

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DIOGO YUKIO UEMA

**QUANTIFICAÇÃO DE PERDA DE SOLOS EM BACIA HIDROGRÁFICA DE  
PRIMEIRA ORDEM: CÓRREGO ZAÚNA, MARINGÁ - PR**

Maringá

2018

DIOGO YUKIO UEMA

**QUANTIFICAÇÃO DE PERDA DE SOLOS EM BACIA HIDROGRÁFICA DE  
PRIMEIRA ORDEM: CÓRREGO ZAÚNA, MARINGÁ - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, da Universidade Estadual de Maringá, como requisito para a obtenção do título de mestre em Geografia.  
Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Nelson Vicente Lovatto Gasparetto

Maringá

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

U22q Uema, Diogo Yukio  
Quantificação de perda de solos em bacia hidrográfica de primeira ordem: córrego Zaúna, Maringá - PR / Diogo Yukio Uema. -- Maringá, 2018. 101 f. : il. color., figs., quadros, equações, gráficos

Orientador: Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2018.

1. Erosão - Córrego Zaúna - Maringá (PR). 2. Equação universal da perda de solos (EUPS). 3. Razão de aporte de sedimentos (RAS). 4. Bacia hidrográfica - Planejamento Ambiental. I. Gasparetto, Nelson Vicente Lovatto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 21.ed. 551.3


Mariza Nogami  
CRB 9/1569

QUANTIFICAÇÃO DE PERDA DE SOLOS EM BACIA HIDROGRÁFICA DE PRIMEIRA  
ORDEM: CÓRREGO ZAÚNA, MARINGÁ - PR

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa: Análise Ambiental.

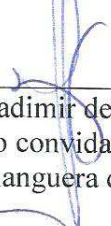
Aprovada em **05 de fevereiro de 2018**.

BANCA EXAMINADORA



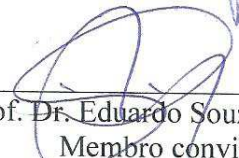
---

Prof. Dr. Nelson Vicente Lovatto Gasparetto  
Orientador – PGE/UEM



---

Prof. Dr. Vladimir de Souza  
Membro convidado  
Universidade Anhanguera de São Paulo



---

Prof. Dr. Eduardo Souza de Moraes  
Membro convidado  
Universidade Estadual de Maringá

## AGRADECIMENTOS

A realização da presente dissertação não seria possível sem a ajuda de diversas pessoas que se apresentaram importantes, seja durante toda minha vida ou no período da pesquisa.

À Isadora Boaventura, pelo carinho, paciência, apoio e companhia de todos os dias.

À todos meus amigos, pelas distrações, companheirismo e risadas.

À minha família, sempre presente e dando base para todas as minhas realizações, cada um com sua dificuldade e esforço, me dando forças para continuar.

Meus sinceros agradecimentos ao professor Nelson Vicente Lovatto Gasparetto, por todas as orientações, tempo e conhecimentos transmitidos.

Ao professor Valdeir Silva, que antes do começo da pesquisa já me incentivava e auxiliava com materiais, experiências e sugestões.

Ao técnico Vanderlei do GEMA, pelo auxílio em laboratório, paciência e apoio.

À Miriam da secretaria do programa de pós-graduação em Geografia, por toda ajuda e paciência todas as vezes que dúvidas surgiram.

Aos meus amigos Mateus Felini, Vitor Hugo, Sarah Cecília, Mateus Augusto, Laine Caraminan e Christian Harada, pela amizade, apoio e auxílio nos trabalhos de campos.

À Cássia Maria Bonifácio pela amizade de anos, responsável pela minha iniciação em pesquisas científicas e pelas sugestões colocadas durante a pesquisa.

Às colegas do laboratório de Pedologia, Francieli Marcatto, Fabiana Medeiros e Thalia Ferreira, pela cooperação nas análises laboratoriais e instruções.

Aos meus colegas de Pós-Graduação, Milaine Pichitelli, Samuel Matiazo e Miguel Terassi, pela amizade, troca de conhecimento e apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade.

Ao CNPQ, pelo auxílio Financeiro.

*“Não se pode criar experiência. É preciso passar por ela.”*

*(Albert Camus)*

## RESUMO

A erosão laminar é objeto de estudo em diversas pesquisas científicas, em todo o mundo, na atualidade. A presente dissertação tem o objetivo a aplicação de diferentes procedimentos metodológicos que quantificam a erosão laminar, entre elas a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), calculada com o *add-in Gius-m, do Arcgis*, que quantifica as perdas de solo total por erosão laminar em uma determinada área, e a Razão de Produção de Sedimentos (RPS), também conhecida como razão de aporte de sedimentos (RAS) que, por sua vez, quantifica os sedimentos que foram transportados até o exutório da bacia hidrográfica. Subtraindo os dados da EUPS e RPS, foi possível identificar a quantidade de sedimentos retidos no interior da bacia hidrográfica do córrego Zauna, localizada no Município de Maringá-Paraná, gerando, enfim, um diagnóstico geral da quantidade de perda de solos produzida, transportada e retida na bacia hidrográfica estudada. Além disso, foram realizadas análises de porosidade do solo e hidrossedimentos, com propósito de confrontar os dados simulados (EUPS e RPS) com os dados reais do solo e da água. O período estudado foi de julho de 2016 até junho de 2017. Os resultados apresentaram áreas com baixos valores de perda de solos na bacia hidrográfica, com maior destaque para as classes de perdas de solo entre 0 – 3 e 3 – 5 (ton/ha) espacializada por toda a bacia hidrográfica. As diversas metodologias da RPS/RAS apresentaram resultados semelhantes, com média de 0,32 %, com maior realidade da proposta de Vanoni (1975), resultando em 0,27 % e o método com maior distinção de resultados, extrapolando os resultados da EUPS, foi o de Willians & Berndt (1977), apresentando 16,23%. A porosidade do solo se apresentou uniforme com as condições normais do solo, a microporosidade em torno de 50%, macroporosidade 10% e porosidade total 52 %. Os hidrossedimentos, em sua maioria, apresentaram valores abaixo do esperado em comparação à quantidade máxima estabelecida pelo CONAMA 357/2005 e dados de pesquisas em pequenos córregos, variando entre 0,0056 e 0,0468 mg/L para sólidos suspensos, 0,0268 à 0,0116 mg/L para sólidos dissolvidos e entre 0,0736 e 0,1216 mg/L para sólidos totais. A junção de metodologias, a fim de elaborar um diagnóstico geral, apresenta uma melhora nos resultados e no estudo da dinâmica em bacias hidrográficas. A escala de estudo auxiliou a comparação e o detalhamento dessas análises.

**Palavras-chave:** Processos erosivos; EUPS; RAS; Planejamento ambiental.

## ABSTRACT

Laminar erosion is the object of study in several scientific researches, worldwide, nowadays. The present dissertation has the objective of applying different methodological procedures that quantify the laminar erosion, among them the Universal Soil Loss Equation (EUPS), calculated with the Gisus-m addendum of Arcgis, which quantifies soil losses (RPS), also known as the sediment input ratio (RAS), which in turn quantifies the sediments that have been transported to the watershed exudation. Subtracting the data from the EUPS and RPS, it was possible to identify the amount of sediment retained within the Zauna stream water catchment area, located in the municipality of Maringá-Paraná, generating a general diagnosis of the amount of soil loss produced, transported and retained in the studied river basin. In addition, analyzes of soil porosity and hydrosediments were carried out to compare the simulated data (EUPS and RPS) with the actual soil and water data. The study period was from July 2016 to June 2017. The results showed areas with low soil loss values in the watershed, with a higher incidence of soil losses between 0-3 and 3-5 (ton / ha ) spatially distributed throughout the river basin. The different RPS / RAS methodologies presented similar results, with an average of 0.32%, with a greater reality of Vanoni's proposal (1975), resulting in 0.27% and the method with greater distinction of results, extrapolating the results of the EUPS , was that of Willians & Berndt (1977), presenting 16.23%. The porosity of the soil was uniform with normal soil conditions, microporosity around 50%, macroporosity 10% and total porosity 52%. Most of the hydrosediments presented below-expected values in comparison with the maximum quantity established by CONAMA 357/2005 and data from small streams surveys, ranging from 0.0056 to 0.0468 mg / L for suspended solids, 0.0268 to 0.0116 mg / L for dissolved solids and between 0.0736 and 0.12216 mg / L for total solids. The combination of methodologies, in order to elaborate a general diagnosis, presents an improvement in the results and in the study of the dynamics in watersheds. The study scale helped to compare and detail these analyzes.

**Keywords:** Erosive processes; EUPS; RAS; Environmental planning.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>13</b>
2.1. Substrato geológico.....	13
2.2. Relevo .....	15
2.3. Vegetação.....	17
2.4. Clima.....	19
2.5. Rede de Drenagem.....	21
2.6. Solos.....	21
2.7. Uso e ocupação do solo .....	22
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>24</b>
3.1. Estudo e conservação do solo .....	24
3.2. Processos Erosivos e suas ocorrências no Estado do Paraná.....	26
3.3. Análises hídricas e suas relações com erosão laminar.....	32
3.4. O histórico da EUPS e sua aplicação .....	34
3.5. Fator R (erosividade) .....	37
3.6. Fator K (erodibilidade) .....	38
3.7. Fator LS (topográfico) .....	40
3.8. Fator C (uso do solo) .....	41
3.9. Fator P (práticas conservacionistas) .....	42
3.10. Razão de Produção de Sedimentos (RPS/RAS/SDR).....	43
<b>4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>45</b>
4.1. Obtenção dos fatores da EUPS .....	46
4.1.1. Fator K .....	46
4.1.2. Fator R.....	48
4.1.3. Fator LS.....	48
4.1.4. Fator C .....	52

4.1.5. Fator P .....	54
4.2. Integração dos fatores da EUPS.....	54
4.3. Análises de Hidrossedimentos .....	55
4.4. Razão de produção de sedimentos/ Razão de aporte de sedimentos .....	57
4.5. Porosidade total, macroporos, microporos e densidade do solo .....	59
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>63</b>
5.1. FATORES K (Erodibilidade) e R (Erosividade) .....	63
5.2. FATOR LS (Topográfico) .....	66
5.3. FATOR C (Uso e ocupação do Solo) .....	67
5.4. FATOR P (Práticas conservacionistas).....	72
5.5. EUPS SAZONAL .....	73
5.6. EUPS ANUAL .....	77
5.7. Razão de Produção de Sedimentos (RPS/SDR/RAS).....	80
5.8. Hidrossedimentos.....	81
5.9. Porosidade do Solo .....	87
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>90</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>93</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização da bacia hidrográfica do córrego Zauna, Maringá – PR.....	13
<b>Figura 2:</b> Hipsometria da bacia hidrográfica do córrego Zauna.....	16
<b>Figura 3:</b> Declividade da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	17
<b>Figura 4:</b> Fotografia mostra o solo em sistema de plantio direto, após colheita de soja e resquício da mata primitiva junto a cabeceira de drenagem da margem do córrego Zauna. Data: 21/08/2016 (Inverno).....	18
<b>Figura 5:</b> Plantação de trigo na bacia hidrográfica do córrego Zauna, porção Sudeste. Data: Fevereiro de 2017 (Verão).....	18
<b>Figura 6:</b> Áreas de plantação de trigo e milho na vertente Direita (A) e Esquerda (B) da bacia hidrográfica do córrego Zauna. (Primavera/ 2016). ....	19
<b>Figura 7:</b> Áreas agrícolas localizadas na vertente Direita (A) e Esquerda (B) da bacia hidrográfica do córrego Zauna. (Outono/2017).....	19
<b>Figura 8:</b> Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego Zauna. ....	21
<b>Figura 9:</b> Ábaco de erodibilidade. ....	39
<b>Figura 10:</b> Fluxograma metodológico da Pesquisa. ....	46
<b>Figura 11:</b> Interface para o cálculo do fator LS no Gius-M. ....	52
<b>Figura 12:</b> Interface do cálculo do NDVI no QGIS. ....	53
<b>Figura 13:</b> Interface do add-in Gius-M, no programa ArcGis.....	55
<b>Figura 14:</b> Localização dos pontos de coleta de água no córrego Zauna. ....	57
<b>Figura 15:</b> Localização dos pontos de coleta de solos na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	61
<b>Figura 16:</b> Coleta de solos na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	61
<b>Figura 17:</b> Análises de porosidade do solo, localizados no laboratório de pedologia. ....	62
<b>Figura 18:</b> Fluxograma dos resultados. ....	63
<b>Figura 19:</b> Carta de Classes de Solos da bacia Hidrográfica do Córrego Zauna. ....	64
<b>Figura 20:</b> Carta representando o fator LS (topográfico) na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	67
<b>Figura 21:</b> INVERNO/ 2016 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS. ....	68
<b>Figura 22:</b> INVERNO/ 2016 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.....	68

<b>Figura 23:</b> Primavera/ 2016- A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS. ....	69
<b>Figura 24:</b> Primavera/ 2016 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.....	69
<b>Figura 25:</b> Verão/ 2016-2017 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS. ....	70
<b>Figura 26:</b> Verão/ 2016-2017 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.....	70
<b>Figura 27:</b> Outono/ 2017 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS. ....	71
<b>Figura 28:</b> Outono/ 2017 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis. ....	71
<b>Figura 29:</b> Carta de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	72
<b>Figura 30:</b> EUPS Sazonal para o verão, na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	74
<b>Figura 31:</b> EUPS sazonal, para o período de outono, da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	75
<b>Figura 32:</b> EUPS sazonal, para o período de inverno, da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	76
<b>Figura 33:</b> EUPS sazonal, para o período de primavera, da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	77
<b>Figura 34:</b> EUPS Anual, com cobertura máxima de vegetação, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	79
<b>Figura 35:</b> EUPS anual, para o solo exposto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	80
<b>Figura 36:</b> Fotografias do córrego Zauna. A: Ponto 2 (próximo à nascente). B: Ponto 1 (próximo à foz, nota-se um caminho para veículos atravessarem). C: Ponto 1 (próximo a foz, com rochas aflorantes).....	82
<b>Figura 37:</b> Seções do Ponto 1 (próximo à foz) do córrego Zauna, no período de inverno e primavera, onde foram realizadas as coletas de água. ....	83
<b>Figura 38:</b> Seções do Ponto 1 (próximo à foz) do córrego Zauna, no período de verão e outono, onde foram realizadas as coletas de água. ....	83
<b>Figura 39:</b> Pequenos sulcos em estágio inicial. Localizadas na vertente direita do córrego Zauna, na baixa vertente. Data: Julho de 2016.....	89

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b> Dados relacionados ao relevo da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	16
<b>Quadro 2:</b> Períodos de desenvolvimento das plantas.....	42
<b>Quadro 3:</b> Valor K para classes de solos. ....	47
<b>Quadro 4:</b> Classes do valor P da EUPS. ....	54
<b>Quadro 5:</b> Valores da erosividade (MJ.mm) da bacia hidrográfica do córrego Zauna, separados por estações e meses. ....	66
<b>Quadro 6:</b> Quadro de porcentagem das perdas de solo do período de verão da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	73
<b>Quadro 7:</b> Quadro de perdas de solo em porcentagem, no período de outono, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	75
<b>Quadro 8:</b> Quadro de perdas de solo em porcentagem, no período de inverno, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	76
<b>Quadro 9:</b> Quadro de perda de solos em porcentagem, para o período de primavera, da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	77
<b>Quadro 10:</b> Quadro de perdas de solo em porcentagem, anual para o solo coberto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	78
<b>Quadro 11:</b> Quadro de perdas de solos em porcentagem, anual para o solo exposto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	80
<b>Quadro 12:</b> Resultados da SDR/RPS/RAS para a bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	81
<b>Quadro 13:</b> Dados de Hidrossedimentos e vazão do Ponto 1 no córrego Zauna. ....	85
<b>Quadro 14:</b> Dados de vazão do Ponto 2 no córrego Zauna.....	86
<b>Quadro 15:</b> Valores de Porosidade da Vertente Esquerda da bacia hidrográfica do córrego Zauna. ....	88
<b>Quadro 16:</b> Valores de Porosidade da Vertente Direita da bacia hidrográfica do córrego Zauna.....	86

## LISTA DE EQUAÇÕES

<b>Equação 1:</b> Equação Universal de Perda de Solos .....	35
<b>Equação 2:</b> $E_{i30}$ (erosividade/ Lombardi e Moldenhauer, 1980) .....	37
<b>Equação 3:</b> Energia cinética (Correa e Dedecek).....	38
<b>Equação 4:</b> $E_{i30}$ .....	38
<b>Equação 5:</b> Equação de erodibilidade .....	39
<b>Equação 6:</b> Equação de erodibilidade (Bouyoucos).....	39
<b>Equação 7:</b> Equação do comprimento de rampa .....	41
<b>Equação 8:</b> Índice Mensal de Erosividade .....	48
<b>Equação 9:</b> Equação automática do fator L, G <sub>isus</sub> -m (in OLIVEIRA et al., 2015).....	50
<b>Equação 10:</b> Cálculo do rill - interrill (MCCOOL et al. 1989, <i>apud</i> OLIVEIRA et al., 2015) .....	50
<b>Equação 11:</b> Variação do algoritmo Beta (MCCOOL et al., 1989 <i>apud</i> OLIVEIRA et al., 2015).....	50
<b>Equação 12:</b> Cálculo do Fator S (MCCOOL et al, 1987 <i>apud</i> OLIVEIRA et al., 2015).....	51
<b>Equação 13:</b> Equação para o Fator C(método de DURIGON et al.,2014).....	53
<b>Equação 14:</b> Equação para o Fator C (método de VAN DER KNIJFF et al.,1999) .....	54
<b>Equação 15:</b> Cálculo de sólidos Dissolvidos .....	57
<b>Equação 16:</b> RPS (MANER, 1952).....	58
<b>Equação 17:</b> RPS (WILLIAMS-BERNDT, 1977) .....	58
<b>Equação 18:</b> RPS (VANONI, 1975) .....	58
<b>Equação 19:</b> RPS (RENFRO, 1978). .....	58
<b>Equação 20:</b> RPS (USDA, 1979) .....	58
<b>Equação 21:</b> USDA - NRCS (1983).....	58
<b>Equação 22:</b> Equação da Redução do Aporte de Sedimento. ....	58
<b>Equação 23:</b> Cálculo de Microporosidade .....	60
<b>Equação 24:</b> Cálculo de Macroporosidade.....	60
<b>Equação 25:</b> Cálculo de Porosidade Total.....	60

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Pluviosidade da bacia hidrográfica do córrego Zauna .....	65
<b>Gráfico 2:</b> Erosividade da bacia hidrográfica do córrego Zauna.....	65
<b>Gráficos 3 e 4:</b> Quantidade de Hidrossedimentos Ponto 1 (3) e do Ponto 2 (4). .....	85
<b>Gráfico 5 e 6:</b> Porosidade da vertente Esquerda e Direta da bacia hidrográfica do córrego Zauna .....	87

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUA – Estados Unidos da América

EUPS – Equação Universal de Perda de Solos

GLASOD – *Global Assessment of Human-induced Soil Degradation*

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

ISRIC – *International Soil Reference and Information Centre*

ITCG – Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná

LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*

LV – Latossolo Vermelho

Ma - Macroporosidade

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

Mi - Microporosidade

NV – Nitossolo Vermelho

Pt – Porosidade Total

QGIS - *Quantum GIS*

RAS – Razão de Aporte de Sedimentos

RPS – Razão de Produção de Sedimentos

RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*

SD - Sólidos Dissolvidos

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SST – Sólidos Suspensos Totais

ST – Sólidos Totais

TIN – Triangular Irregular Network

UEM – Universidade Estadual de Maringá

USLE – Universal Soil Loss Equation



## 1. INTRODUÇÃO

A erosão laminar é, possivelmente, o tipo de erosão que mais prejudica propriedades agrícolas no Brasil, isso por ser quase imperceptível e causar perda de partículas de solos, nutrientes e expor raízes de plantações. Tal erosão é causada por diversos fatores naturais, tais como tipo e estrutura do solo, declividade do terreno, comprimento da vertente, rochas, hidrografia, uso e ocupação do solo, precipitação e ventos.

