhagen <i>et al</i> (2017)	Pelotas (RS)	5992,3
Cassol <i>et al</i> (2008)	São Borja (RS)	9751,0
Back (2018)	São Joaquim (SC)	7579,3
Back (2018)	Lages (SC)	5546,8
Silva <i>et al</i> (2018)	Capivari de Baixo (SC)	5749,3
Back e Poletto (2017)	Florianópolis (SC)	7522,0
Back, Alberton e Poletto (2016)	Chapecó (SC)	8957,3

Fonte: elaborada pelo autor

Os trabalhos supracitados situam a informação da erosividade das chuvas no município onde este estudo foi feito, pois é possível depreender que a erosividade das chuvas nos dois estados mais meridionais do Brasil varia de forma predominante entre média e alta, conforme classificação da Tabela 2 (BACK; POLETO, 2018), excetuando Santa Rosa, com erosividade de chuvas muito alto.

### 3.3 FATOR LS

Originalmente, o fator L (comprimento da área) e o fator S (inclinação da área) referem-se a variáveis distintas, mas neste trabalho tais fatores são tratados de forma

conjunta porque eles dizem respeito à caracterização topográfica da área, assim como considera Pereira (2006).

Com a análise da imagem do Google Earth (Figura 1), calculou-se o comprimento (L) de 133,6 m. Com esse valor e por meio das curvas de nível obtidas do MDE ALOS PALSAR (ASF, 2015) encontrou-se uma inclinação de 10° ou 18%. Esse resultado é condizente com o que foi descrito na caracterização da área de estudo, especificamente o ilustrado na Figura 6. Subtraindo a diferença entre as curvas de nível (elevação) pelo comprimento (L), o resultado é a inclinação.

$$\text{inclinação } (S) = \frac{\text{diferença entre as curvas de nível (elevação)}}{\text{comprimento}}$$

$$S = \frac{276 - 252}{133,6} = \frac{24}{133,6} = 0,179 = 17,9\%$$

Com essas informações, pode-se calcular o fator LS pelo método de Coutinho *et al* (2014):

$$LS = \left( \frac{\sqrt{x}}{100} \right) * (1,36 + 0,97D + 0,1385D^2)$$

$$LS = \left( \frac{\sqrt{133,6}}{100} \right) * (1,36 + 0,97 * 17,9 + 0,1385 * 17,9^2)$$

Os cálculos levam ao resultado de LS como 7,29.

### 3.4 FATOR C

A Figura 13 é uma fotografia datada de outubro de 2019 em que fica evidente o uso do solo local como pastagem. Vale destacar que a cobertura do solo é homogênea e não há manchas de solo exposto decorrentes de erosão laminar. O regime pluviométrico que se caracteriza pela distribuição de volumes de chuva ao longo de todo o ano reduz o estresse hídrico da pastagem e a consequente exposição do solo. Pelo que se pôde constatar em campo não há um sobrepastejo no local. De acordo com os dados da plataforma MapBiomias<sup>11</sup> (2022) a qualidade de conservação das pastagens na área da Volta Grande é moderada a sem degradação (Figura 14).

Figura 13 - Cobertura vegetal na parcela da vertente



Fonte: arquivo pelo autor

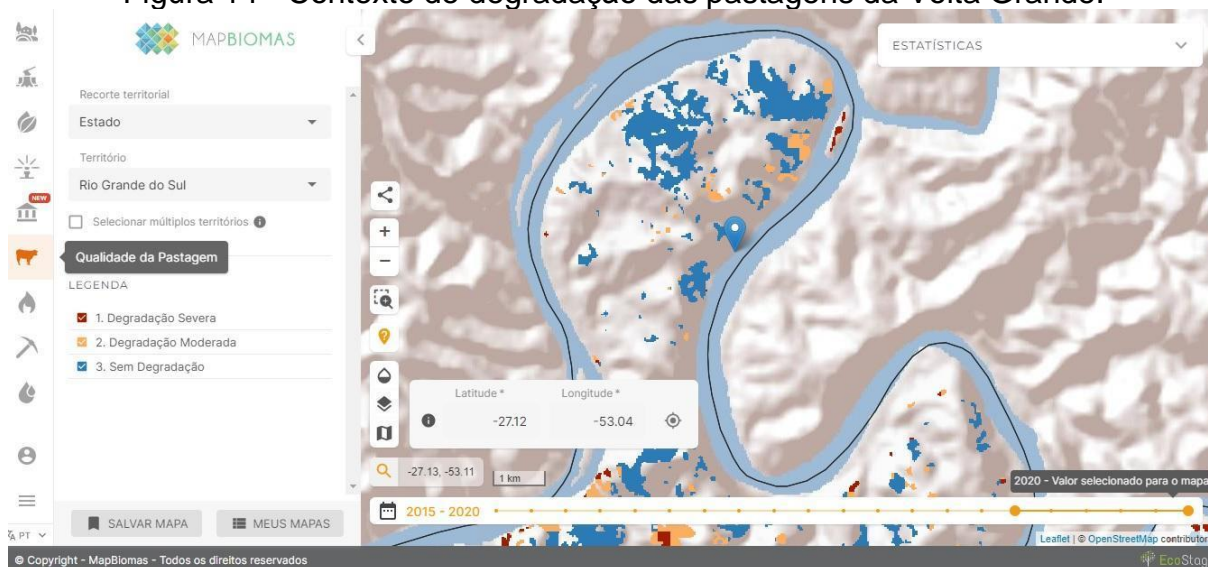
Conforme a Figura 13 e em observação *in loco* realizada em outubro de 2019, verifica-se que o impacto da ação humana ocorreu em prol da implementação da

---

<sup>11</sup> O Projeto MapBiomias é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite. A descrição completa do projeto encontra-se em <http://mapbiomas.org> (MAPBIOMAS, 2022).

atividade agropecuária, substituindo a vegetação original por pastagens, para a bovinocultura. Reis e Miorin (2006) afirmam que o uso do solo para essa cultura em declividade acentuada é característica nessa região de Alpestre.

Figura 14 - Contexto de degradação das pastagens da Volta Grande.



Fonte: MapBiomas (2022)

Isso demonstra que houve apenas a retirada da vegetação original para uso em pastagem, sem uso de técnicas agrícolas que propiciem uma maior ciclagem de nutrientes e conservação do solo, como consórcios produtivos (a exemplo de Agrofloresta ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta), ou rotação de culturas. Essas observações estão consoantes ao panorama de uso da terra descrito por Reis e Miorin (2006) bem como por Onghero e Francheschi (2009).

Nesta pesquisa, utilizaram-se os valores apresentados por Pereira (2006), conforme Tabela 1. O valor de C para a USLE, neste caso, é 0,01, pois a área de estudo é composta por uma pastagem utilizada para criação de bovinos e equinos, que cobre toda a sua extensão. Devido ao município de Alpestre ser um dos abrangidos pelo reservatório da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó, o Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial (PACUERA<sup>12</sup>) dessa UHE aborda ações para conservação da vegetação ao adjacente ao corpo hídrico.

<sup>12</sup> A UHE Foz do Chapecó disponibiliza o PACUERA e demais documentos balizadores do uso e do acesso ao reservatório em <http://www.fozdochapeco.com.br/socioambiental/>.



### 3.5 FATOR P

Tuchtenhagen *et al* (2017) corroboram a recomendação de práticas conservacionistas, afirmando a implantação delas reduz de forma considerável os processos erosivos, os quais arrastam partículas menores ricas em nutrientes, fenômeno que culmina em um decréscimo da fertilidade do solo e, conseqüentemente, redução na produtividade da área.

Muito embora o Plano Diretor do município de Alpestre (ALPESTRE, 2012) faz menção ao incentivo de práticas conservacionistas, não foram percebidas quando da visita *in loco*, em 2019. Em 2021, foram realizadas duas oficinas comunitárias para a revisão do Plano Diretor (ALPESTRE, 2022).

O Plano Diretor (ALPESTRE, 2012), em seu artigo 28, já informava como características da Zona Marginal do Reservatório da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó:

- I - presença de elementos paisagísticos importantes: pontos panorâmicos, ambiências histórico-culturais e naturais;
- II - existência de conjunto hídrico significativo;
- III - existência de conjuntos significativos de vegetação nativa secundária em diversos estágios de regeneração;
- IV - declividade acentuada;
- V - fragilidade ecológica.

Além disso, no artigo 30, é encontrada preocupação com a questão erosiva, apregoando que as atividades que forem desenvolvidas na Zona Marginal do Reservatório necessitam de cuidados especiais relativos à poluição, erosão e assoreamentos, cabendo aos órgãos ambientais disciplinas, entre outros, “as atividades que possam provocar erosão acelerada ou acentuado assoreamento das coleções hídricas” (ALPESTRE, 2012).

Apesar das condições naturais não ideais à agricultura convencional bem como a lógica de que esta circunstância recomendaria a adoção de práticas conservacionistas para a conservação do solo, a observância do local de estudo permite inferir que tais práticas não existem, ao contrário das recomendações do Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 1994), como cultivo em curva de nível, cordões de vegetação permanente, culturas em faixas e cordões de pedra, como práticas para evitar a lixiviação.