Para o estudo e prevenção deste processo erosivo, Wischmeier e Smith (1978) criaram nos EUA uma metodologia que se utiliza dos fatores condicionantes mais importantes, para quantificar a erosão laminar e auxiliar planejamentos de áreas agrícolas que, em 1985, foi adaptada ao Brasil por Bertoni e Lombardi Neto, gerando bons resultados e, assim, espalhando a metodologia pelo país.

No município de Maringá, duas pesquisas utilizando a EUPS em bacias hidrográficas de primeira ordem foram realizadas com o intuito de calcular a erosão laminar. Petsch e Santos (2015) compararam três diferentes métodos de quantificação de perda de solos, a EUPS, Kirkby e MEUPS, no ribeirão Morangueira, localizado na parte Leste do município. Já Silva (2008) utilizou a RUSLE (Equação Universal de Perda de Solos Revisada) com o apoio do SIG *Idrisis Andes* no ribeirão Reis, ao Sul do município. Ambos os autores salientaram a eficiência da EUPS e seus resultados, além da importante participação de SIG's no trabalho. Nos trabalhos citados, foram utilizados procedimentos metodológicos diferentes da presente pesquisa, havendo uma variação principalmente entre processos de SIG.

Nesta dissertação, busca-se a continuidade pelo entendimento dos processos erosivos com o uso da EUPS e outros modelos.

A área de estudo em questão foi a bacia hidrográfica do córrego Zauna, no Município de Maringá, Paraná. Além disso, foram consideradas as seguintes hipóteses: a) a quantidade de material erodido não é a mesma que a quantidade do material transportado até o exutório da bacia hidrográfica; b) a principal causa dessa retenção de sedimentos é a topografia do terreno; c) existe uma relação entre as variáveis estudadas; d) uma bacia de primeira ordem apresenta resultados mais detalhados e de uso para o planejamento ambiental de pequenas áreas. Sendo assim, o objetivo geral foi aplicar metodologias complementares para a análise de perda de solos por erosão laminar, e compará-las, com a intenção de definir uma relação entre os diferentes métodos e seus resultados. Para alcançar o objetivo geral foram definidos objetivos específicos, sendo utilizados procedimentos metodológicos como a Equação Universal de Perda

de Solos (EUPS), para encontrar a quantidade de perda de solos erodida, e a Razão de Produção de Sedimentos (RPS), também conhecida com Razão de Aporte de Sedimentos (RAS), com finalidade de gerar a porcentagem de sedimentos que são transportados até o exutório do curso de água. Com a subtração das duas equações, foi possível gerar a quantidade de sedimentos que ficaram retidos dentro da bacia hidrográfica estudada. A fim de relacionar os dados simulados da EUPS e RPS, foram realizadas análises de porosidade do solo, gerando dados de microporosidade, macroporosidade, porosidade total e densidade do solo, além de análises de hidrossedimentos, mais especificamente sólidos suspensos, dissolvidos e totais.

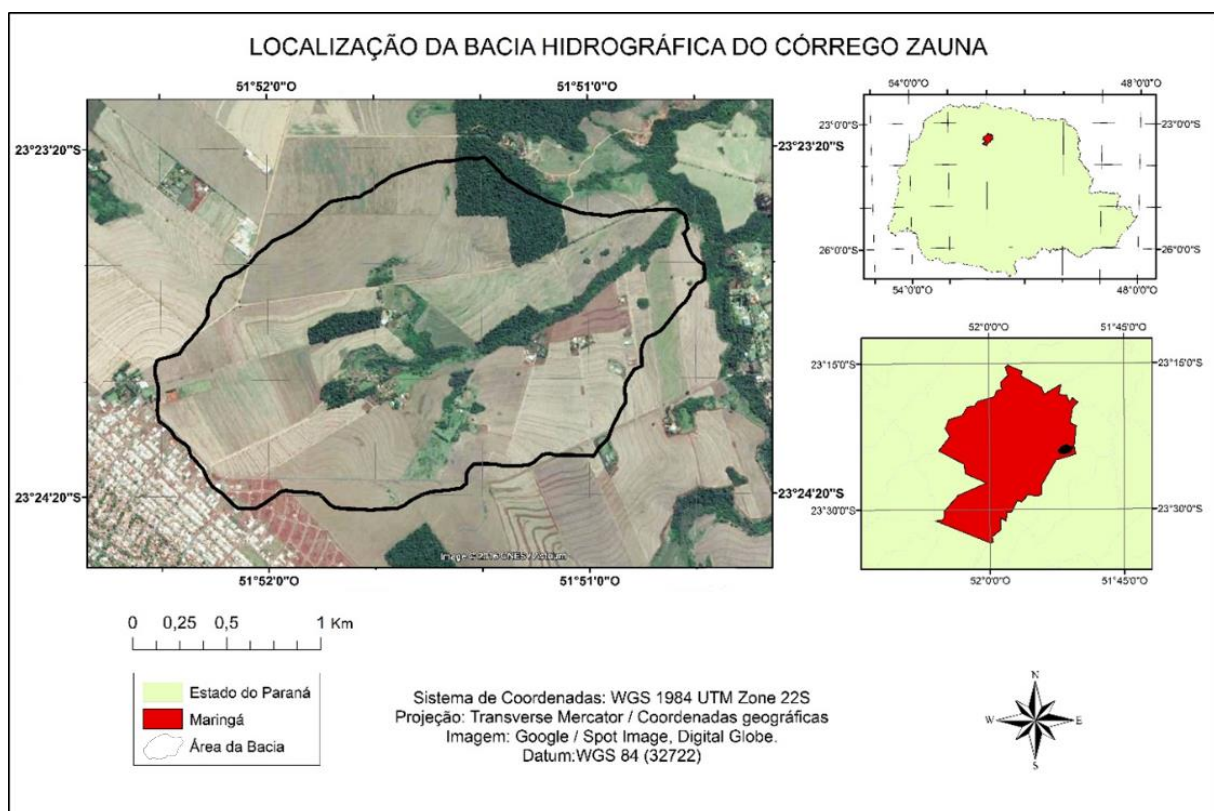
Considerando que diversos procedimentos são criados e utilizados em todas as regiões do mundo, poucas pesquisas preocupam-se em utilizar métodos científicos que podem ser complementares entre si, a fim de gerar um resultado ainda melhor do que uma única geraria. Grande parte das pesquisas são desenvolvidas em grandes áreas, seja pela facilidade de manuseio de dados ou por simplesmente falta de interesse. Seja qual for o motivo, o estudo de pequenas áreas, como uma bacia hidrográfica de primeira ordem, se torna necessário para um melhor planejamento ambiental e urbano em detalhe.

## 2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

As características geográficas, tanto físicas quanto humanas, são essenciais para os trabalhos de cunho ambientais, pela importância da interação entre os inúmeros fatores naturais e antrópicos, que proporcionam uma análise integrada da paisagem, a qual possui fundamental importância para os estudos pedológicos e planejamento ambiental.

A bacia hidrográfica do córrego Zauna abrange uma área de 3,7km<sup>2</sup> com um perímetro de 8,0km, e se localiza no município de Maringá, na divisa com o município de Sarandi, entre as coordenadas 23° 24' 07.13"S e 51° 52' 20.47"O (Figura 1).

**Figura 1:** Localização da bacia hidrográfica do córrego Zauna, Maringá – PR.



### 2.1. Substrato geológico

Segundo a MINEROPAR (2001), o município de Maringá está situado sobre litologias da Formação Serra Geral (JKsg), constituído por uma sequência de derrames basálticos do período Jurássico-Cretáceo. A Formação Serra Geral compreende um conjunto de derrames basálticos, onde se intercalam arenitos com mesmas características da Formação Botucatu. É

recoberta em discordância angular, geralmente disfarçada, por formações do Grupo Bauru ou depósitos de materiais recentes. Essa discordância foi observada em afloramentos, tendo o mesmo levado à erosão dos basaltos. Sua máxima espessura, descrita através de uma sondagem realizada em Presidente Epitácio, é de 1.529m. Tais derrames são formados por rochas de coloração cinza-escuro a negra com textura afanítica até fanerítica fina. Os basaltos da Formação Serra Geral apresentam composição simples, constituída por plagiocásio, associada à clinopiroxênios. Raramente, encontra-se titano-magnetita, apatita, quartzo e olivina, ou seus produtos de alteração (MINEROPAR, 2001).

Segundo Pinese e Nardy (2003), a Formação Serra Geral, no Terceiro Planalto Paranaense, inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, é reconhecida por três tipos litológicos: basaltos e andesitos toleíticos, riódacitos e riólitos do tipo Palmas, e quartzo latitos e riólitos do tipo Chapecó. Tais tipos litológicos definem três unidades litoestratigráficas: o segmento básico inferior (Serra Geral) que representa 97,5% das rochas vulcânicas da bacia do Paraná; unidades Palmas e Chapecó que recobrem 2% e 0,5% da Formação Serra Geral. Ambas sobrepondo aos basaltos do segmento básico inferior e encontrando-se em contatos concordantes e abruptos.

Para Maack (1968), o Terceiro Planalto Paranaense, mais conhecido como Planalto de Guarapuava é, em comparação, a maior unidade de relevo do Estado, apresentando derrames basálticos que surgiram na era Mesozóica, onde intercalam-se com sedimentação da Formação Arenito Botucatu. Tais derrames apresentam inclinação suave para o noroeste, e em suas bordas, sobrepõem-se a Formação Caiuá.

Já Santos et al., (2006) consideram que o Terceiro Planalto Paranaense corresponde ao grande derrame mesozoico de rochas eruptivas básicas associados na porção noroeste à rochas areníticas do Grupo Bauru, desenvolvendo relevos planálticos com inclinação geral para oeste-noroeste. Inclui-se nesta divisão o Planalto de Maringá.

A bacia hidrográfica do córrego Zauna se localiza na área caracterizada, segundo Pinese e Nardy (2003), como segmento basal da Formação Serra Geral Paranaense, que é composta por sequências de derrames basálticos toleíticos, os quais apresentam acamamento pouco desenvolvido e orientação essencialmente horizontal. Apresentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu e Pirambóia. Sua granulação é caracterizada como fina a muito fina. Em geral, a unidade possui um espesso manto de alteração onde são precursoras de solos como Latossolo Vermelho, Nitossolo e associações de Neossolo/Cambissolo.

## 2.2. Relevo

O município de Maringá está inserido no Terceiro Planalto Paranaense, também conhecido como planalto arenito-basáltico. No geral, corresponde ao grande derrame Mesozoico, como já dito, associado na porção noroeste às rochas areníticas do grupo Bauru. O terceiro planalto ocupa 2/3 do Paraná, incorporando relevos planálticos, com inclinação geral para oeste-noroeste, subdividido pelos principais afluentes do rio Paraná (SANTOS et al; 2006). Segundo o Atlas Geomorfológico do Paraná (2006), o município de Maringá está situado na sub-unidade morfoescultural, denominada Planalto do Maringá. Apresenta dissecação baixa, sua classe de declividade é menor que 6% em uma área de 2.215,64km<sup>2</sup>. Apresenta gradiente de 400m com altitude variando entre 340 e 740m. As formas de relevo predominantes são topos alongados e aplainados, vertentes convexas em vales “V”, modeladas em rochas da Formação Serra Geral.

A altitude do município varia entre 585 e 442m e sua declividade, segundo o modelo digital de elevação elaborado pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná - ITCG, varia entre as classes da EMBRAPA, de plano na alta vertente a forte ondulado em alguns pontos da média e alta vertente, onde alcança no máximo 29°. Porém, para a área de estudo, segundo os dados obtidos, em análises via imagens de orbitais, a altitude mínima encontrada foi de 435m e máxima de 582m (Figura 2).

A bacia hidrográfica do córrego Zauna pode apresentar, segundo modelos geométricos de Troeh (1965) citados por Bloom (1970) e Caseti (2005), encosta de rastejamento, de perfil convexo e linhas de nível côncavas, ou seja, uma encosta coletora de água. A área também é classificada como uma bacia do tipo elipsoidal, segundo métodos de Paiva, Chaudhry e Reis (2004). O Quadro 1 apresenta dados relacionados ao relevo da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

A declividade da área, em sua maior parte, se encontra entre 0 à 6 %, localizadas principalmente nos extremos oeste e noroeste da bacia hidrográfica. Algumas partes se encontraram em 6 a 10 % e poucas atingiram 20 % de declividade (Figura 3). O comprimento máximo da bacia hidrográfica paralelo ao córrego, é de 2,98km, a diferença de elevação média do divisor e da bacia vertente é de 91 metros e a declividade média do curso de água é de 0,035%.

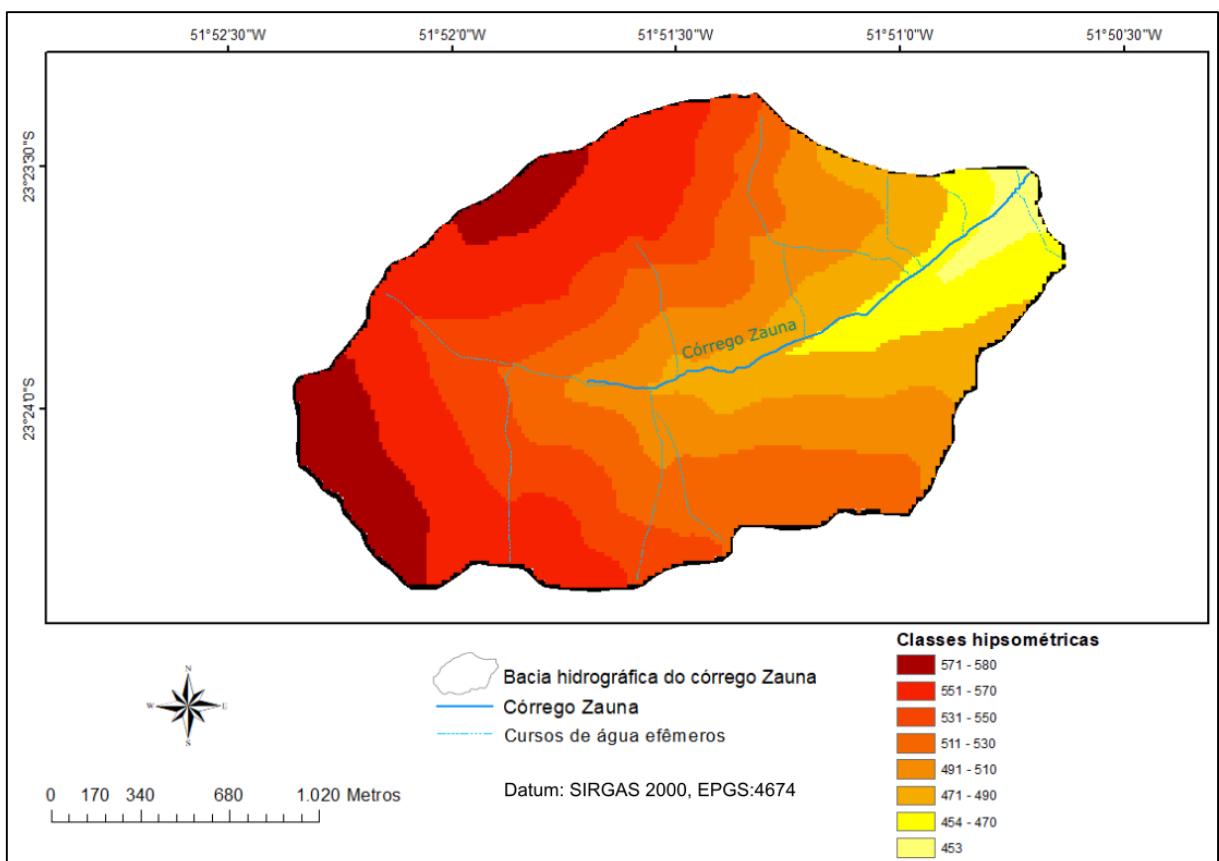
Na bacia hidrográfica do córrego Zauna ocorrem degraus escalonados, provavelmente um contato entre derrames basálticos do mesozoico. O córrego Zauna se encontra em um vale

em berço, com vertentes retilíneas e convexas divergentes. Também ocorrem pequenas planícies de inundação, próximas ao curso de água.