No caso da parcela considerada neste estudo, há apenas a pastagem composta por gramíneas ao longo da vertente, havendo clara suscetibilidade ao ravinamento. Dessa forma, o valor do fator P é igual a 1, conforme valores de P tabelado por Diaz (2001), devido à ausência de práticas que visem a diminuir a erosão.

### 3.6 CÁLCULO DA PERDA DE SOLO ESTIMADA PELA USLE

Uma vez calculados os índices da USLE isoladamente, é possível inseri-los na equação e ter a estimativa de perda de solo na parcela. Ou seja, considerando  $R = 8755,24 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ;  $K = 0,01868 \text{ tMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{h}$ ;  $LS = 7,29$   $C = 0,01$  e  $P = 1$ , chega-se a uma estimativa de perda de solo de  $11,92 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Quanto aos diferentes métodos de cálculo do fator R para o município de Alpestre, mantidas constantes as demais variáveis, percebe-se que pouco influi no resultado final da perda da perda de solo, conforme a Quadro 4.

Quadro 4 - Comparação da diferença dos fatores R de diferentes métodos no resultado da USLE

<b>Método</b>	<b>Fator R ( MJmmha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Perda de solo (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>
Mazurana et al (2009)	8755	11,92
Foster <i>et al</i> (1981)	8742	11,90
Wagner e Massambani (1988)	8923	12,15

Fonte: elaborada pelo autor

O resultado da USLE condiz com os demais dados apresentados sobre a área em que a parcela está situada, pois se o solo tem alta erodibilidade e as chuvas são altamente erosivas, é esperado que haja uma perda significativa de solo quando não há práticas conservacionistas e sem cobertura vegetal nativa.

Em comparação, Tuchtenhagen *et al* (2017) estimaram valores para a sub-bacia de Santa Rita, em Pelotas (RS) variando entre  $10\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $50\text{t. ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , cujo uso do solo nesse local de estudo é predominantemente de pastagem para gado



de leite e de corte. Já para o Lajeado São José, em Chapecó (SC), Hening e Mota (2018) chegaram a um valor de  $2,41 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , influenciado pela forte tendência de urbanização, visto que é característico que isso impermeabiliza o solo.

### 3.7 ESTIMATIVA DA ALTURA DA DEGRADAÇÃO COM BASE NA USLE

Considerando que as perdas de solo ao longo do tempo vão provocando o rebaixamento do relevo, é possível inferir uma estimativa da altura da degradação do solo ou do relevo a partir da estimativa de perda de solo calculada pela USLE. A desnudação total do relevo é sempre maior que a altura da degradação do solo pois considera também a perda geoquímica do manto de intemperismo (CARVALHO, 1994).

Pela análise dimensional das grandezas, percebe-se que a Equação Universal de Perda de Solos proporciona um resultado em hectares, enquanto a taxa de desnudação é expressa no sistema métrico, em  $\text{km}^2$ . Dessa forma, o primeiro passo é a conversão do resultado da USLE de  $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $\text{t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Considerando que 1 hectare equivale a  $0,01\text{km}^2$ , multiplica-se o resultado da USLE por 100, para ter-se o valor em  $\text{t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ .

$$1 \text{ ha} = 0,01\text{km}^2 = 1 \times 10^{-2}\text{km}^2$$

$$\frac{t}{\text{ha} \times \text{ano}} = \frac{t}{1 \times 10^{-2}\text{km}^2 \times \text{ano}} = \frac{t}{\text{km}^2 \times \text{ano}} \times 10^2$$

Dessa forma, a perda de solo na parcela foi estimada em  $1192 \text{ t.km}^{-2}.\text{ano}^{-1}$ . Agora é possível estimar a taxa de desnudação parcial (pois baseada apenas na erosão hídrica do solo), com a equação trazida por Carvalho (1994). Nela,  $h$  significa a taxa de desnudação do solo,  $E$  indica a quantidade de perda de solo e  $\gamma_{ap}$  refere-se à massa específica do solo, admitindo-se este valor como 1,6 (Carvalho, 1994).

$$h = \frac{E}{\gamma_{ap}}$$

$$h = \frac{1192 \frac{t}{\text{km}^2 \times \text{ano}}}{1,6 \frac{t}{\text{m}^3}}$$

$$h = 745 \frac{\text{m}^3}{\text{km}^2 \times \text{ano}}$$

Pela análise dimensional, percebe-se que o resultado expõe um valor de volume ( $m^3$ ) por um produto de área ( $km^2$ ) e tempo (ano). Uma vez que se busca um da perda de altura em mm, foi necessário encontrar um valor unidimensional (mm) derivado de um tridimensional ( $m^3$ ), ou seja, a transformação de um valor expresso como massa por unidade de área por tempo ( $t/km^2.ano$ ) para um equivalente volumétrico. Por definição, esse valor em termos volumétricos ( $m^3/km^2.ano$ ) diz respeito a uma taxa de rebaixamento da superfície de 1 mm/1000 anos (SUMMERFIELD, 1991). Dessa forma, tem-se que  $745m^3/(km^2.ano)$  equivale a um rebaixamento do relevo de 745 milímetros de solo a cada 1000 anos (745 mm/ka).