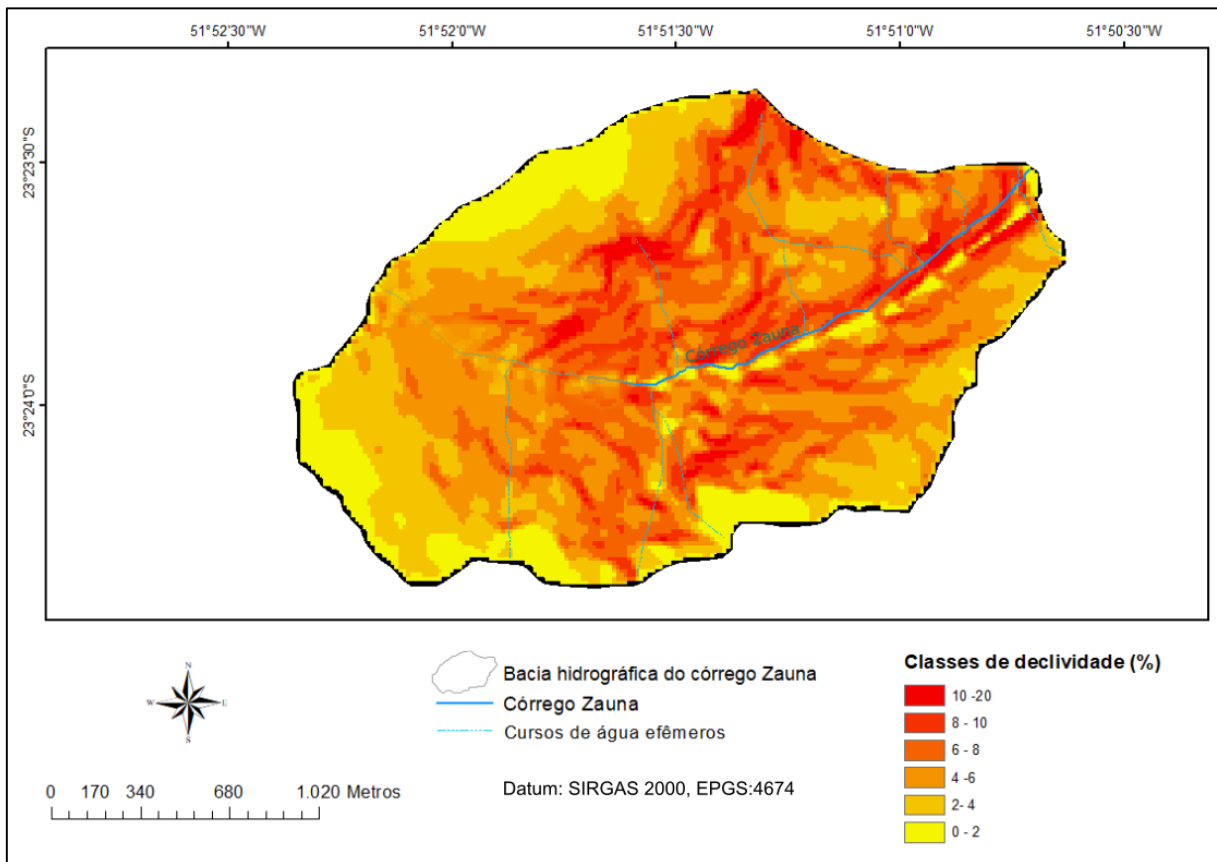
**Quadro 1:** Dados relacionados ao relevo da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Altitude mínima (m)	435
Altitude máxima (m)	582
Altitude média (m)	523
Declividade máxima (%)	20
Declividade média (%)	5
Comprimento máximo, paralelo ao rio (km)	2,98
Diferença entre elevação média do divisor e da bacia vertente (m)	91
Declividade média do curso de água principal (%)	0,035

**Figura 2:** Hipsometria da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



**Figura 3:** Declividade da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



### 2.3. Vegetação

A vegetação original do Estado do Paraná possuía 83% de cobertura florestal e outros 17% por formações não-florestais como campos e cerrados, além de restingas, mangues, várzeas e campos de altitude (MAACK, 1968).

No Norte e Oeste do Estado define-se a Floresta Estadual Semidecidual, ou Floresta Estacional, divididas em Submontana e Aluvial. Suas formações vegetais possuem a característica de semidecidualidade na estação desfavorável, quando no período de baixa precipitação pluviométrica as árvores do dossel perdem suas folhas (RODERJAN et al., 2002).

Na área de estudo existem resquícios da mata original apenas na área de preservação permanente - APP, onde se encontram árvores de médio a grande porte, em uma distribuição densa. No solo da APP existe muito material orgânico provindo das próprias árvores, além de troncos derrubados pela força da enxurrada em ocasiões de concentração de precipitação. O restante da área é ocupada para fins agrícolas como plantações de milho, trigo e soja, estradas e residências rurais (Figuras 4 - 7).

**Figura 4:** Fotografia mostra o solo em sistema de plantio direto após colheita de soja e resquício da mata primitiva junto a cabeceira de drenagem da margem do córrego Zauna. Data: 21/08/2016 (Inverno).



**Figura 5:** Plantação de trigo na bacia hidrográfica do córrego Zauna, porção Sudeste. Data: Fevereiro de 2017 (Verão).





**Figura 6:** Áreas de plantação de trigo e milho na vertente Direita (A) e Esquerda (B) da bacia hidrográfica do córrego Zauna. (Primavera/ 2016).



**Figura 7:** Áreas agrícolas localizadas na vertente Direita (A) e Esquerda (B) da bacia hidrográfica do córrego Zauna. (Outono/2017).



#### 2.4. Clima

Segundo Caviglione (2000), baseando-se em estudos de Köppen, o clima do município de Maringá é classificado como Cfa: Clima subtropical, com temperatura média no mês mais

frio inferior a 18°C (Mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

A classificação climática de Köppen é baseada na vegetação, temperatura, pluviosidade e apresenta um código de letras de grupos e subgrupos climáticos, além de subdivisões de temperaturas e pluviosidades (TREWARTHA e HORN, 1980).

As temperaturas mais baixas ocorrem entre os meses de maio e julho, enquanto as temperaturas mais quentes estão entre novembro a março.

Porém, Terassi e Silveira (2013) identificaram as classes Cfa (Subtropical quente) nos locais acima de 650 metros e Ama (Tropical com inverno seco, nas menores cotas altimétricas). Estas possuem características climatológicas com temperatura do mês mais frio entre 18°C e 22°C, do mês mais quente acima dos 22°C, e precipitação pluviométrica concentrada nos meses de verão e reduzidas nos meses de inverno.

Alguns estudos realizados já mostraram claramente a correlação existente entre a precipitação pluvial e as condições climáticas do El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Em alguns desses trabalhos, concluiu-se que as chuvas possibilitam ou impedem o manejo de determinadas culturas existentes no Sul do Brasil (FERREIRA, 2000).

Hiera, Filho e Borsato (2012) concluíram que, durante os verões, a influência do El Niño e da La Niña não são muito evidentes, pois a mudança de temperatura de anos em anos no local já é normal, porém, nos anos de fenômenos, a temperatura tende a se elevar. Já durante os invernos, a influência dos eventos fica mais evidente com temperaturas também mais elevadas.

No período realizado no presente trabalho, o Brasil se encontrava sob influência da La Niña, formada no trimestre de julho, agosto e setembro de 2016 e extinguida em fevereiro de 2017. Segundo o NOAA (Serviço Nacional de Clima dos Estados Unidos), o ápice do fenômeno ocorreu nos meses de setembro e dezembro de 2016.

As precipitações na região do estudo costumam ser bem definidas, com médias de 1.250 a 1.500 mm/ano, sendo que as quais frequentemente se aproximam de 1600 mm/ano.

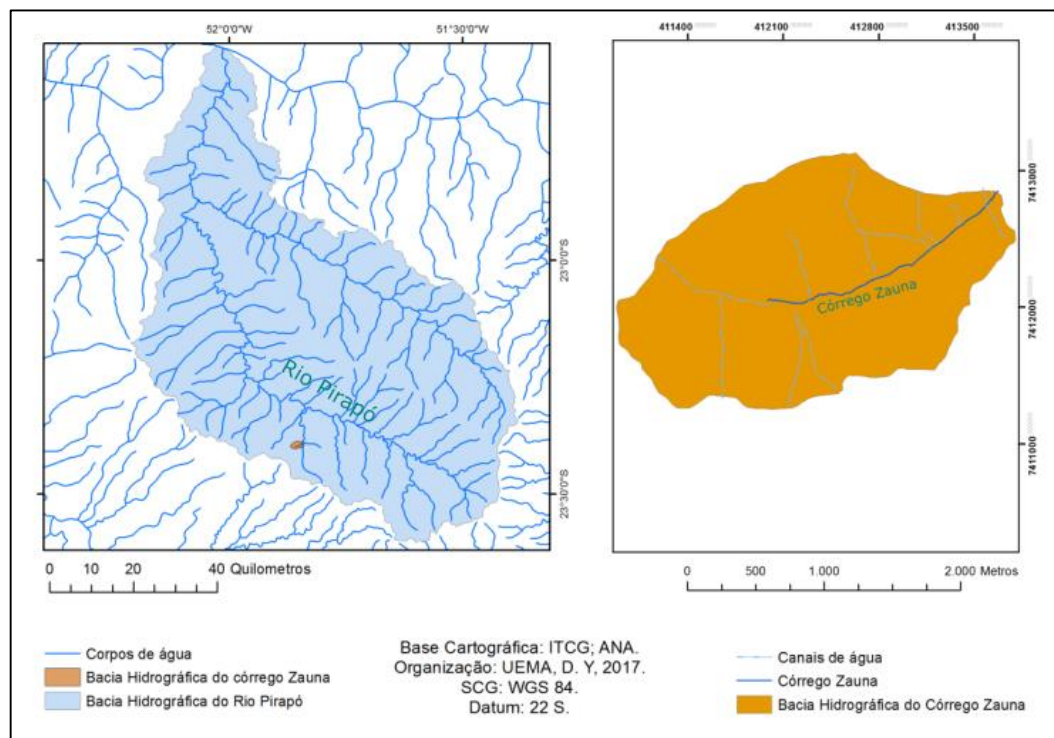
Os dados de pluviosidade mais detalhados sobre a área estão demonstradas no item resultados, que é um dado essencial para o cálculo da erosividade.

## 2.5. Rede de Drenagem

O córrego Zauna é um curso de água de primeira ordem, segundo Strahler (1952), desaguando no ribeirão Sarandi que, por sua vez, desagua no rio Pirapó. A bacia hidrográfica do rio Pirapó é uma área amplamente estudada por pesquisadores e instituições do Paraná, como a Agência Nacional de Águas – ANA e o Comitê de Bacias, possuindo diversas publicações com suas características. O córrego Zauna, por fazer parte de sua bacia hidrográfica, compartilha de algumas dessas características (Figura 8).

Na área de estudo encontram-se diversos canais efêmeros, também representados na Figura 8, que surgem quando ocorrem precipitações intensas nas partes de maior altitude da bacia hidrográfica.

**Figura 8:** Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Córrego Zauna.



## 2.6. Solos

Segundo a EMBRAPA (2013), o solo pode ser considerado uma coleção de corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, com características tridimensionais, dinâmicas, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial da Terra. Contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza.

A diversidade de solos do Paraná, para Nakashima e Nóbrega (2003), reflete as variações da litologia, relevo e clima.

Bertoni e Lombardi Neto (1985), baseando-se em solos do interior de São Paulo, expõem que as práticas agrícolas, por sua visão menos ambiental e mais econômica e política, estão criando um desequilíbrio natural. Tais solos estão se perdendo em quantidade e em qualidade (nutrientes).

Considerando o Terceiro Planalto Paranaense do sentido norte para o sul, os solos mais comuns são Latossolo Vermelho argiloso, do topo até a média vertente, e Nitossolos Vermelhos argilosos, da média até ao sopé da encosta; no centro sul e sul, porções mais altas do planalto são constituídas por Latossolos Brunos argilosos passando aos solos rasos, como os Cambissolos e Chernossolos, na média e baixa vertente. Já no oeste e sudoeste aparecem sequências de LVa e NV (NAKASHIMA e NNÓBREGA, 2003).

Segundo Marcatto e Silveira (2014), baseado na Embrapa (2008), os setores onde o solo provém da alteração de basaltos da Formação Serra Geral, assim como a área estudada, encontram-se Latossolos Vermelhos, Nitossolos Vermelhos e Neossolos Litólicos, ambos de textura argilosa. Respectivamente, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013), os Latossolos Vermelhos são solos constituídos por material mineral com horizonte B latossólico abaixo de qualquer tipo de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos em avançado estágio de intemperização, normalmente muito profundos, bem drenados e são típicos de regiões tropicais e equatoriais. Os Nitossolos Vermelhos são um grupamento de solos com horizonte B nítico bem espesso, possui presença de cerosidade e /ou superfícies com gradiente textural menor que 1,5. Geralmente são ácidos ou moderadamente ácidos. Já os Neossolos litólicos são considerados os solos jovens, constituídos por material mineral/ orgânico com menos de 20 cm de espessura, e não possuem horizonte B diagnóstico, onde normalmente existe o aparecimento de afloramentos rochosos na área de abrangência desse solo.

## 2.7. Uso e ocupação do solo

Com alta produtividade dos solos derivados de basalto, os imigrantes começaram a povoar a região conhecida hoje como Maringá, em 1938, sendo erguidas edificações apenas dois anos depois no hoje conhecido Maringá Velho. Os primeiros pioneiros seriam paulistas, mineiros e nordestinos, em 1947 e 1949, em caravanas organizadas pela Companhia

Melhoramentos do Norte do Paraná – CMNP, com o intuito de produzir café (PREFEITURA DE MARINGÁ, 2013).

A produção cafeeira começou a decair em 1960 e, durante as primeiras geadas que dizimaram a maior parte do café do Estado, a produção perdeu espaço no comércio nacional. Em seu lugar, de pouco a pouco, lavouras mecanizadas de soja, trigo e milho começaram a despontar nas áreas agrícolas do Norte Paranaense. No final dos anos de 1990, as lavouras de cana-de-açúcar avançaram para o Noroeste do Paraná e, posteriormente, sobre o Norte Paranaense. Assim a nova forma de uso do solo se construiu e são as atividades agrícolas predominantes desde o início do ano 2000 (PETSCH e MONTEIRO, 2012).

As mudanças de produções agrícolas durante os anos podem ter influenciado em alterações estruturais do solo, possibilitando o aumento do potencial erosivo.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Estudo e conservação do solo

A crescente demanda de recursos naturais e os problemas causados por processos erosivos, principalmente a perda de camada superficial de solos e nutrientes por erosão laminar, vem ocasionando diversos problemas relacionados a degradação dos mesmos. Tal fato tem levado entidades e instituições a se preocupar, elaborando planos, leis, pesquisas, tudo como forma de um planejamento e gestão ambiental.

A alta demanda de produtividade agrícola como principal fonte econômica do Paraná tem como consequência um esgotamento de recursos naturais, muitas vezes tornando difícil a natureza conseguir se recuperar (SPINELLI et al., 2016; NAPOLEÃO e MATTOS, 2011).

A degradação ambiental relaciona-se com condições atmosféricas, vegetação, solo, geologia e hidrologia. Pode ser proveniente de condições atmosféricas adversas induzidas pelo homem mudando o clima global, secas, desmatamento, ou até por causa da população animal e vegetal, ou seja, em uma abordagem holística, uma unidade de terra possui um componente vertical e horizontal. Todo tipo de intervenção antrópica altera alguma condição natural do ambiente (ARAÚJO, ALMEIDA E GUERRA, 2014).

A intervenção humana, na utilização e manipulação de recursos naturais, está trazendo inesperadas consequências. Os solos do planeta estão sendo lixiviados, esterilizados e contaminados por materiais tóxicos, transformando-os em não sustentáveis (OLDEMAN, 1992).

Segundo Floriano (2004), planejamento é uma ferramenta de gestão, onde se busca um objetivo, um processo de organização de tarefas sequenciais, missão, compromisso e objetivos, monitoramento, controle e análise de ações planejadas. É necessária mais de uma pessoa para tal trabalho e o resultado fornecido deverá servir para alguém mais. Então, pode-se conceituar o planejamento ambiental como uma organização do trabalho de uma equipe com objetivos em comum, de forma que os impactos resultantes, que afetam negativamente o ambiente, sejam minimizados e os positivos maximizados.

A bacia hidrográfica é utilizada como área limite para estudos ambientais, é denominada como unidade geoambiental, termo oficialmente conceituado no Decreto nº 5.300 de 7 de dezembro de 2004, Lei nº 7.661:

“Unidade Geoambiental é a porção do território com elevado grau de similaridade entre as características físicas e bióticas, podendo abranger diversos tipos de ecossistemas com interações funcionais e forte interdependência” (SALA, 2014).

No fim dos anos de 1980, a UNEP – Programa das Nações Unidas criou um programa chamado *Global assessment of soil degradation* (GLASOD), que foi implementado e coordenado pela *International soil reference and informarion centre - ISRIC*. Três anos após a criação, o primeiro mapa mundial de degradação do solo com influência humana foi publicado por Oldeman et al., em 1990. Tal mapa mostra diversas informações quantitativas sobre a extensão global da degradação do solo, porém, por causa da sua escala, foi utilizada a projeção de Mercator, distorcendo as áreas de maiores latitudes. Após algum tempo, foi digitalizado e transformado para coordenadas geográficas, tornando possível estimar melhor os processos de degradação do solo (OLDEMAN, 1992).

O início dos levantamentos de solo no Brasil aconteceu com Vasconcellos, em 1928, que analisou a composição química de um Latossolo Vermelho em 30cm de profundidade até 270cm. A partir disso, a pesquisa só se desenvolveu e, em 1941, Setzer caracterizou 22 tipos de solos em São Paulo. Em 1947, o Instituto José Augusto Trindade na Paraíba elaborou o primeiro mapa de solos do país. Mais um impulso se formou com a criação da Comissão de Solos do Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas do Ministério da Agricultura, a qual coordenou estudos em todo o Brasil. Com todo o crescimento de suporte e interesse na área, em 1971 o Departamento Nacional da Produção Mineral criou o projeto RADAM, que utilizou radares de sensoriamento remoto para estudar, conservar e analisar recursos naturais e minerais da Amazônia. A partir de 1976, o RADAM se estendeu para todo o país, se tornando o RADAM BRASIL. O IBGE, em 1980, absorveu a equipe técnica do projeto e desenvolveu trabalhos no cunho da geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação, e mais tarde criou o Manual Técnico de Pedologia em 1995, baseado em publicações da EMBRAPA e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SBCS (OLDEMAN, 1997).

Nas áreas agrícolas, as modificações na superfície do solo têm o papel de desenvolver culturas. Há, então, uma modificação necessária na cobertura do relevo, modificando a rugosidade do terreno, aumentando o escoamento superficial em certos pontos e diminuindo em outros. Quando a rugosidade aumenta, pela presença de plantas ou terraceamento, menores cargas de constituintes da superfície do solo podem alcançar os rios. Já nas áreas de baixas

rugosidades a velocidade da água aumenta e corpos podem ser arrastados (CHEN et al., 2009; SCHNEIDER et al., 2011).

Um dos recursos naturais, que se contaminado é dificilmente recuperado, é o solo, pois seus processos de regeneração e formação são muito lentos. Muitos impactos ambientais, resultantes da expansão da atividade agrícola, estão ligados ao mau uso de pesticidas, fertilizantes, manejo hídrico inadequado, planos de plantações não adequadas ao tipo de solo, declividade, comprimento de rampa e uso de áreas como pastagens (ARAÚJO, ALMEIDA E GUERRA, 2014).

A conservação do solo busca tratar e usar as terras agricultáveis, mantendo-as produtivas e conservando suas características naturais (MONDARDO, 1977).

A erosão causa o esgotamento dos nutrientes do solo ou desgaste, e pode ser controlada. Técnicas foram criadas para aumentar a resistência do solo e diminuir a força dos processos erosivos, Bertoni e Lombardi Neto (1985) as chamaram de práticas conservacionistas, um dos fatores da EUPS. Estas podem ser divididas em vegetativas, edáficas e mecânicas, caso utilize a vegetação, modifique o sistema de cultivo ou construa estruturas artificiais. Nenhuma delas resolve totalmente o problema, para tal objetivo é necessário um estudo cauteloso da área para encontrar a melhor solução ou soluções.

Ananda e Herath (2003) estudaram o problema de erosão dos solos em países em desenvolvimento, e revelaram que é necessária uma visão dinâmica do problema, não são apenas os processos naturais que são culpados pela degradação do solo. A política e relações institucionais precisam se associar, estudar a taxa de crescimento de populações, juntamente com a política ambiental e, por fim, tomar medidas corretivas ou mitigadoras para as áreas rurais. Em países pouco desenvolvidos, os agricultores são obrigados a escolher por métodos erosivos para obter produção. Os recursos de qualquer propriedade comum podem ser usados de formas sustentáveis através de ações coletivas e capital social. Quando sistemas assim são apoiados pelo governo, as definições de direitos legais são facilitadas. Segundo as autoras, o investimento para as medidas de conservação do solo deve ser aumentado, pois incentivos de mercado podem não funcionar com ausência de instituições fortes que reduzam custos de transações e facilitam o intercâmbio de mercado.

### 3.2. Processos Erosivos e suas ocorrências no Estado do Paraná

O processo erosivo pode ser entendido como o transporte de partículas de solo, que são carregadas para os corpos d'água em eventos de precipitação. Está relacionado ao tipo de solo,



quantidade de água precipitada, declividade do terreno e principalmente ao uso da terra (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985; BONIFÁCIO, 2013). As enxurradas provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície do terreno ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e nutrientes essenciais em dissolução (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Considerando os processos de erosão, transporte e deposição é possível ter uma ideia da quantidade de material detrítico que está sendo transportado pelos rios tanto em forma dos sólidos como em solução (TARELHO; BONIFÁCIO; TAVARES, 2013).

Mondardo et al., (1977) definem erosão como desgaste da superfície terrestre sob a ação dos agentes erosivos, principalmente água e vento, sendo a erosão causada pela água um dos fenômenos mais frequentes. Porém, quando o homem interrompe o equilíbrio da natureza usando terras muitas vezes de modo inadequado, o processo de desgaste do solo se acelera. Carvalho (1994) definiu como fenômeno do desgaste das rochas e solos, com desagregação, deslocamento ou arrastamento das partículas por ação da água ou outros agentes como o vento.

Para Oldeman (1992), a erosão por água traz severas consequências negativas, como a remoção da parte fértil do topo do solo, reduzindo sua capacidade de uso e em alguns casos até deixando a área restrita para usos agrícolas. O controle desse tipo de erosão é difícil, pois os fazendeiros preferem utilizar fertilizantes naturais para compensar a perda de capacidade de produção do solo. O projeto GLASOD distingue duas formas de erosão por água:

- a) Perda do topo do solo: é a forma que desagrega a superfície do solo e pode gerar a erosão laminar. Acontece na maioria das propriedades dependendo da sua variedade climática e condições do solo e seu uso. Esse tipo de erosão é normalmente acompanhado por compactação do solo, impactando na perda de capacidade de infiltração da água no mesmo;
- b) Deformação de terreno: apesar de ser bem menos frequente do que a perda do topo do solo, os efeitos são mais fáceis de observar, como ravinas e voçorocas.

O projeto GLASOD ainda diferencia outro tipo de desgaste do solo, a degradação química. Não se refere à flutuação cíclica da condição química do solo em relação a sistemas agrícolas, em que o solo é gerenciado para manter a produtividade, nem a mudanças graduais na composição química como processos naturais:

- a) Perda de nutrientes ou matéria orgânica: é um fenômeno comum, ocorre em solos pobres de nutrientes;
- b) Salinização: é a mudança do nível de salinização do solo, podendo se tornar imprópria para irrigação, ocorrendo normalmente em regiões áridas ou semi-áridas;

- c) Acidificação: pode ocorrer em regiões costeiras, com drenagens ou oxidações que contaminam o solo. Também pode ser causado por aplicações de fertilizantes, em ambos os casos o potencial agrícola é reduzido;
- d) Poluição: existem diversos tipos, podem ser industriais, de lixo, pesticidas, acidificação, óleos e outros. Deixa a área imprópria para uso.

Segundo Morgan (2005), os problemas de erosão também acontecem onde não é o local de degradação do solo, pois a sedimentação a jusante ou a favor do vento reduz a capacidade de rios e valas de drenagem, aumenta os riscos de inundações, bloqueiam os canais de irrigação e reduz a vida útil de reservatórios. Muitos projetos de hidroeletricidade e irrigação nos Estados Unidos da América já foram arruinados como consequência da erosão. Além deste fato, o autor também comenta sobre o sedimento ser um poluente que adsorve produtos químicos podendo aumentar os níveis de nitrogênio e fósforo dos corpos de água.

Existem diversos tipos de erosão: a pluvial, já especificada acima, que tem como causadora as águas de precipitações, infiltradas ou escoadas para o curso de água transportando partículas desagregadas; a erosão fluvial, gerada em rios, aproveitando da força da correnteza; a glacial, cuja causadora são as geleiras em ambientes frios; a eólica, causada por ventos que transportam principalmente partículas finas e acumulam-nas em outro local.

Nas regiões com clima não definidos e com vários eventos de precipitações, como uma parte do Estado do Paraná localizado na linha do trópico de Capricórnio, que possui uma instabilidade atmosférica, o tipo de erosão mais comum é a hídrica, já que existem precipitações regulares e diversos cursos de água na região. A chuva, assim como a infiltração, topografia, cobertura vegetal e tipo de solo, é um fator que influi na erosão (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). O volume e a velocidade da enxurrada da chuva dependem da intensidade, duração e frequência, pois quanto maiores, maior também será a erosão. As gotas de chuva golpeiam o solo e causam três processos: desprendimento de partículas, transporte e imprimem energia à água superficial. O tamanho das gotas que chegam ao solo aumenta conforme a velocidade que cai e a altura da queda, causando maior desagregação.

A infiltração é inversamente proporcional à erosão, quanto maior ela for, menor será o escoamento superficial. Seu movimento é causado pela força da gravidade e capilaridade, influenciado por macroporos saturados. O tamanho e disposição da porosidade afeta a velocidade de infiltração. Como exemplo, pode-se diferenciar solos arenosos, com maiores espaços porosos, de solos argilosos, com menores espaços porosos, onde, geralmente, os solos arenosos terão uma velocidade de infiltração maior. Outro fator que afeta a infiltração é a

umidade do solo. No início da chuva, o material coloidal tende a se dilatar quando molhado, diminuindo os tamanhos dos espaços porosos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

A topografia do terreno é composta pela declividade e o comprimento da vertente do mesmo, sendo que, quanto maior for a declividade, maior será a velocidade da enxurrada das chuvas, resultando em maior força cinética desagregando as partículas do solo. Quanto menor for a declividade, maior será a chance da água se infiltrar no solo e menor será sua velocidade de escoamento (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

A função da vegetação na proteção dos solos e influência sobre a erosão superficial foi muito bem especificado por Araújo, Almeida e Guerra (2014). Segundo os autores, a *Soil Conservation Service* – USDA, em 1978 realizou pesquisas que estabeleceram que as perdas de solo, pela erosão pluvial, podem ser diminuídas em até mil vezes, mantendo-se cobertura densa de gramíneas ou vegetação herbácea. Seus efeitos são:

- a) Interceptação: plantas e suas folhas absorvem a energia cinética da chuva antes de chegar ao solo;
- b) Contenção: o sistema radicular contém as partículas do solo, e ao mesmo tempo as partes superiores filtram os sedimentos escoados;
- c) Retardamento: rugosidade das folhas diminuem a velocidade do escoamento superficial;
- d) Infiltração: plantas e resíduos mantêm a porosidade e permeabilidade do solo, evitando o início do escoamento superficial.

Algumas características do solo como a textura, permeabilidade e profundidade deixam-no mais suscetível à erosão, fazendo da natureza do solo um dos fatores formadores de processos erosivos. A diferença entre solos arenosos e argilosos, permeáveis e impermeáveis, acumulação de argila no horizonte B, profundidade e grau de fertilidade influenciam muito no fator infiltração (LEPSCH, 2010).

O impacto das gotas da chuva, o efeito *splash*, caindo diretamente sobre o solo ou finas camadas de água que cobrem o mesmo, salpicam as partículas de solo desagregadas. Ellison (1948) estimou que, em solos expostos, até 250 t/ha de partículas podem ser salpicadas durante uma chuva forte. Existem três tipos de erosão: hídrica, pelo impacto de chuva; erosão laminar e sulcos, sendo as duas últimas causadas pelo escoamento superficial.

A erosão laminar é a mais comum no mundo, muitas vezes imperceptível, sendo que a mesma refere-se a remoção de camadas delgadas do solo. Em dias de chuva, a água se torna mais barrenta, o solo, com o passar do tempo mais claro, dado que os nutrientes do solo estão sendo arrastados para o curso de água. Tendo em vista que as menores partículas do solo são as

de maior valor, a fertilidade do mesmo cai drasticamente se não conservada (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985).

Para Carvalho (1994), a erosão laminar ou em lençol se processa durante as fortes precipitações, quando o solo superficial já está saturado, produzindo um desgaste suave e uniforme na camada superficial em toda sua extensão. Ainda, para Mondardo et al. (1977), se agindo continuamente, pode remover delgadas camadas superficiais do solo, deixando expostas as raízes de culturas e removendo seus horizontes superficiais.

A erosão em sulcos é um estágio mais avançado da erosão laminar que se inicia a partir de pequenas irregularidades do terreno. Devido as precipitações concentrarem água, acabam acumulando volume o suficiente para formar cortes no terreno. Quando não corrigido, pode-se elevar a um nível ainda mais profundo de erosão, as voçorocas, que alcançam metros ou centenas de metros, atingindo grande profundidade e chegando até o lençol freático. A voçoroca é, em termos de sedimentos em água, muito importante para o sistema natural. Porém, nas propriedades agrícolas, não é tão relevante, pois normalmente está em área pouco utilizada para tais fins (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Para Carvalho (1994), é uma forma caracterizada por filetes de água que se dividem em braços, os quais se espalham e se juntam constantemente, infiltrando-se depois de pouca distância e depositando o material transportado.

Outro tipo de erosão bastante comum é o deslocamento e escorregamento de massas de solo, que normalmente ocorrem em morros inclinados, onde o solo da parte superior do morro se movimenta por efeito de solapamentos provocados pela água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Casos ocorridos no Brasil, como no Rio de Janeiro, onde bairros são construídos em área de risco, costumam deixar dezenas de feridos e mortos.

Quando os sedimentos erodidos chegam aos corpos de água, podem gerar assoreamento, diminuição da qualidade e quantidade de água disponível para uso e eutrofização (MARIOTI et al., 2013).

A mesorregião Norte Central Paranaense, que engloba o município de Maringá, possui solos de ótimos nutrientes e produtividade. Atraiu muitos agricultores durante anos, como exemplo os paulistas, que por já utilizarem todos os solos de boas características do Estado de São Paulo, decidiram migrar suas produções para essas áreas.

Historicamente, o Estado do Paraná foi desmatado intensamente no período de 1930 a 1950 em função da cafeicultura, sem nenhum planejamento de uso do solo. O café é uma planta relativamente boa em questão de cobertura do solo e pouco mecanizada na época, assim, além da alta fertilidade da maioria das terras do estado, não houve consequências ambientais maiores. Recentemente, o café diminuiu sua produção e deu lugar ao binômio trigo e soja, novamente

sem um planejamento racional, trazendo problemas ambientais ao solo paranaense e resultando em decréscimo de qualidade (IAPAR, 1977).

Em áreas agrícolas e estradas de terra susceptíveis à erosão, as partículas que são desagregadas são constituídas de formas, tamanhos e naturezas mineralógicas diferentes, o que afeta a qualidade e quantidade de sedimentos (HSIEH, 1984; POLETO e MENTEN, 2006).

O uso de maquinários em plantios e colheitas agrícolas torna o processo de compactação do solo mais comum em camadas superficiais, aumentando a resistência à infiltração, diminuindo o tamanho de seus poros e, conseqüentemente, reduzindo a aeração e condutividade hidráulica saturada (REICHERT et al., 2007).

A compactação do solo e o aumento do escoamento superficial e velocidade da água aumentam a chance de desagregação dos detritos do solo, podendo gerar processos erosivos.

Na região Noroeste do Paraná, onde estão localizadas rochas areníticas da Formação Caiuá, as Formações Santo Anastácio e Adamantina conhecidas pela fragilidade natural, propiciam a erosão, causada principalmente pelo uso e manejo incorreto da região, atraindo, assim, diversos pesquisadores para o estudo de tal processo natural/ antrópico.

Pesquisas foram desenvolvidas nessas regiões do Estado, como quantificar os processos erosivos, estudar suas origens, gêneses e desenvolvimento, relações com o relevo, relações com a precipitação e erosividade e relação com a urbanização.

Mangueira et al. (2016) analisaram a evolução de processos erosivos nos municípios de Umuarama e Paranaíba, entre 2005 e 2015. Mapearam as feições erosivas por imagens de satélite e compararam com cálculos de erosividade e coeficientes de chuva, usando metodologias como Rufino et al. (1993). O projeto resultou que houve associações entre as concentrações de chuvas e os avanços erosivos.

Nakashima (2001) elaborou uma metodologia para fragilidade ambiental com relação no solo - relevo, com foco em prevenir processos erosivos, e a utilizou no rio Keller. Por fim, as características do local, seguindo a metodologia, se classificam em três classes: fragilidade baixa a média, alta a muito alta e muito alta, onde, segundo características naturais principalmente geomorfológicas e morfopedológicas, podem comprometer futuras instalações.

Cunha et al. (1999) publicaram um estudo sobre o comportamento de um sistema pedológico de Umuarama-Paraná, no qual o objetivo foi analisar uma topossequência em uma vertente próxima a malha urbana do município e focar nas análises macro e micro pedológicas, além de suas caracterizações físico-hídrica. Conseguiram expor seus dados do tipo eluvial-iluvial, suas transformações no solo, teores granulométricos e onde havia mais facilidade em ocorrer processos erosivos.

Zamuner et al. (2002) desenvolveram uma pesquisa que objetivava estudar o desencadeamento de processos erosivos, porém em áreas de proteção ambiental, no município de Maringá -PR. O local escolhido foi o Bosque II, mais conhecido como Parque dos Pioneiros, sendo considerada uma área de proteção ambiental. Os autores analisaram a água do córrego Cleópatra que passa por dentro do bosque, e também quantificaram suas feições erosivas, ravinas e voçorocas. O parque serve como um local de recepção de águas pluviais, ou seja, todas as águas das zonas vizinhas escoam para tal, o que causa uma grande força de escoamento e gera processos erosivos.