Num segundo momento, são calculadas as taxas de denudação – para fins comparativos – com todo o espectro de valores de Yap indicado por Carvalho (1994): de 1,3 a 2,4 (Quadro 5).

Quadro 5 - Comparação de taxas de denudação para diferentes pesos específicos do solo, conforme Carvalho (1994)

<b>E [<math>t/(km^2.ano)</math>]</b>	<b><math>Y_{ap}</math> (<math>t/m^3</math>)</b>	<b><math>h</math> [<math>m^3/(km^2.ano)</math>] = <b><math>E/yap</math></b></b>	<b><math>h</math> (mm/ka)</b>	<b><math>h</math> (m/ka)</b>
1192	1,3	916,9	916,9	0,917
	1,4	851,4	851,4	0,851
	1,5	794,7	794,7	0,975
	1,6	745,0	745,0	0,745
	1,7	701,2	701,2	0,701
	1,8	662,2	662,2	0,662
	1,9	627,4	627,4	0,627
	2,0	596,0	596,0	0,596
	2,1	567,6	567,6	0,558
	2,2	541,8	541,8	0,542
	2,3	518,3	518,3	0,518
2,4	496,7	496,7	0,497	

Fonte: elaborado pelo autor

De acordo com a variação do peso específico do material é possível perceber uma variação de 420,2 mm/ka ou 0,4202 m/ka em função da variação desse parâmetro. Ou seja, dependendo da densidade do material a variação da degradação

da superfície (desnudação mecânica por erosão hídrica) pode sofrer variação de 45,83%. Ou seja, muito embora Carvalho (1994) afirme que é costumeiro calcular o valor da desnudação do solo com um valor de Yap como 1,6, a variação desse fator tem impacto considerável no resultado.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo verificar a relação de perda de solo e desnudação do relevo em parcela de vertente no Planalto Dissecado do rio Uruguai, no contexto da Volta Grande do rio Uruguai, em material pedológico derivado de rocha basáltica.

Foi realizada a caracterização e contextualização histórica da área onde a parcela de estudo está inserida, além da fundamentação teórica acerca de erosão e conservação dos solos bem como a descrição dos materiais e métodos utilizados para esta pesquisa.

Para a estimativa da perda de solo, utilizou-se o método da Equação Universal de Perda de Solo, no qual coletaram-se os dados para o cálculo dos fatores, conforme as referências no Quadro 6.

Quadro 6 - Fatores da USLE e referência

Fator	Valor	Referência
R (erosividade das chuvas)	8755,24 MJmmha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Mazurana et al (2009)
K (erodibilidade dos solos)	0,01868 tMJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> h	Borselli et al (2012)
LS (fator topográfico)	7,29	Coutinho et al (2014)
C (uso e proteção do solo)	0,01	Pereira (2006)
P (práticas de manejo e conservação do solo)	1	Diaz (2001)

Fonte: elaborada pelo autor

A multiplicação dos fatores teve como resultado que a quantidade estimada de solo perdida na vertente estudada é de 1192 toneladas por km<sup>2</sup> ao ano (t/km<sup>2</sup>.ano). O resultado é condizente com dados apresentados que indicam alta erodibilidade do solo e alta erosividade das chuvas, sem práticas conservacionistas e cobertura vegetal que sejam efetivas na conservação do solo.

Para a taxa de desnudação, utilizou-se a equação apresentada por Carvalho (1994). Com base no valor resultante da USLE, chegou-se a uma taxa de denudação

parcial ou altura de degradação do solo de 745 mm por mil anos, o que corresponde a quase um metro nesse intervalo de tempo (0,745 m).

Foram cumpridos, portanto, os objetivos específicos deste trabalho, a fim de atingir o objetivo geral de verificar a relação de perda de solo e desnudação do relevo em parcela de vertente no Planalto Dissecado do rio Uruguai.

Aferiu-se a erodibilidade do solo da parcela, encontrando-se um valor de  $0,01868 \text{ tMJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{h}$ . A erosividade das chuvas para a área da parcela foi identificada como alta ( $8755,24 \text{ MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ ). A taxa de perda de solo dessa parcela foi estimada em  $1192 \text{ t/km}^2\text{.ano}$ . Calculou-se a taxa de desnudação, definida como  $745 \text{ mm/ka}$ .