### 3.3. Análises hídricas e suas relações com erosão laminar

Os sedimentos fluviais têm ganhado enfoque nos últimos anos após estudos afirmarem que atuam como vetores que transportam nutrientes e poluentes, posto que sua natureza geoquímica possa adsorver e liberar compostos químicos. Estão relacionados a problemas de ambientes aquáticos, pois, além de serem problemas físicos ligados a processos deposicionais e estabilidade da calha fluvial, também cumprem a função de regular a qualidade de água. Dentre os sedimentos, os de granulometria fina como silte e argila tendem a ter maior importância nesse transporte de contaminantes.

A carga detrítica dos rios é uma mistura de diversas partículas, tamanhos e formas. A movimentação detrítica é um processo fluvial extremamente importante, porém gasta uma pequena parcela da energia do rio. A maior parte da carga detrítica dos cursos de água é fornecida pela remoção das partículas desagregadas das vertentes. Muitas características da sedimentação fluvial são interferidas por fatores como a remoção intensa de sedimentos das vertentes, causadas por práticas agrícolas, urbanização, erosão e deposição nos canais (CHRISTOFOLLETTI, 1981).

Campagnoli (2006) realizou um estudo de classificação de sedimentos produzidos na América do Sul, baseado em fatores como tipo de rocha, relevo, tipo de solo, uso do solo, declividade e chuva, todos os dados foram coletados de estações de monitoramento. Segundo o autor, o objetivo imediato era prever a vida útil de reservatórios de usinas hidroelétricas e degradação dos ecossistemas aquáticos. Como exemplo de seus resultados, pode-se mostrar duas situações diferentes na Amazônia Brasileira. Primeiramente, a floresta apresenta um alto potencial erosivo, porém está preservado graças à vegetação preservada. Outra situação é o rio Madeira, que apresenta alta concentração de sedimentos suspensos, transportando até 600,00 toneladas por ano.

Segundo Holeman (1968) citado em Christofolletti (1981), nos anos de 1960 anualmente os rios já descarregavam nos mares e oceanos cerca de  $18,29 \times 10^9$  toneladas de sedimentos. A maioria dos constituintes intemperizados das rochas são transportados como solução química, a qual compõe a carga dissolvida dos cursos, e a quantidade dessa matéria em solução depende da água subterrânea, escoamento superficial e outros fatores que sofrem variações dependendo da escala temporal e espacial. A carga em suspensão são as partículas de granulometria reduzida, silte e argila, de tamanho que seja possível se conservar em suspensão pelo fluxo de água e necessite de uma força de fraca intensidade para se mover.

As águas subterrâneas citadas acima possuem, segundo Teixeira et al. (2009), ‘uma relação íntima com os rios, que são alimentados pelas águas subterrâneas, situação típica de regiões úmidas’. Segundo o autor, porosidade e principalmente infiltração estão estritamente ligadas ao abastecimento de águas subterrâneas.

Ainda segundo Christofolletti (1981), ao se tratar de trabalhos mais específicos sobre geomorfologia fluvial, se faz necessário especificar inúmeros fatores para entender a dinâmica dos rios, tais como: tipos de fluxos, velocidade, gasto de energia, distribuição de fluxos, variáveis geométricas hidráulicas, mudanças na forma do canal, nível de base e entre outros.

Schneider et al (2011) estudaram a influência do uso e ocupação do solo na qualidade de água de dois córregos em Maringá, sendo eles o córrego Mandacaru, em área urbana, e o córrego Romeira, cercado de área agrícola. Nos resultados de sedimentos em água, os sólidos dissolvidos do córrego Mandacaru apresentaram valores maiores do que no córrego Romeira, devido aos efluentes lançados diretamente no primeiro córrego. Já os valores de turbidez foram mais concentrados no primeiro córrego.

Alves et al (2008) monitoraram os parâmetros físicos, químicos e biológicos do rio Pirapó, entre o período de abril de 2005 e abril de 2006. As análises mostraram que concentrações de Sólidos Totais (ST) variaram de 94 a  $588 \text{ mg L}^{-1}$ ; as de Sólidos Suspensos Totais (SST) variaram de 4 a  $82 \text{ mg L}^{-1}$ ; as de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) variaram de 3 a  $73 \text{ mg L}^{-1}$ ; e as de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) variaram de 67 a  $506 \text{ mg L}^{-1}$ . As principais fontes poluidoras encontradas foram a exploração agrícola e o lançamento clandestino de lançamento de efluentes. Na pesquisa os autores consideraram a água imprópria para tratamento convencional.

Lubenow et al (2012) elaboraram um mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Nhapindazal, em Irati – PR, e buscaram relações com análises de água, identificando seus agentes poluidores. Além dos parâmetros químicos como oxigênio dissolvido, bioquímica do oxigênio, pH, fósforo total, também analisaram parâmetros físicos como sólidos suspensos e

dissolvidos. Os sólidos suspensos variaram de 6 a 22 mg  $L^{-1}$  e os dissolvidos de 16 a 61 mg  $L^{-1}$ , ambos apresentaram valores aceitáveis para o máximo de sedimentos em água segundo o CONAMA 357/2005.

### 3.4. O histórico da EUPS e sua aplicação

A EUPS é uma das metodologias mais utilizadas por pesquisadores de conservação do solo, ora pela facilidade do manejo e alterações da própria, ora por conseguir simular a perda de solos em praticamente todos os tipos de fatores naturais. Ela leva em consideração a erosão pluvial, baseando-se em análises estatísticas de erosão mensurada no campo, em parcelas de experimentação e chuva natural e simulada (ARAÚJO et al.; 2014).

A versão definitiva da EUPS foi publicada no fim do ano de 1978, por Wischmeier e Smith, utilizando diversas pesquisas e autores como base para o cálculo empírico de todos os fatores naturais utilizados na equação.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o estudo começou com o departamento de agricultura Americano (USDA) no início dos anos 1960, utilizando metodologias criadas a partir dos anos 1940, tais como:

- Zingg (1950): estudou uma equação relacionando perda de solos com grau de declive e comprimento do terreno;
- Smith (1941): acrescentou o fator de práticas conservacionistas e o conceito de limite de perda de solos;
- Browning et al. (1947): Acrescentou o fator erodibilidade, criando uma tabela para uso em campo.
- Em 1946, uma comissão nacional americana se reuniu para adicionar o fator chuva e tentar aplicar a equação, produzida em *Corn Belt*, à outras áreas cultivadas. Mais tarde o trabalho do grupo ficaria conhecido como a equação de Musgrave, amplamente utilizada em pesquisas em bacias hidrográficas.

Com os anos, a equação foi se desenvolvendo, até Winchmeier e Smith (1978) a revisarem e atualizarem com novos dados, e a partir deste trabalho ficou conhecida como EUPS/ USLE.

A equação universal de perda de solos foi calculada por seis (6) fatores naturais quantificados, segundo a equação a seguir:



**Equação 1:** Equação Universal de Perda de Solos.

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

Onde:

A = Perda de Solos calculada por unidade de área, t/ ha.ano;

R = Fator erosividade da chuva (fator pluvial), Mj.mm/ha.h;

K = Fator erodibilidade do solo, t/ha/Mj.mm/ha.h;

L = Fator comprimento da rampa/ encosta;

S = Fator declividade da rampa/ encosta;

C = Fator de cobertura do solo (adimensional);

P = Fator de práticas conservacionistas (adimensional);

Autores como Bertoni e Lombardi Neto (1985), Araújo et al. (2014), Paiva e Paiva (2003) e Carvalho (2008) ressaltaram a importância da EUPS em seus livros sobre solos e hidrossedimentologia. Todos concordaram que a metodologia é uma das mais utilizadas e a que melhor gera resultados entre todos os métodos de previsão de perda de solos. Já em pesquisas científicas, pode-se citar Guedes (2001), Tomazoni e Guimarães (2005), Corrêa e Dedeczek (2009), Silva (2008), Souza (2010), Gomez (2012).

No mundo inteiro trabalhos com a EUPS são desenvolvidos, cada um com sua particularidade.

Keestra et al (2016) calcularam a perda de sedimentos em três áreas com coberturas vegetais diferentes, sendo que um dos cálculos foi realizado em uma região semiárida do mediterrâneo, a fim de calcular seu impacto. Além do fator cobertura do solo, também foram levados em consideração altas intensidade de chuvas, declividade e erodibilidade do solo. Os três tipos de uso do solo eram herbicidas, lavoura e exposto. As análises de cada tipo foram simuladas em laboratório, fisicamente e quimicamente, com metodologias específicas para vegetação, mistura do solo, matéria orgânica e densidade do solo em diferentes profundidades. Os resultados mostraram que a área com herbicidas obteve  $0.91 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  de solo perdido. Em áreas de lavoura a perda de solo foi de  $0.51 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  e em áreas cobertas com árvores foi de  $0.02 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Kale e Vadsola (2012) utilizaram a EUPS na Índia. Empregando métodos não convencionais, estudaram e resgataram diversas referências bibliográficas, com variadas metodologias, a fim de avaliar o resultado final da equação em cada um deles. Concluíram,

então, que a EUPS elaborada na maioria das metodologias existentes traz resultados satisfatórios.

Moore et al. (1991) focaram sua pesquisa no fator LS, utilizando modelos digitais de terreno para analisar a hidrologia, geomorfologia e aplicações biológicas, e constataram que os MDT são importantes ferramentas para esses estudos, detalhando muito as características naturais e alteradas da área. Se possível, a criação de um *triangular irregular network* – TIN, ou em português ‘malha triangular’ com boa escala, detalharia os resultados muito mais que imagens comuns de satélites *LANDSAT*, porém imagens em escalas apropriadas são difíceis de serem achadas.

Mtakwa et al. (1987) utilizaram técnicas da EUPS para calcular o escoamento superficial no Noroeste da Nigéria.

Rao et al. (2015) aplicaram a EUPS em pequena escala na China inteira, tentando identificar a intensidade de erosão do solo, de modo que, assim que quantificada num total, quantifiariam-a em estados. Os resultados foram excelentes, no entanto não tão animadores. Os autores notaram que a China era o caso mais sério de perda de solos no mundo onde, em 2010, 8,87 milhões de toneladas foram erodidos. Comparando com o total mundial, só o país erodia 11,83% de solos.

Lu et al. (2001), representando a *National land & water resource audit*, utilizaram da EUPS para prever a perda de solos da Austrália num todo. Foi encontrada a perda de  $4.8 \times 10^9$  toneladas de solos, uma observação 4 vezes menor do que a prevista anteriormente por Wasson et al. (1996).

No Paraná, mais precisamente no Noroeste do Estado, Souza (2010) utilizou a EUPS na bacia hidrográfica do córrego Pinhalzinho II. Apoiou-se no SIG utilizando o SPRING para gerar seus resultados referentes às perdas de solo anual, que predominaram com valores abaixo de 3 ton/(ha.ano), situadas no geral em Latossolos, com fator topográfico menos que 4 e pastagem. Por outro lado, os valores mais elevados foram maiores que 10 ton/(ha,ano), em locais com maiores fator LS.

No município de Maringá, Petsch e Santos (2015) analisaram três métodos diferentes de perda de solo: a EUPS, *Kirkby* e MEUPS, no ribeirão Morangueira. A EUPS apresentou predominância das classes de perda de solos entre 0 e 1 ton/(ha.ano), tanto em período de solo coberto e exposto, uma vez que as outras classes foram de 2-5 e 5-10 ton/(ha.ano). Os autores, em comparação às outras metodologias, consideraram a EUPS a mais satisfatória, por envolver vários fatores condicionantes.

Silva (2008) calculou a perda de solos da bacia hidrográfica do Ribeirão Reis em Maringá com a RUSLE, a Equação Universal de Perda de Solos Revisada, e apoio do SIG *Idrisis Andes*. As perdas de solos relacionadas ao uso e ocupação da área apresentaram maior perda na rotação de soja e milho, obtendo perdas de 17,92 ton/ha. Em relação ao tipo de solo, o que mais apresentou perda foi o Gleissolo, com 8,52 ton/ha. Concluiu que o fator determinante para a quantidade de perda de solo foi o estágio de crescimento da cultura (soja e milho).

### 3.5. Fator R (erosividade)

O fator chuva (R) é conceituado como o índice numérico que expressa a capacidade da chuva, em um lugar, de causar erosão em uma área sem proteção (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Inúmeras pesquisas mostram que quando não há chuva, o valor de perda de solos não se altera intensivamente, ou seja, a perda de solos por chuva é diretamente proporcional à sua energia cinética total e sua intensidade máxima em trinta minutos. Esse método foi denominado de  $Ei_{30}$ . Porém, para produzir tal metodologia, são necessários dados pluviométricos precisos e de escala temporal baixa, o que não se encontra facilmente nas estações meteorológicas do País. Com isso em mente, Lombardi e Moldenhauer (1980), utilizando de poucos registros de pluviógrafos para o cálculo da energia cinética do  $Ei_{30}$ , criaram a equação  $Ei_{30}$  para a região de Campinas, em que encontraram um alto coeficiente de correlação para a regressão linear, entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva. A relação é:

**Equação 2:**  $Ei_{30}$  (erosividade/ Lombardi e Moldenhauer, 1980).

$$EI = 6,886 \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85}$$

Onde:

Ei = média mensal do índice de erosão

r = precipitação média mensal em milímetros;

P = precipitação média anual em milímetros.

Marques et al (1997) testaram diferentes métodos de erosividade da chuva. Para isso, compararam propostas sobre o cálculo de energia cinética, sendo eles o  $Ei_{30}$  e suas variações propostas por Wischmeier e Smith (1978), o “KE > 25” proposto por Hudson (1977) e o índice  $PI_m$ , proposto por Lal (1988). Para esse teste, foram utilizadas diversas bibliografias sobre cada

uma das metodologias e comparadas. Como conclusão, os autores sugeriram que não houve diferença significativa entre tais equações e o índice  $EI_{30}$  pode continuar sendo a principal metodologia da EUPS.

Correa e Dedecek (2009) testaram a EUPS em área florestada. Para o fator R, foi utilizado o método do  $EI_{30}$ , já que existia uma base de dados diário de precipitação com informe das intensidades de chuvas. Primeiramente, calcularam a energia cinética (Equação 3) e, conseqüentemente, a erosividade (Equação 4).

**Equação 3:** Energia cinética (Correa e Dedecek).

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Onde: E= energia cinética por mm de chuva (MJ.ha.mm)

I = intensidade de chuva em mm.h

**Equação 4:**  $Ei_{30}$

$$EI_{30} = E \cdot I_{30}$$

A erosividade apresentou o valor de 8.831,8 MJ.mm.ha.h.ano.

### 3.6. Fator K (erodibilidade)

Segundo Carvalho (1994), o fator erodibilidade do solo é igual a intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico sem cobertura. Em outras palavras, representa a susceptibilidade dos solos à erosão. Essa vulnerabilidade está associada às propriedades físicas e químicas do solo, possui valores quantitativos e podem ser determinados a partir de experimentos no solo estudado.

Vitte e Mello (2007) se basearam em Lal (1988) quando conceituam erodibilidade, que é um efeito integrado de processos que regulam a recepção de chuva e resistência do solo, desagregação de partículas e transporte de sedimentos. São influenciados por estabilidade estrutural, matéria orgânica, e natureza do solo.

As propriedades do solo que influenciam na erodibilidade são aquelas que influenciam na velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água e as que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985; PAIVA e PAIVA, 2003).

O fator K pode ser calculado de diversas formas, entre as mais comuns está a Equação:

**Equação 5:** Equação de erodibilidade.

$$K = [2,1 \cdot 10^{-4} \cdot M^{1,14} \cdot (12 - ka) + 3,25 \cdot (kb - 2) + 2,5 \cdot (kc - 3)] \cdot 0,001313$$

Onde:

M = (% silte + % areia muito fina). (100 - % argila);

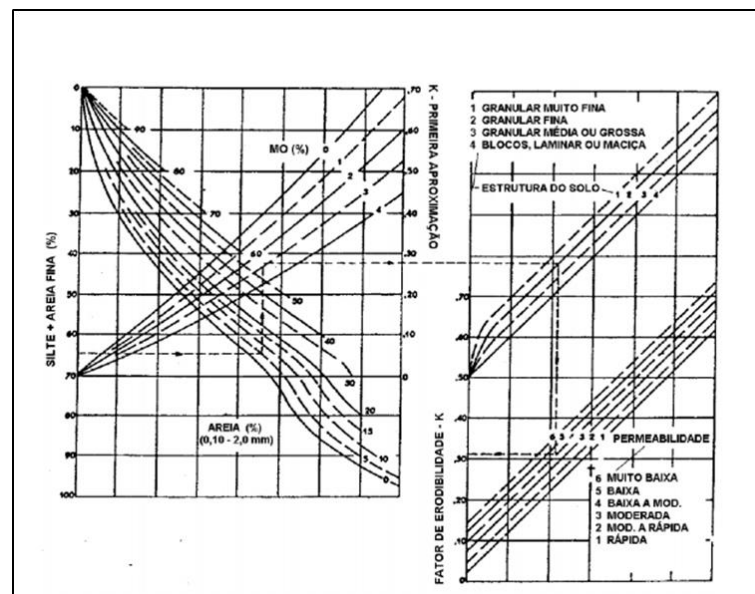
ka = % de matéria orgânica;

kb = coeficiente relativo à estrutura do solo;

kc = classe de permeabilidade.

Ou através do ábaco para determinação para erodibilidade do solo, elaborada por Wischmeier et al (1971), representado na Figura 9.