Essa pesquisa contribui para a compreensão da geomorfodinâmica da paisagem do Planalto Basáltico Meridional, dentro dos limites da bacia hidrográfica do Rio Uruguai. Também subsidia a proposição e justifica a adoção de medidas mitigatórias à erosão, seja por políticas públicas ou por iniciativas privadas, com o intuito de reduzir impactos ambientais e custos econômicos.

Para trabalhos futuros, sugerem-se estudos sobre a inserção explícita de práticas conservacionistas no Plano Diretor do município de Alpestre, a fim de mitigar as perdas de solo. Além disso, sugere-se estudar a perda de solo na APP da área atingida pela UHE Foz do Chapecó, para fins comparativos dos impactos erosivos.

Uma vez que foi calculada a perda de solo e a taxa de desnudação em área cuja cobertura vegetal é pastagem, é indicada que também se calcule para parcelas com coberturas vegetais diversas, a exemplo de florestas densas, culturas agrícolas e sem cobertura vegetal.

Também é sugerida a construção de software com interface gráfica para automatizar o cálculo da perda de solo e a taxa de desnudação, de modo similar ao que fez Borselli *et al.* (2012) para o cálculo do fator K.

## 5 REFERÊNCIAS

AHNERT, Frank. Functional relationships between denudation, relief, and uplift in large, mid-latitude drainage basins. **American Journal of Science**. 1970. Vol. 268.

ALLEN, P.A. **Sediment Routing Systems**. The Fate of Sediment From Source to Sink. p. 193-239. 2017. Cambridge University Press. DOI:  
<https://doi.org/10.1017/9781316135754>

ALPESTRE. **Lei Nº 1772, de 1º de junho de 2012**. Plano Diretor Participativo do Município de Alpestre. Alpestre: 1º jun 2012. Disponível em:  
<https://cespro.com.br/visualizarDiploma.php?cdMunicipio=7218&cdDiploma=20121772&NroLei=1.772&Word=&Word2=>.

ALPESTRE. Prefeitura Municipal de Alpestre. Município. Disponível em:  
<https://www.alpestre.rs.gov.br/municipio>. Acesso em setembro de 2020.

ALPESTRE. Prefeitura Municipal de Alpestre. Notícias. Oficinas do Plano Diretor são realizadas. Disponível em:  
<https://www.alpestre.rs.gov.br/noticias/detalhes/319/Oficinas-do-Plano-Diretor-s%25C3%25A3o-realizadas>. Acesso em junho de 2022.

ASF - ALASKA SATELLITE FACILITY. **Radiometrically Terrain Corrected ALOS PALSAR products**. Product guide. 2015. ASF engineering. Disponível em:  
[https://media.asf.alaska.edu/uploads/RTC/rtc\\_product\\_guide\\_v1.2.pdf](https://media.asf.alaska.edu/uploads/RTC/rtc_product_guide_v1.2.pdf)  
Acesso em 03 jul. 2020.

BACK, Álvaro José. Erosividade da chuva para a região do Planalto Serrano de Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p.298-308, abr. 2018.

BACK, Álvaro José; ALBERTON, Janaina Veronezi; POLETO, Cristiano. Avaliação da erosividade das chuvas de Chapecó, Santa Catarina. **Anais do III Simpósio Sobre Sistemas Sustentáveis**, 2016, Porto Alegre, Porto Alegre, 2016.

BACK, Álvaro José; POLETO, Cristiano. Avaliação do potencial erosivo das chuvas de Florianópolis-sc. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, out. 2017.

BACK, Álvaro José; POLETO, Cristiano. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 22, jan-jun 2018.

BARBOSA, Michele Cristina Rufino; LIMA, Hernani Mota de. Resistência ao cisalhamento de solos e taludes vegetados com capim vetiver. **R. Bras. Ci. Solo**, 37:113-120, 2013.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 4ª edição.

BIERKLAND, Peter W. Soil-geomorphic research — a selective overview. **Geomorphology**. Amsterdam. V. 3 207–224.

BOARDMAN, J. Prefácio. IN: GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. **Erosão e Conservação dos Solos**: Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

BORSELLI, Lorenzo. KUERY Software. Versão 1.5 [S. l.], 16 jan. 2018. Disponível em: <https://www.lorenzo-borselli.eu/kuery/>. Acesso em: 30 set. 2019.

BORSELLI, L.; TORRI, D.; POESEN, J.; IAQUINTA, P. A robust algorithm for estimating soil erodibility in different climates. **Catena**. v. 97. p. 85-94. 2012.