**Figura 9:** Ábaco de erodibilidade.



Entre as metodologias mais conhecidas para erodibilidade também está a de Bouyoucos (1935), que considera a textura do solo e sua razão granulométrica, propondo um índice de ponderação chamado de razão de argila:

**Equação 6:** Equação de Erodibilidade (Bouyoucos).

$$RA = \left( \frac{\% \text{ Silte} + \% \text{ Areia}}{\% \text{ Argila}} \right)$$

Manniguel et al. (2002) calcularam o fator K e a tolerância de perda de solos para o Estado de São Paulo, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos do ano de 1999, analisando 25 perfis. No trabalho, utilizaram a metodologia de Bouyoucos, para os horizontes superficiais e subsuperficiais, além da expressão de Smith e Stamey. Os resultados mais altos do fator K para o horizonte A foram de 0,4287 e 0,0044 t.ha.h/ha.MJ.mm, o primeiro para um Argissolo e o segundo para um Gleissolo. Para o horizonte B foram de 0,5750 t.ha.h/ha.MJ.mm para um Espodossolo e 0,0038 t.ha.h/ha.MJ.mm para um Latossolo. Para a tolerância de perdas, o maior valor foi para o Cambissolos e Neossolo, com 14,70 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Marques et al. (1997), além de testar o Fator R (visto no item acima), também estimaram o valor K para um Latossolo vermelho- escuro álico muito argiloso e um Nitossolo vermelho-amarelo álico muito argiloso, na região de Sete Lagoas - MG. Os valores finais foram de 0,002 t.ha.h/ha.MJ.mm para o Latossolo e 0,033 t.ha.h/ha.MJ.mm para o Nitossolo.

### 3.7. Fator LS (topográfico)

O fator Topográfico, como é chamado o conjunto dos fatores L (comprimento de rampa) e S (declividade), é o fator mais complexo e estudado entre os pesquisadores. Isso se dá pelo fato de ser, na maioria das vezes, o mais influente na Equação Universal de Perda de Solos e também possuir inúmeras maneiras de ser elaborado, diferenciando os resultados de pesquisas.

A intensidade de erosão pela água é a grandeza afetada tanto pelo fator L, quanto pelo S (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Wischmeier e Smith (1978) e Lencastre e Franco (1984) definem L como a distância entre o início do escoamento superficial e a mudança da inclinação do terreno (PAIVA e PAIVA, 2003).

O fator LS também foi o fator mais afetado pela utilização das novas geotecnologias com o uso de imagens de radar MDE, MDT e semelhantes, dado que a abrangência dos dados dessas imagens é muito maior do que as informações que existiam na época de criação da EUPS. Assim, pesquisadores estão adaptando o uso desses métodos para a predição de perda de solos.

Rocha, Lombardi Neto e Bacellar (1997) trabalharam em uma metodologia para a determinação do fator comprimento de rampa (L). Concluíram que, além de ser o fator que mais influi na erosão bruta, também é um dos mais difíceis de calcular. Na metodologia criada pelos autores, utilizou-se do software *Idrisis Andes* para a geração do mapa do fator L, S e LS. A região estudada foi a bacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha em Iracemápolis- SP. Para se obter o comprimento de rampa, foi necessário criar três mapas: comprimentos de rampas,

diferença de cotas e ângulo médio para cada rampa que, ao interliga-las utilizando a equação (7), conseguiu-se o resultado final.

**Equação 7:** Equação do comprimento de rampa.

$$L = \frac{DH}{\text{sen } a}$$

Onde: L = comprimento de rampa,

DH= diferença média de altura na rampa

a = ângulo médio da rampa

### 3.8. Fator C (uso do solo)

O fator uso e manejo do solo ou cobertura do solo é a relação esperada entre as perdas de solos de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes a um terreno mantido descoberto e cultivado. Seus restos podem ser removidos, deixados na superfície ou incorporados próximos ao local, enterrados no solo (PAIVA e PAIVA, 2003).

Quando um terreno estiver cultivado, as perdas de sedimentos serão reduzidas devido a proteção que a cultura oferece ao solo (LOMBARDI e BERTONI NETO, 1985). Ela pode ser diferenciada em três zonas inter-relacionadas que interferem no processo de perdas: a cobertura vegetal, cobertura do solo e resíduos vegetativos ou restos de culturas (ARAÚJO et al., 2014).

Lombardi Neto e Bertoni (1980) criaram valores que correspondem aos estágios da cultura de um ano agrícola. A fim de auxiliar o cálculo do fator C, definiram-se quatro (4) períodos diferentes, os quais estão apresentados no Quadro 2.

Guedes (2001) utilizou a metodologia de Bertoni e Lombardi Neto (1985) e Seab (1994), levando em consideração datas prováveis de plantio e colheita, tipo de preparo do solo e manejo das culturas, além de considerar a razão de perdas que está relacionada à erosividade. Primeiramente, foi obtido o índice erosivo acumulado em porcentagem. Então, foram criados quadros com o valor de índice de erosão no período de cada estágio da cultura para cada cultura, e seus valores de C e P mensais, ou seja, nesse estudo o valor de C foi calculado junto ao P, levando-se em conta os tipos de práticas conservacionistas e a declividade.

**Quadro 2:** Períodos de desenvolvimento das plantas.

<b>Período</b>	<b>Preparo do solo</b>
Período 1	Plantio: do ato até um mês após
Período 2	Estabelecimento: do fim do 1 período até 2 meses após o plantio
Período 3	Crescimento e maturação: de dois meses após o plantio até a colheita
Período 4	Resíduo: da colheita até o preparo do solo

### 3.9. Fator P (práticas conservacionistas)

Este fator é conceituado por Bertoni e Lombardi Neto (1985) como “a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionistas e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive” (p.261).

Segundo Araújo et al. (2014), o fator P tem sido interpretado de diversas formas. As práticas conservacionistas podem ser classificadas como estrutural-mecânica, hidráulica ou de nivelamento. Elas reduzem o escoamento superficial e a tendência de a água fluir diretamente encosta abaixo.

As práticas conservacionistas são divididas em três tipos (BERTONI e LOMBARDI NETO,1985):

- a) **Caráter vegetativo:** Utilizam apenas a vegetação para o controle do solo. A densidade da vegetação é o fator mais protecionista do solo, especialmente quando se trata da energia cinética das gotas de chuva. Quanto mais densa a vegetação, menor a desagregação de partículas do solo e menor a erosão. Porém, em áreas agrícolas, a densidade não é a opção mais adequada, pois ocupa muito espaço da área destinada a plantio. Para isso, existem outras técnicas vegetativas além do florestamento e reflorestamento, tais como a pastagem, instalada onde as culturas não produzem bem ou onde a erosão é recorrente, ou as plantas de cobertura, que acobertam o solo durante períodos chuvosos, incorporando sua matéria orgânica a ele e melhorando suas condições físicas. Há também a cultura em faixas, a qual se alternam faixas de larguras variadas de culturas que pouco protegem o solo e outras que oferecem maior proteção (p.94).



- b) Caráter edáfico: são as práticas que, planejando e modificando o sistema de cultivo, protegem contra a erosão e aumentam a fertilidade do solo. Entre as técnicas utilizadas estão a queimada, adubação verde, adubação química, adubação orgânica e calagem (p.112).
- c) Caráter mecânico: são as práticas que dependem de construções artificiais como a distribuição ou construção racional de caminhos, terraço de base larga, terraço de base estreita, terraços patamar, terraço de diversão, sulcos e camalhões em pastagem e canais escoadouros. Todas as construções artificiais são produzidas com a intenção de canalizar a água da enxurrada e retardar seu processo, sua velocidade. As estruturas devem ser feitas para controlar o volume e velocidade máxima da enxurrada, e não sua média. Isso é feito para que, quando as maiores enxurradas acontecerem, não haver a chance de falhas ou da água transbordar (p.118).

LAL (1994) listou fatores que causam a redução da produtividade do solo ou sua qualidade e sua capacidade de regulação natural. Eles são divididos em físicos, químicos ou biológicos, os quais podem ser gerados por compactação, erosão, desertificação, poluição natural, uso insustentável de terra e recursos naturais, acidificação, salinização, redução de carbono, perda de fertilidade e redução de biomassa. Fatores sócio-econômicos e políticos também afetam o solo direta ou indiretamente, como por exemplo o desmatamento ou reflorestamento, marketing, suporte institucional ou estatal, áreas que influem na saúde humana, incentivos e estabilidade política.

### 3.10. Razão de Produção de Sedimentos (RPS/RAS/SDR)

A Equação da Razão de Produção de Sedimentos surgiu com Khanbilvardi e Rogowski em 1984, com a intenção de corrigir o resultado final da EUPS, visto que a mesma não tem o objetivo de diferenciar a quantidade de sedimentos que se depositam ao longo da bacia ou que são transportadas pelo rio. A metodologia surgiu para representar a quantidade de sedimentos que são transportadas pelo exutório da bacia de drenagem, e com isso é possível também calcular o quanto fica depositado.

ASCE (1970), citado por Guedes (2001), dissertam que, na maioria dos casos, a taxa de sedimentos descarregados da bacia de drenagem é menor que  $\frac{1}{4}$  da taxa de erosão laminar. Assim,  $\frac{3}{4}$  é redepositado onde o escoamento superficial não é forte o suficiente para exercer força cinética para transporte.

A Razão de Produção de Sedimentos – RPS leva em consideração os seguintes fatores:

- Área da bacia;
- Densidade hidrográfica;
- Relação de bifurcação;
- Média anual de produção de sedimentos por unidade de área;
- Resultado de perda de solos anual da EUPS por unidade de área.

Guedes (2001) utilizou a RPS seguindo duas metodologias distintas e comparando-as no fim, sendo elas a de Maner (1958), que leva em consideração a máxima declividade da bacia, e a de Roehl (1962), que leva em consideração vários aspectos como relação de bifurcação e densidade hidrográfica. Em seus resultados, a autora concluiu que a primeira metodologia é a que mais representa a realidade, ao mostrar que 1/3 dos sedimentos desagregados saem da bacia hidrográfica. A segunda, apesar de ter mais fatores condicionantes, não apresentou bons resultados, com 50 % de sedimentos retidos.

Carvalho (1994), no capítulo “Sedimentologia de Bacia Hidrográfica” do livro Hidrossedimentologia na Prática, conceituou a RPS como “descarga sólida específica”, “produção de sedimentos” ou “rendimento sólido”, sendo o deflúvio sólido médio anual afluente à seção considerada dividida pela área de drenagem do contribuinte. O autor considerou diversas pesquisas em regiões dos EUA, Brasil e China para analisar variados resultados do coeficiente de remoção de sedimentos, em inúmeras granulometrias do solo e tipos de erosão.

Além dos autores citados anteriormente, vários outros também escreveram sobre a metodologia, como Chaves (2010) no Brasil e Lu et al (2001) nos EUA.

#### 4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme demonstrado anteriormente nos itens 1 e 2, existem diversas metodologias que objetivam calcular os fatores da perda de solos por erosão laminar de determinada área. Para quantificar a erosão laminar da bacia hidrográfica do córrego Zauna foram utilizados dois métodos matemáticos simulados: EUPS e RPS (RAS), e duas classes de análises físicas: porosidade do solo e hidrossedimentos.

A EUPS gera o total de sedimentos produzidos por uma bacia hidrográfica, em um período, sem considerar se os sedimentos produzidos foram retidos em áreas de topografia que impedem o transporte até o córrego, ou se os sedimentos foram transportados até o exutório da bacia hidrográfica. Para calcular essa diferença entre sedimentos retidos e transportados, foi utilizada a RPS, que determina os sedimentos transportados até o exutório, efetuando uma subtração entre a EUPS e a RPS. Também foi possível identificar a quantidade de sedimentos retidos no interior da bacia hidrográfica.

Na porosidade do solo e hidrossedimentos foram analisados dados reais, e não simulados, como os citados anteriormente, para provar que existem relações estatísticas entre eles.

As análises de porosidade total, macroporosidade e microporosidade tiveram o intuito de identificar locais de maior porosidade total, que influenciam na infiltração de água no solo e também no escoamento superficial, um dos causadores da erosão laminar.

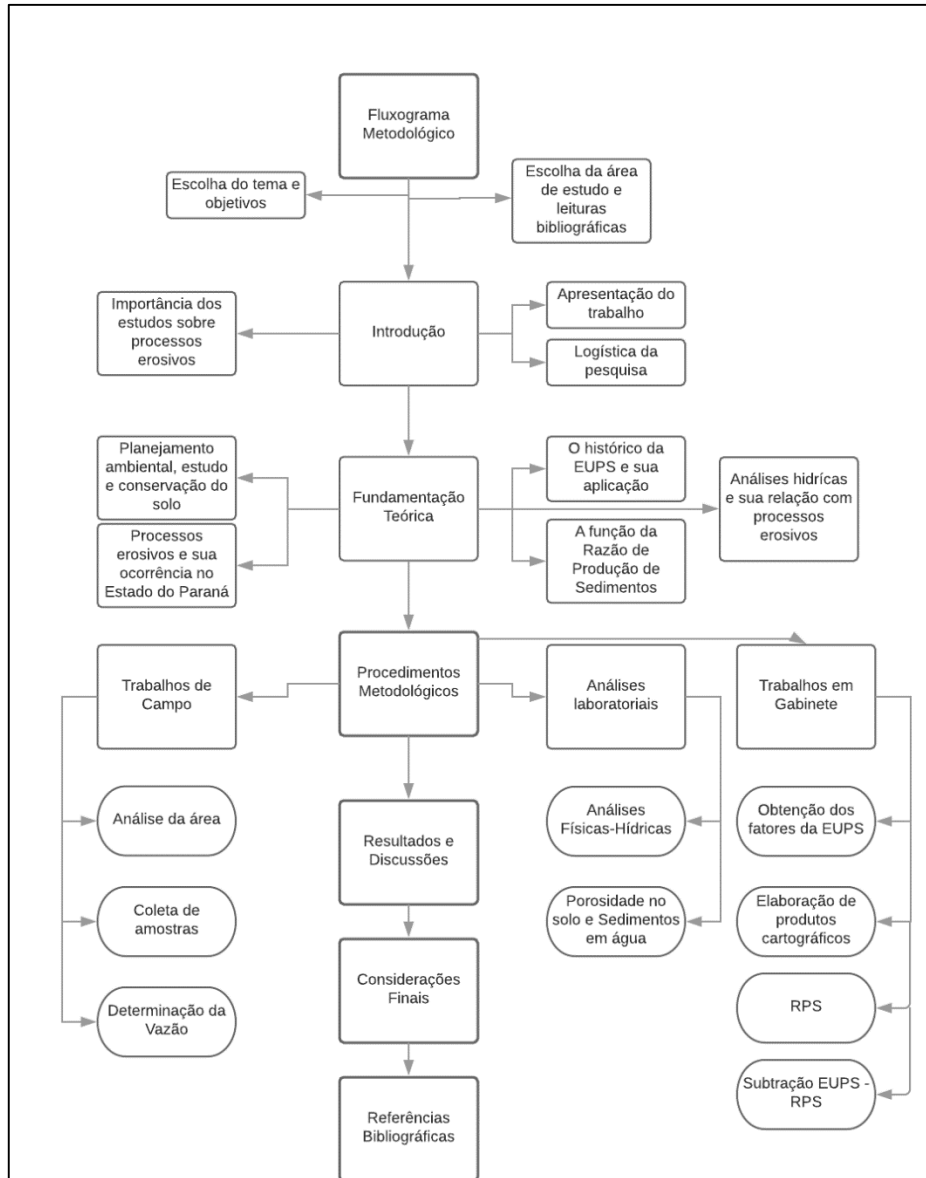
As análises de hidrossedimentos, ou seja, sólidos suspensos, dissolvidos e totais, foram realizadas com o propósito de mensurar a quantidade de sedimentos que efetivamente foram transportados até o córrego.

O período escolhido para as análises das metodologias foi de julho de 2016 à junho de 2017, dado que as coletas de hidrossedimentos foram realizadas nesse período, para haver melhor correlação entre dados. Para melhor interpretação de dados, os resultados foram divididos nas quatro estações do ano: verão (2017), outono (2017), inverno (2016) e primavera (2016).

A Figura 10 representa o fluxograma metodológico do trabalho, que tem o objetivo de apresentar a estrutura do projeto, bem como suas etapas e relações entre itens. Como o fluxograma mostra, foram integradas e relacionadas metodologias de pesquisas em solos, água e mais especificamente processos erosivos, além dos fatores principais da EUPS como

precipitação e topografia. Todos os fatores foram desenvolvidos para tentar alcançar uma análise completa da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

**Figura 10:** Fluxograma metodológico da Pesquisa.



#### 4.1. Obtenção dos fatores da EUPS

##### 4.1.1. Fator K

Devido ao trabalho ser relacionado à erosão superficial e seu transporte de sedimentos, foram consideradas as camadas superficiais do solo, definidos por checagens em campo das bases bibliográficas utilizadas que oferecem bases precisas para a relação entre altimetria

detalhada e classificação de solos, aspectos longitudinais, rede hidrográfica, afloramento de rochas e proximidades com as mesmas características físicas.

No município de Maringá, segundo a EMATER (1988), os solos mais representativos são o Latossolo Vermelho textura argilosa, encontrados em formas de relevo plano e suavemente ondulado e o Nitossolo Vermelho textura argilosa, encontrados em relevos ondulados e suave ondulados. Os dois com características de solos profundos e bem drenados, de coloração vermelha-arroxeadas (SALA, 2010).

Ao analisar os valores de erodibilidade já existentes pelo IAPAR/Henklain (1980), Zamuner et al. (2002), Prado (2005), Tomazoni et al., (2005), Silva (2008), obteve-se os valores de erodibilidade do Latossolo Vermelho Textura Argilosa, Nitossolo Vermelho Textura Argilosa e Neossolo Litólico presentes na bacia hidrográfica do córrego Zauna (Quadro 3).

**Quadro 3:** Valor K para classes de solos.

<b>CLASSES DE SOLOS</b>	<b>VALOR K</b>
Latossolo Vermelho textura argilosa	0.38
Nitossolo Vermelho textura argilosa	0.07
Neossolo Litólico	0.11

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2013), os tipos encontrados no local podem ser caracterizados como:

- Latossolo Vermelho: “São solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A, dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm se o horizonte A apresenta mais que 150 cm de espessura”, e sua subordem “Solos com matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (inclusive BA) ”.
- Nitossolo Vermelho: “São solos constituídos por material mineral, com 350 g  $kg^{-1}$  ou mais de argila, inclusiva no horizonte A, que apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A. O horizonte B nítico apresenta argila de atividade baixa ou caráter alítico, os quais devem ocorrer na maior parte do horizonte B dentro de 150 cm a partir da superfície do solo”, e sua subordem “Solos com matiz 2,5 YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (exclusive BA)”.

- Neossolo Litólico: “São solo pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Horizontes glei, plíntico, vértico e A chernozêmico, quando presentes, não ocorrem em condição diagnóstica para as classes Gleissolos, Plintossolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente”.

#### 4.1.2. Fator R

Para o cálculo do fator R (erosividade) foram utilizados dados de precipitação diária dos anos de julho de 2016 à junho de 2017, obtidos pela estação meteorológica de Maringá (código: A835), sob responsabilidade do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

A metodologia utilizada foi a de Rufino et al., (1993), representada pela equação 8, sendo que o mesmo determinou o potencial erosivo para o Paraná. Utilizando dados pluviométricos para a determinação de coeficientes de chuva, relação de potencialidades erosivas, densidade média, anual e fluxo de energia. Os autores determinaram oito regiões isoerosivas, com diferentes características do fator R. Para cada uma delas foi criada uma equação com diferentes coeficientes angulares e lineares, tendo por objetivo gerar melhores resultados ao pesquisador. Para o presente trabalho foi utilizado a Equação da Região Isoerosiva Quatro (4), na qual:

#### **Equação 8:** Índice Mensal de Erosividade

$$Eim = 16,73 + 4,02 \left( \frac{p^2}{P} \right)^{9,80665}$$

Onde: Eim – Índice mensal de erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.Mês);

p - Precipitação média mensal em milímetros;

P – Precipitação média anual em milímetros;

9,80665 – Conversão de Kgf.m para MJ.

#### 4.1.3. Fator LS

Para o cálculo do fator LS foi necessário criar anteriormente uma rede de pontos altimétricos interpolados (TIN), simulando um Modelo Digital de Elevação. Dado que os MDE

atuais gratuitos possuem espaçamento de 30 m por pixel, como o SRTM, por exemplo, para melhor resolução da realidade principalmente para estudos em pequenas áreas, é recomendável utilizar dados de cartas topográficas com curvas de nível de boa espacialização para poderem ser extraídos e transformados em TIN - *Triangulated Irregular Network*, apresentando menor generalização de dados, comparado ao MDE – SRTM.

Primeiramente, foi necessário georreferenciar a carta topográfica utilizada, por ser antiga e não haver coordenadas geográficas. Para isso, a carta topográfica foi escaneada, georreferenciada no *Software Arcgis*, e suas curvas de nível digitalizadas.

Ao obter as curvas de nível, foi possível criar o TIN com a ferramenta “*create TIN*” no *arctoolbox*.

Assim, obtendo o TIN, foi necessária a transformação em arquivo do tipo *raster*, para ser possível o manuseio das informações pelo software. Foi utilizada a ferramenta “*TIN to Raster*” (*3D Analyst Tools – Conversion – From TIN*).

Ao obter o arquivo em *raster*, foi criada a carta de hipsometria, com os dados já interpolados da curva de nível.

Para a carta de declividade foi utilizada a ferramenta “*Slope*” (*3D analyst Tools – Raster Surface*).

Para o fator LS, o programa possibilita calcular o fator topográfico por modelo digital de elevação (DEM), ou seja, a declividade e o comprimento de rampa juntos. Foi baseado no método de Zhang et al., (2013) e aplicável no software LS- Tool, assim, os dois programas utilizam o ASCII DEM data para calculá-lo e assim transformá-lo em *shapefile*.

Segundo Oliveira et al., (2015), o fator LS é calculado a partir de diferentes combinações de algoritmos, células coletoras, direção de fluxo único (SFD) e direção de fluxo único (SFD). Para o cálculo do fator L, o *add-in* utiliza a Equação de Desmet e Govers (1996):

**Equação 9:** Equação automática do fator L, Giusus -m (in OLIVEIRA et al., 2015).

$$L_{ij-in} = \frac{\left[ (A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1} \right]}{(D^{m+2}) \times (x_{ij}^m) \times (22.13)^m}$$

$L_{ij-in}$  = slope length for grid cell ( $i,j$ ),  
 $A_{ij-in}$  = contributing area at the inlet of the grid cell with coordinates ( $i,j$ ) ( $m^2$ ),  
 $D$  = grid cell size (m),  
 $m$  = length exponent of the USLE L-factor,  
 $x_{ij}$  =  $(\sin \alpha_{i,j} + \cos \alpha_{i,j})$ .

Inúmeros outros cálculos foram desenvolvidos para o cálculo da área de contribuição da montante de cada célula, usando o encaminhamento do fluxo terrestre. O *add-in* utiliza o expoente  $m$  proposto de acordo com McCool et al. (1989), conforme a equação 10, na qual o comprimento do declive é uma função da taxa de erosão de *rill* para *interrill* ( $\beta$ ) (OLIVEIRA et al., 2015).

**Equação 10:** Cálculo do *rill* - *interrill* (MCCOOL et al. 1989, apud OLIVEIRA et al.; 2015).

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

O algoritmo  $\beta$  varia de acordo com o grau de declive (MCCOOL et al.; 1989 apud OLIVEIRA et al.; 2015).

**Equação 11:** Variação do algoritmo Beta (MCCOOL et al., 1989 apud OLIVEIRA et al., 2015).

$$\beta = \left( \frac{\sin \theta}{0.0896} \right) / \left[ 3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \right]$$

O fator  $S$  é calculado seguindo McCool et al (1987), considerando a relação entre a erosão marginal e do interflúvio, no qual  $\theta$  é a inclinação em graus (Equação 12). Foram criadas duas metodologias, uma para  $<9\%$  e outra para  $>9\%$ , (OLIVEIRA et al., 2015).



**Equação 12:** Cálculo do Fator S (MCCOOL et al., 1987 *apud* OLIVEIRA et al., 2015).

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50$$

Porém, a bacia hidrográfica do córrego Zauna é classificada como de primeira ordem por causa do córrego ser classificado igualmente, possuindo, assim, um tamanho menor em relação a outras bacias hidrográficas estudadas na EUPS. Neste caso, como as imagens de radar possuem espacialização dos pixels de aproximadamente 28 m, este método não foi utilizado pelo fato das escalas não coincidirem e não gerarem um resultado adequado. Ao invés deste, foi utilizado o método de digitalização para a obtenção das curvas de nível de 5 m, que possibilita o cálculo da declividade detalhada e, então, automatizada no programa *Gisus-M*, resultando no fator LS.

Salienta-se também, que o modelo utilizado para a pesquisa foi da Equação Universal de Perdas de Solo Revisada (RUSLE).

Na presente pesquisa foram utilizadas as seguintes configurações (Figura 11):

- Model: RUSLE
- Cutoff: Yes
- Sinkfill: Yes
- Nodata Fill: Yes
- Nodata treated: Average
- Channel: Yes
- Cumulated way: Max
- Cutoff slope: Slope <2,75° (5%): 0.7 e Slope ≥ 2.75° (5%): 0.5.
- Flow Direction: SFD
- SFD: D8

**Figura 11:** Interface para o cálculo do fator LS no Giusus-M.

The image shows the 'LS-TOOL' software interface. It is a window with a title bar containing a small icon and the text 'LS-TOOL'. The interface is organized into several sections:

- DEM data file name:** A dropdown menu showing 'tinrst2' and a 'Vertical Accuracy' button.
- Output file path:** An empty text input field and a 'Save' button.
- Prefix:** A 'File prefix' input field containing 'LS01'.
- Model:** Radio buttons for 'CSLE' and 'RUSLE' (selected).
- Cutoff ?:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Sink fill ?:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Select files to save:** Checkboxes for 'All', 'S', 'S Factor', 'L', 'L Factor', and 'LS Factor'.
- Nodata Fill:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Nodata treated:** Radio buttons for 'Average' (selected) and 'Min'.
- Channel ?:** Radio buttons for 'Yes' (selected) and 'No'.
- Threshold:** A text input field with 'Unit(m<sup>2</sup>)' and the value '100000'.
- Cumulated way:** Radio buttons for 'Max' (selected) and 'Total'.
- Cutoff slope:** Two text input fields: 'Slope < 2.75° (5%)' with '0.7' and 'Slope ≥ 2.75° (5%)' with '0.5'.
- Flow direction:** Radio buttons for 'SFD' (selected) and 'MFD'.
- Slope exp:** A text input field with 'exp' and the value '1.1'.
- Select SFD:** Radio buttons for 'D8' (selected), 'Rho4', 'Rho8', and 'Lea'.
- Buttons:** 'Calculate' and 'Exit' buttons at the bottom.

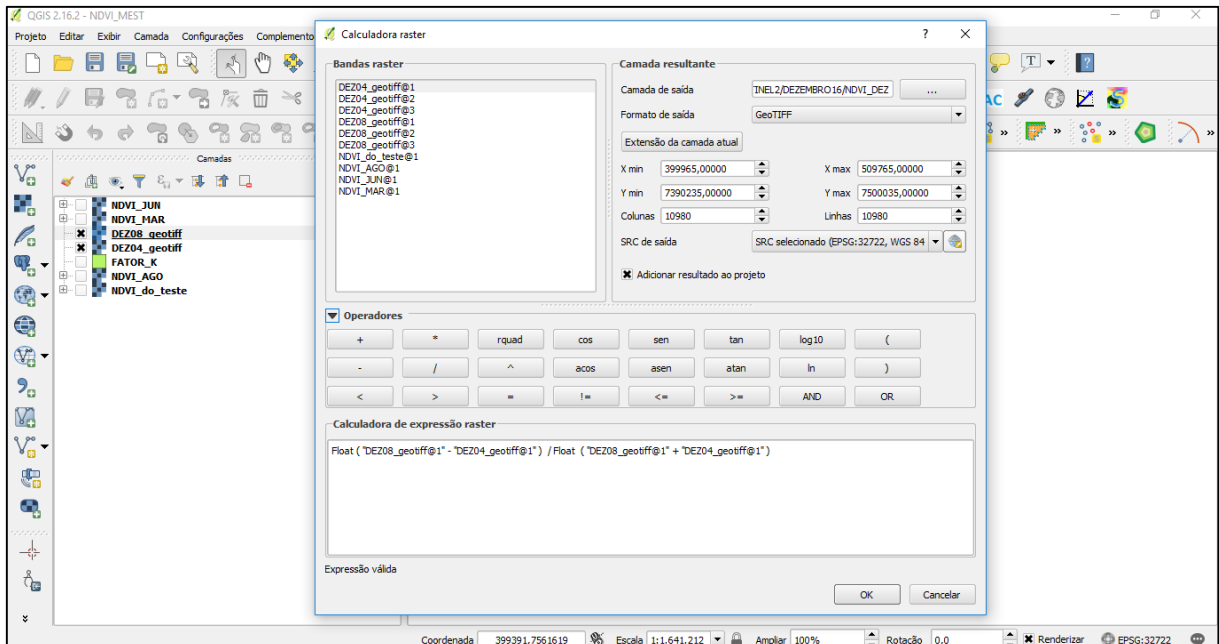
#### 4.1.4. Fator C

Para a obtenção do fator C, uso e ocupação do solo, foi utilizado o método semi-automático do *Giusus-M*, que utiliza imagens de radar *NDVI – Normalized Difference Vegetation Index*, objetivando analisar a condição da vegetação natural e agrícola.

A imagem *NDVI* foi gerada a partir de seis (6) imagens do satélite *Sentinel – 2*, que possui espacialização de 15 metros, sendo quatro (4) imagens correspondentes às estações do ano, uma imagem correspondente ao solo coberto e a última correspondente ao solo exposto, a fim de gerar a EUPS para cada situação. As datas das imagens obtidas foram de: 01 de agosto de 2016 (inverno), 19 de novembro de 2016 (primavera), 08 de maio de 2017 (verão) e 17 de junho de 2017 (outono). As imagens destas datas foram escolhidas baseadas em dois fatores, sendo o primeiro a data da imagem, com a intenção de estar mais próxima da estação estudada, e o segundo a porcentagem de nuvens na imagem, na qual quanto menor a porcentagem, melhor

a visualização e interpretação de dados. Os *NDVI* foram gerados a partir da calculadora *raster* no *SIG QGIS* (Figura 12).

**Figura 12:** Interface do cálculo do NDVI no QGIS.



Segundo Moreira (2005) e Vegasco et al. (2007), cada objeto possui um comportamento espectral diferente sob a mesma condição ambiental. A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho, e uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo, causada pela estrutura celular das folhas. O NDVI que utiliza as duas faixas foi criado com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação à outros objetos.

O Giusis-M oferece duas opções para a conversão do NDVI para o fator C (Equação 13 e Equação 14). A primeira criada por Van der Knijff et al., (1999), para utilização em climas Europeus, e outra criada por Durigon et al., (2014), mais especificamente para climas tropicais com precipitação mais intensa. Para o trabalho foi utilizado a equação de Durigon et al., (2014) para climas tropicais.

**Equação 13:** Equação para o Fator C, método de Durigon et al.,(2014).

$$C_D = \left( \frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

**Equação 14:** Equação para o Fator C, método de Van der Knijff et al.,(1999).

$$C_{vk} = \exp\left(-\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)}\right)$$

#### 4.1.5. Fator P

Os autores Bertoni e Lombardi Neto (1991) criaram valores do fator P (Quadro 4) para as práticas conservacionistas mais utilizadas no Brasil, as mesmas utilizadas no presente trabalho.

**Quadro 4:** Classes do valor P da EUPS.

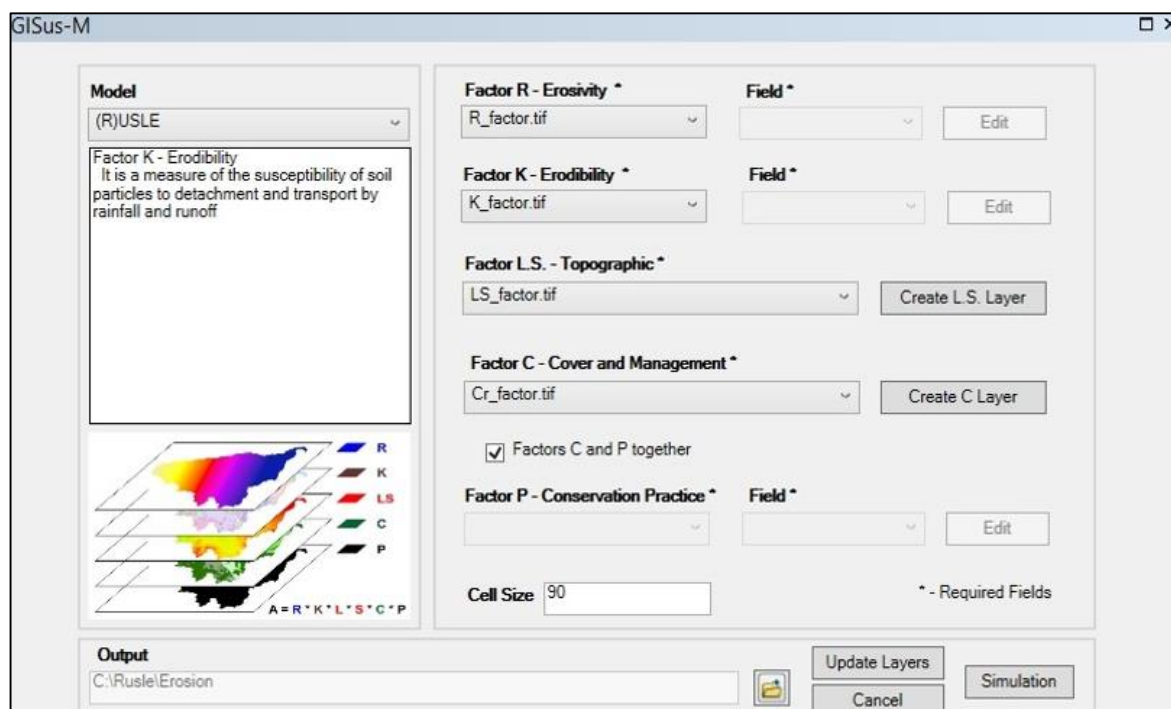
Práticas conservacionistas	Valor P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas e plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Para a obtenção do fator P, foram digitalizadas imagens do satélite *Digital Globe* (2017) com finalidade de classificar as práticas conservacionistas da área de estudo. A partir de tais arquivos vetoriais, foram gerados arquivos *shapefiles* com valores de P descritos no item da fundamentação teórica, para serem utilizados no programa *Gisus-M*.

#### 4.2. Integração dos fatores da EUPS

Para o processo de integração dos fatores da EUPS (Figura 13) foi utilizado o *Gisus-M*, a extensão (*Add-in*) para *Arcgis* (OLIVEIRA et al.,2015), com o intuito de facilitar a aplicação da EUPS, proporcionando ao pesquisador usuário gerar dados em arquivos *shapefile* (*shp.*) e *raster* dos 6 (seis) fatores influenciadores da EUPS e gerar um resultado que possibilitasse o cálculo conjunto dos fatores L e S e P e C.

**Figura 13:** Interface do *add-in Giusus-M*, no programa *ArcGis*.



#### 4.3. Análises de Hidrossedimentos

As amostras foram coletadas em uma garrafa plástica de 2 L, sempre no mesmo horário, no centro do córrego Zauna, na superfície da lamina de água, em dois pontos de coletas: um mais a jusante (P1) e outro mais a montante do córrego (P2) (Figura 14). Todas as coletas foram realizadas um dia após chuvas, a fim de obter melhor qualidade e quantidade de sedimentos, já que, segundo Poletto e Menten (2006), 90% dos sólidos suspensos são transportados nesse período.

As datas da realização das coletas foram nos dias 21/08/2016 (Inverno), 10/12/2016 (Primavera), 02/04/2017 (Verão) e 18/06/2017 (Outono).