BOULET, Rene. Uma evolução recente da Pedologia e suas implicações no conhecimento da gênese do relevo. III Congresso Abequa. Anais. P.43-58. 1992.

BRASIL. **Decreto Nº 9.414, de 19 de junho de 2018**. Institui o Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos do Brasil. Brasília: 20 jun 2018. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2015-2018/2018/decreto/d9414.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2015-2018/2018/decreto/d9414.htm)

BRASIL. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais**: 1991 a 2012. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

BRASIL. Jairo Ernesto Bastos Krüger. **Capacitação dos gestores de Defesa Civil para uso do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. Florianópolis: Cad UFSC, 2012. Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/Livro-Texto-S2ID1.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CASSOL, Elemar Antonino; MARTINS, Daniela; ELTZ, Flávio Luiz Foletto; LIMA, Vladimir Silva de; BUENO, Aristides Camara. Erosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1993. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.3, p. 220-231, 2007.

CASSOL, Elemar Antonino; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M.; LIMA, V.D.; BUENO, A.C. 2008. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1239-1251.

CAVAGUTI, Nariaqui. **Erosões lineares e solos urbanos: estudos, caracterização e análise da degradação do meio físico em Bauru, SP**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista-Campus Bauru, 1994.

CORRÊA, Antonio Carlos de Barros; TAVARES, Bruno de Azevêdo Cavalcanti; MONTEIRO, Kleython de Araújo; FONSÊCA, Drielly Naamma. A Aplicação de

Técnicas Geocronométricas em Geomorfologia: uma atualização metodológica. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 45-74, 2016.

COUTINHO, Luciano Melo; CECÍLIO, Roberto Avelino; GARCIA, Giovanni de Oliveira; XAVIER, Alexandre Cândido; ZANETTI, Sidney Sára; MOREIRA, Michel Castro. Cálculo do fator LS da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) para a bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. **Revista Agro@Mambiente On-Line**, [S.l.], v. 8, n. 1, p. 01-09, maio 2014.

CROSBY, Alfred W. **Imperialismo ecológico**: a expansão biológica da Europa (900-1900). São Paulo: Companhia das Letras, 1993.

DEMARCHI, Julio Cesar.; PIROLI, Edson Luís; ZIMBACK, Célia Regina Lopes. Estimativa de perda de solos por erosão laminar e linear na bacia hidrográfica do ribeirão das perobas (SP), nos anos 1962 e 2011. **Ra'e Ga**. v.46, p. 110 -131, abril 2019.

DEODORO, Sandra Cristina; BERTOLINI, William Zanete; TEMBA, Plínio da Costa. Quaternary formations mapping in the region of Volta Grande do Rio Uruguai (Brazil) **Revista do Departamento de Geografia**. v. 41, n. 1, p.1-15, 2021. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.174174

DIAMOND, Jared. **Colapso**. 5a ed. Rio de Janeiro: Record, 2007.

DIAZ, Jaime Suárez. **Control de erosion em zonas tropicales**. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial Santander, 2001. 555 p.

ELHACHAM, Emily; BEN-URI, Liad; GROZOVSKI, Jonathan; BAR-ON, YINON M.; MILO, Ron. Global human-made mass exceeds all living biomass. **Nature**. 588, p. 442–444, dez. 2020.

ESPINDOLA, Carlos Roberto. A pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**. v.31. 2010.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil Water Conservation**, 36: 355-359, 1981.

GARCIA, Alessandra Reis. **Uso do modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project) modificado para estimar taxas de erosão em estradas florestais**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

GARDI, C., ANGELINI, M., BARCELÓ, S., COMERMA, J., CRUZ GAISTARDO, C., ENCINA ROJAS, A., JONES, A., KRASILNIKOV, P., MENDONÇA-SANTOS, M.L., MONTANARELLA, L., MUÑIZ UGARTE, O., SCHAD, P., VARA RODRÍGUEZ, M.I., VARGAS, R., RAVINA DA SILVA, M. (eds), **Atlas de solos de América Latina e do Caribe**, Comissão Europeia – Serviço das Publicações da União Europeia, L-2995 Luxemburgo. 2015. 176 pp.



HENNIG, Tainá B.; MOTA, Aline de A. Avaliação do potencial de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica do oeste catarinense. **Geografia**. v. 43 n. 2, p. 255-277, dez. 2018.

HOOKE, Roger L. On the history of humans as geomorphic agents. **Geology**, v.25, n.9, p.843-846, set. 2000.

LAL, Rattan. Soil degradation by erosion. **Land Degradation & Development**, v. 12, n. 6, p. 51-539, nov. 2001.

LOURDEAU, Antoine. **Mission franco-brésilienne sur les peuplements préhistoriques du Sud du Brésil**: Les premières occupations de la haute et moyenne vallée du fleuve Uruguay. Relatório científico. Paris: 2016.

MAPBIOMAS. **Plataforma Mapbiomas Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em junho de 2022.

MAZURANA, J.; CASSOL; E. A.; DOS SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A.C. Erosividade padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas em Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campo Grande. v. 13 (Suplemento), p. 975-983. 2009.

MCFADDEN, Leslie D.; KNUEPFER, Peter L. K. Soil geomorphology: the linkage of pedology and surficial processes. **Geomorphology**. Amsterdam. V. 3p. 197-205.

ONGHERO, André Luiz; FRANCESCHI, Lucas Antonio. Vidas em torno do rio: uma abordagem histórica das relações estabelecidas entre as populações na região Oeste de Santa Catarina e Noroeste do Rio Grande do Sul e o Rio Uruguai. **Cadernos do CEOM**. V. 21. N. 29. p.107-132. 2009.

OLKOSKI, Wilson. Aspectos Da História Agrária Dos Kaingang Do Médio Alto Uruguai –RS. **Revista de Ciências Humanas**, Frederico Westphalen, v. 4, n. 4, p. 145-160. 2003. Disponível em: <http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/view/231/418>. Acesso em setembro de 2020.

PEREIRA, Aloisio Rodrigues. **Determinação da Perda de Solo**. Belo Horizonte. Deflor, 2006. 20 p.

PEREIRA, Juliana Sousa; RODRIGUES; Silvio Carlos. Erosão por voçorocas: estado da arte. In: CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio; GOMES, Maria Carolina Villaça; GUIMARÃES, Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. **Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira**. 2022. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/livros>

POTTER, Reinaldo Oscar; CARVALHO, Américo Pereira de; FLORES, Carlos Alberto; BOGNOLA, Itamar. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 721 p.

PRONASOLOS. **Programa Nacional de Solos do Brasil**. Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>. Acesso em julho de 2022.

QUEIROZ NETO, J. P. de. Geomorfologia e Pedologia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 1, n. 1, 2000.

RADAM BRASIL, Projeto. **Folha SG22 Curitiba, parte da folha SG21 Assunción e Folha SG23 Iguape**. Levantamento de recursos naturais. v.35. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Relatório. Rio de Janeiro.2018.

REIS, Janete Teresinha; MIORIN, Vera Maria Favila. Recursos Naturais e Uso da Terra em Áreas de Produção Familiar Rural, Médio Alto Uruguai, RS. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 85-98, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura e Abastecimento; Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. Macrozoneamento Agroecológico e Econômico do Estado do Rio Grande do Sul. V.1-2. Porto Alegre, 1994.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 7 nov. 2011.

ROSSONI, Sirlei; PANNO, Fernando; SANTOS, Elidiomar dos. Formação e Influências atuais na região do Médio Alto Uruguai do Rio Grande do Sul. **Revista de Ciências Humanas**, Frederico Westphalen, v. 7, n. 9, p. 147-162. 2006. Disponível em: <http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/view/296>. Acesso em setembro de 2020.

RUIZ, Hugo Alberto. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 29, p.297-300. 2005.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018.

SCHICK, Jefferson. **Fatores R e K da USLE e perdas de solo e água em um sistema de manejo sobre um cambissolo húmico em Lages, SC**. Tese (Doutorado). Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo. Lages. 2014. 150 p.

SCHMIIDT, Marcelo Raul. **Fatores de erosividade das chuvas de Augusto Pestana (RS), cobertura e manejo do solo e erodibilidade de latossolo vermelho para uso na Equação Universal de Perdas de Solo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Porto Alegre, 2017. 172 p.

SEMA. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. U100 - Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/u100-bh-varzea>. Acesso em: maio de 2022.

SILVA, Gabriela Mendes da; AGUIAR, Amarfelina Fernandes de Oliveira de; DEMARCHI, Vitor Ramos Koche.; GUIMARÃES, Gabriel; BACK, Álvaro José; CORSEUIL, Cláudia Weber. Determinação do fator R da USLE Para Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, região sul de Santa Catarina, Brasil. **Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense - SICTSUL**, Brasil, ago. 2018. Disponível em: <<http://eventoscientificos.ifsc.edu.br/index.php/sictsul/7-sict-sul/paper/view/2438>>. Data de acesso: 26 Dez. 2019.

SYVITSKI, James P.M.; KETTNER, Albert. Sediment flux and the Anthropocene. **Philosophical Transactions of The Royal Society A**, v.369, p.957-975, 2011.

SUMMERFIELD, Michael. **Global Geomorphology**: an introduction to the study of landforms. Longman. 1991.

TAGLIETTI, Dablio Batista. Um olhar sobre o elemento nacional no período da colonização da região do Médio Alto Uruguai – RS – 1917/1950. **Revista de Ciências Humanas**, Frederico Westphalen, v. 6, n. 6, p. 61-70, 2005. Disponível em: <http://www.revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/view/256>. Acesso em setembro de 2020.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TELLES, Tiago Santos; GUIMARÃES, Maria de Fátima. **Custos da erosão do solo**. 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Porto Alegre, 2009.

TUCHTENHAGEN, Ivana Kruger; HARTWIG, Marcelo Peske; NUNES, Maria Cândida Moitinho; LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de; SILVA, Thais Palumbo; NACHTIGALL, Stefan Domingues. Estimativa da erosão hídrica por meio do modelo USLE na sub-bacia Santa Rita em Pelotas-RS. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.3, p.88-96, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Pesquisa e Estudos sobre Desastres. **Capacitação básica em Defesa Civil**. 5. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2014.

VALÉRIO, Diego Augusto; TRES, Andressa; TETTO, Alexandre França; SOARES, Ronaldo Viana; WENDLING, William Thomaz. Classificação do Estado do Rio Grande do Sul segundo o Sistema de Zonas de Vida de Holdridge. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1776-1788, Dez. 2018.

VILELA FILHO, L. R. **Estimativa da perda de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutíferas, no município de Valinhos (SP)**. Trabalho de

Conclusão de Curso (Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

VITTE, Antonio Carlos. Metodologia para cálculo de perdas de solo em bacias de drenagem. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 45, p. 59-65, 1997.

VITTE, Antonio Carlos; MELLO, Juliano Pereira de. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. V. 2. N. 2. Rio Claro, 2007. p. 107-133.

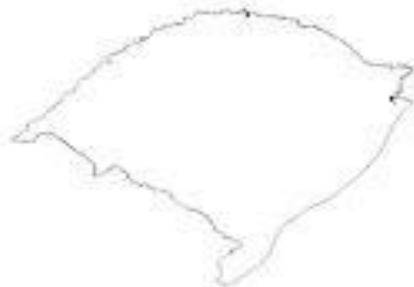
WAGNER, Claudia Sonia. 1986. **Análise das relações entre energia, momentum, taxa de precipitação e refletividade do radar: uma aplicação ao estudo da erosão**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Piracicaba, 1986.

WAGNER, Claudia Sonia; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva-energia cinética de Wischmeier; Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12: 197-203, 1988.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (USDA AH-537).



## ANEXO B - RELATÓRIO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM ALPESTRE

<b>RELATÓRIO</b>				
<b>Erosividade da Chuva para o Estado do Rio Grande do Sul</b>				
<b>LOCALIZAÇÃO</b>				
Localidade:	Alpestre			
Latitude:	27°14'23"			
Longitude:	53°01'48"			
Altitude:	341 m			
				
<b>VALORES DE EROSIVIDADE</b>				
	KE>25 (F)	KE>25 (W&M)	EI <sub>30</sub> (F)	EI <sub>30</sub> (W&M)
	MJ ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>		MJ mm h <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	
Janeiro	9,37	7,74	970	857
Fevereiro	8,91	9,31	864	827
Março	11,52	7,31	647	701
Abril	6,14	9,02	848	761
Maió	5,97	7,08	821	832
Junho	3,21	10,64	600	626
Julho	3,89	3,89	348	505
Agosto	4,01	3,09	513	482
Setembro	5,18	6,29	722	657
Outubro	8,13	20,67	1.000	984
Novembro	7,31	8,22	813	836
Dezembro	6,52	7,74	598	856
<b>Anual</b>	<b>80,16</b>	<b>101,00</b>	<b>8.742</b>	<b>8.923</b>

(F) Energia cinética calculada pelo método proposto por Foster et al. (1981)  
(W&M) Energia cinética calculada pelo método proposto por Wagner & Massambani (1988)

Relatório gerado pelo netErosividadeRS em 09/06/2022.



---

Emitido em 05/09/2022

**DISSERTAÇÃO Nº 75/2022 - PPGGEO - CH (10.41.13.10.06)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 05/09/2022 15:11 )*

ANDERSON JOSE GUI SOLPHI

TECNICO EM ASSUNTOS EDUCACIONAIS

CAPPG - CH (10.41.13.10)

Matrícula: 1905983

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.uffs.edu.br/documentos/> informando seu número: **75**, ano: **2022**, tipo: **DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **05/09/2022** e o código de verificação: **cbf8f93fc0**