Juntamente com a coleta de amostras, foram realizadas coletas dos dados de vazão nos pontos P1 e P2. Estas seguiram o método do objeto flutuante que, segundo Pinto et al. (1976), é o tempo de percurso de um flutuador, no caso uma garrafa de água vazia, entre dois pontos (com distância medida), obtendo-se, assim, uma estimativa da velocidade na superfície.

Segundo o “Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos”, elaborado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e a Agência Nacional de Águas, a medição de vazão em canais abertos considera parâmetros da geometria do canal, como a área molhada, largura superficial e profundidade. Cada um deles é conceituado como:

- Área molhada: área da seção transversal ocupada por água e expressa em metros quadrados;
- Largura superficial: comprimento da linha horizontal da área molhada, expressa em metros;
- Profundidade: distância da superfície livre de água ao leito, podendo ser dada em termos da média, máxima e em determinada vertical.

Ainda segundo a CETESB (2011), a medição de vazão por flutuadores é uma alternativa rápida e simples, sendo necessário ser utilizada em um trecho de curso de rio retilíneo que apresente margens paralelas, declividade constante e profundidade uniforme no sentido longitudinal.

O flutuador é posicionado no meio do canal, de modo que, dessa forma, o objeto adquirirá a mesma velocidade que a água superficial. Tal velocidade é resultado da distância percorrida pelo tempo. Já a velocidade média da seção é obtida ao multiplicar-se a velocidade superficial pelo fator 0.85. A vazão será calculada pelo produto da área da seção transversal pela velocidade média (CETESB, 2011).

As análises de sedimentos em água foram realizadas no laboratório do Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente – GEMA, seguindo metodologias da Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater e procedimentos cotidianos do laboratório.

Primeiramente, foram recortados papéis alumínio em formas quadradas para colocar-se os filtros de sólidos suspensos a serem secos na estufa, a fim de não se desintegrarem, gerando perda de amostra e realidade dos dados.

Todas as análises foram realizadas em triplicata, ou seja, três amostras de cada ponto e categoria, com finalidade de uma maior veracidade de dados.

Foi utilizado um aparelho filtrador de água e um disco filtrante para separar cada amostra dos Sólidos Suspensos - SS a cada 500 ml, sempre em triplicata. Todos os discos filtrantes foram pesados separadamente na balança de precisão para descobrir seus pesos iniciais. Em seguida, cada amostra foi filtrada e os resíduos retidos nos filtros foram levados à estufa à 105°C. Depois de 24h, com os resíduos já secos, foram passados para o dessecador por uma hora e foram pesados separadamente novamente. Então, subtraindo-se o cálculo do pós-amostra pelo pré-amostra, resultou-se na quantidade de sólidos suspensos.

Para a análise dos sólidos totais – ST utilizou-se béqueres de vidro, pesados individualmente a fim de descobrir o peso inicial e, em seguida, já com os 250 ml de cada amostra, foram direcionados à estufa a 105°C. Após 24h, foram colocados no dessecador por 1

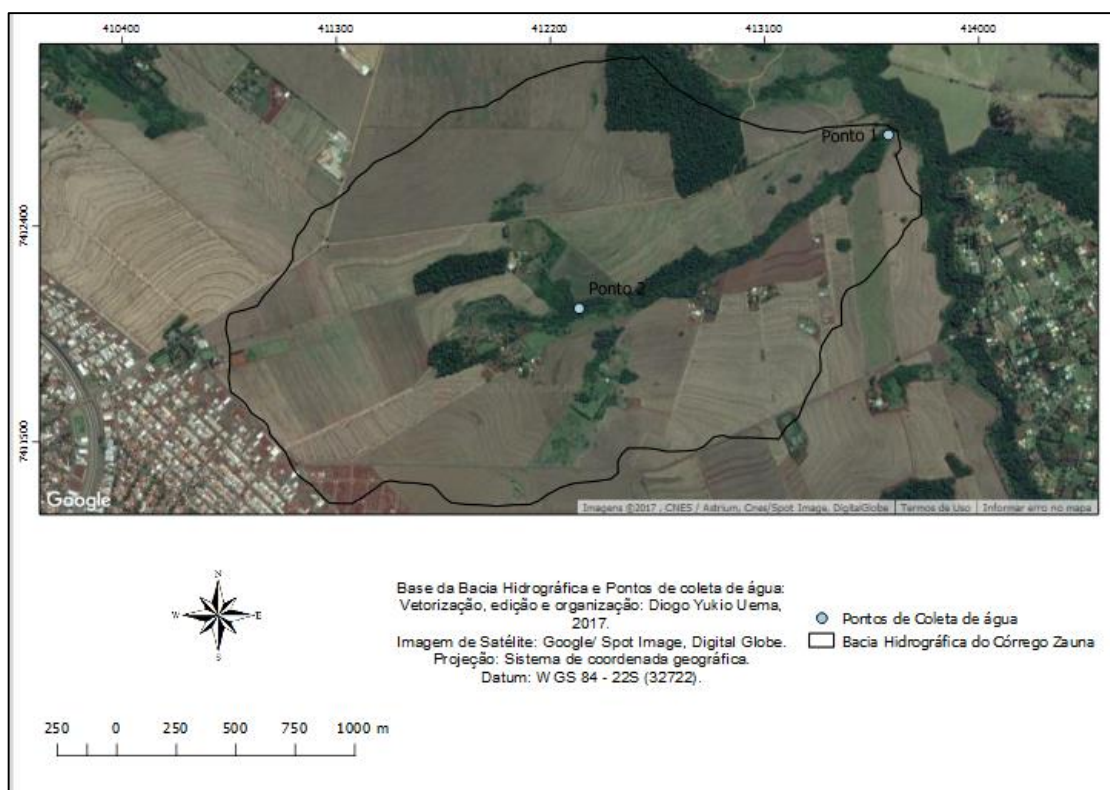
hora e, posteriormente, pesados novamente. Os resultados dos ST foram obtidos pela equação do pós-amostra subtraído pelo pré-amostra, também em triplicata.

Os sólidos dissolvidos - SD são obtidos a partir da Equação 15:

**Equação 15:** Cálculo de sólidos Dissolvidos.

$$ST - SS = SD$$

**Figura 14:** Localização dos pontos de coleta de água no córrego Zauna.



#### 4.4. Razão de produção de sedimentos/ Razão de aporte de sedimentos

Para a RPS, foram utilizadas diversas equações com intuito de obter o melhor resultado para as condições da pesquisa. Escolheu-se as metodologias de Maner (1958), Willians-Berndt (1977), Renfro (1975), Vanoni (1975), USDA (1979) e USDA – NRCS (1983), posto que as equações incluem fatores topográficos como comprimento máximo de uma bacia paralela ao rio (L), diferença entre a elevação média do divisor e a vertente (Fm), declividade média do curso de água principal (Sm), área da bacia hidrográfica em km<sup>2</sup> e milhas, e o resultado da EUPS por unidade de área (A), todos os fatores já descritos na caracterização da área, item relevo. As metodologias seguem as seguintes equações (SILVA et al., 2009):

**Equação 16:** RPS (MANER,1952).

$$\log(SDR) = 2,943 - 0,824 * \log\left(\frac{L}{F}\right)$$

**Equação 17:** RPS (WILLIAMS-BERNDT,1977).

$$SDR = 62,7 * Srio^{0,403}$$

**Equação 18:** RPS (VANONI, 1975).

$$SDR = 0,42 * \text{Área em milhas}^{-0,125}$$

**Equação 19:** RPS (RENFRO,1978).

$$\log(SDR) = 1,7935 - 0,14191 * \log(\text{Área em km}^2)$$

**Equação 20:** RPS (USDA,1979).

$$SDR = 0,51 * \text{Área em milhas}^{-0,11}$$

**Equação 21:** USDA - NRCS (1983).

$$SDR = 0,417762 * \text{Área milhas}^{-0,134958} - 0,1277097$$

Para a escolha do método mais adequado à área, foi mensurada a média de todas as equações e escolhida a que obteve a menor diferença com a média.

Após o cálculo da SDR, pode-se estimar a relação do aporte de sedimentos, por sua vez, empregada em estudos sedimentológicos, a fim de estimá-la em toneladas. Para o trabalho, foi aplicada a metodologia utilizada em Chavez (2010), também empregada em Renfro (1975); Walling (1983); Lu et al., (2006). A Equação se dá por:

**Equação 22:** Equação da relação do aporte de sedimento.

$$SDR = Y/E$$

Onde: SDR = relação de aporte de sedimentos.

Y = produção de sedimentos no exutório

E = erosão total da bacia (EUPS)



A SDR foi determinada para toda a bacia hidrográfica e não para a escala do pixel. Estudos comprovam que a determinação da SDR para cada quadrícula (pixel), posteriormente aplicada à escala da bacia, apresentam valores bem diferentes do esperado (MAMEDE, 2002).

#### 4.5. Porosidade total, macroporos, microporos e densidade do solo

Foram realizadas análises de macroporos e microporos, seguindo metodologia descrita no manual de métodos de análise do solo (EMBRAPA, 1997) e procedimentos cotidianos do laboratório, com o intuito de relacionar tais dados com a compactação do solo, infiltração da água e, conseqüentemente, o escoamento superficial, além da facilidade de desagregação de partículas.

As coletas foram efetuadas nas vertentes esquerda e direita (Figura 15 e 16) da bacia hidrográfica do córrego Zauna, em três pontos: alta, média e baixa vertente, com três anéis volumétricos em cada ponto, ou seja, amostras em triplicatas, totalizando 18 amostras. Cada anel volumétrico possuía volume de 143 cm<sup>3</sup>.

O equipamento utilizado para afundar os anéis coletores foi confeccionado pelo laboratório de pedologia, facilitando o processo de coleta.

As análises laboratoriais foram realizadas no laboratório de Pedologia do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá. Para estas análises, foi necessário repousar as amostras em um recipiente com água medindo até a metade dos anéis, com o propósito de saturar as amostras totalmente.

Seguinte a este processo, foi utilizada a mesa de tensão para a análise das amostras. A mesa de tensão tem o objetivo de sugar a água de dentro das amostras, deixando a amostra seca.

Para prepara-la é necessário:

- Limpar a lâmina de vidro e a tela de náilon de 0,25mm de malha e dimensões 40 x 40 cm e folha mata borrão;
- Adicionar água até a folha mata borrão estar preenchida;
- Retirar todas as bolhas contidas na mesa de tensão;
- Pesar as amostras antes da mesa (P<sup>1</sup>);
- Colocar as amostras na mesa.

Após colocar as amostras na mesa de tensão, foi necessário deixá-las 24 horas sem movimento, até a manhã do dia seguinte. Então, foi possível alterar o nível de água, a cada hora, a fim de sugar água das amostras. Esse processo foi repetido 5 vezes.

As amostras foram, então, pesadas ( $P^2$ ) na balança de precisão, desta vez sem o elástico e voal que as cobriam. Assim que pesadas, foram colocadas na estufa por 24 horas, transferidas para o dissecador por duas horas e pesadas novamente ( $P^3$ ).

A Figura 17-A apresenta as amostras em estado de saturação, antes da mesa de tensão. A Figura 17-F representa a balança milimétrica, na qual foram pesadas as amostras, sendo que a mesma foi deixada ligada durante uma hora antes de usá-la, a fim de a estabilizar. A Figura 17-C representa a mesa de tensão. A Figura 17-B representa a parte da mangueira onde os pingos de água presentes nas amostras saturadas são retirados, e a Figura 17-D representa as amostras já em análises.

Para o cálculo dos macroporos, microporos e porosidade total, foram usadas as seguintes Equações:

**Equação 23:** Cálculo de microporosidade.

$$M_i = (a-b) / c$$

Onde:  $M_i$  = Microporosidade

a = peso da amostra após ser submetida a tensão

b = peso da amostra seca a 105°C

c = volume do cilindro

**Equação 24:** Cálculo de macroporosidade.

$$M_a = P_t - M_i$$

Onde:  $M_a$  = macroporosidade

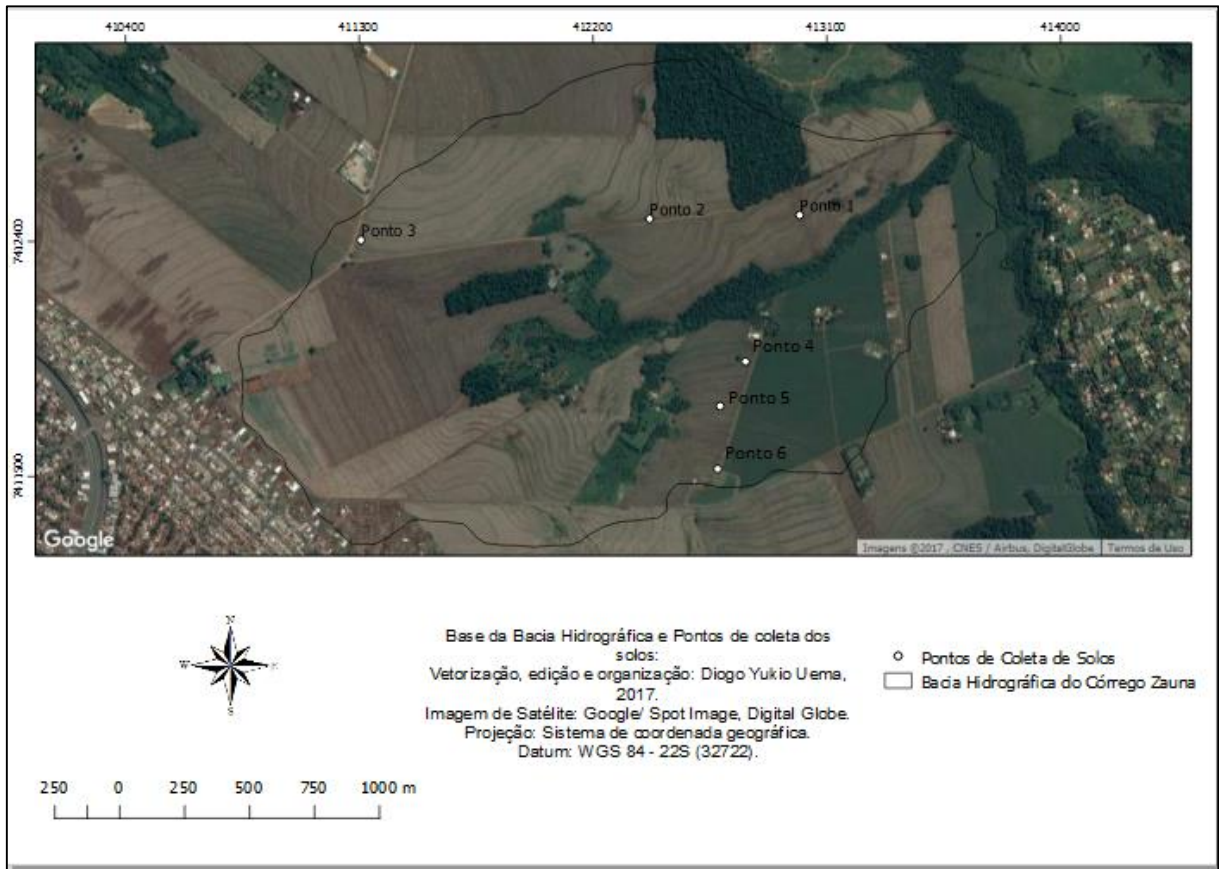
$P_t$  = porosidade total, obtida a partir da densidade do solo e partículas

$M_i$  = microporosidade

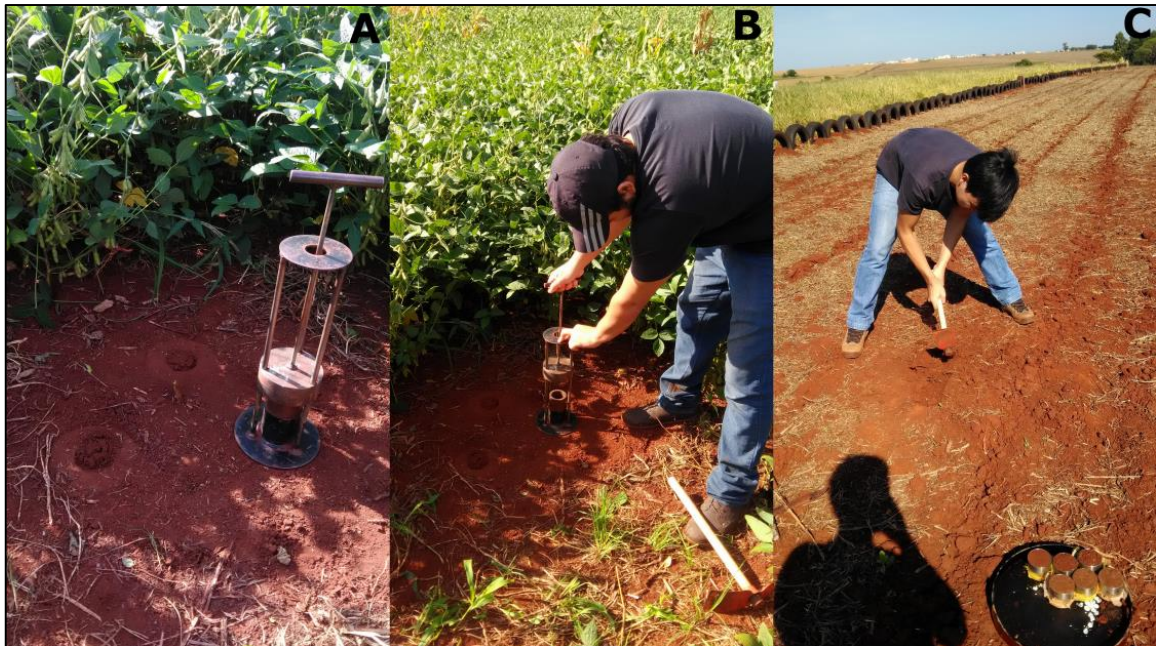
**Equação 25:** Cálculo de Porosidade Total.

$$P_t = M_a + M_i$$

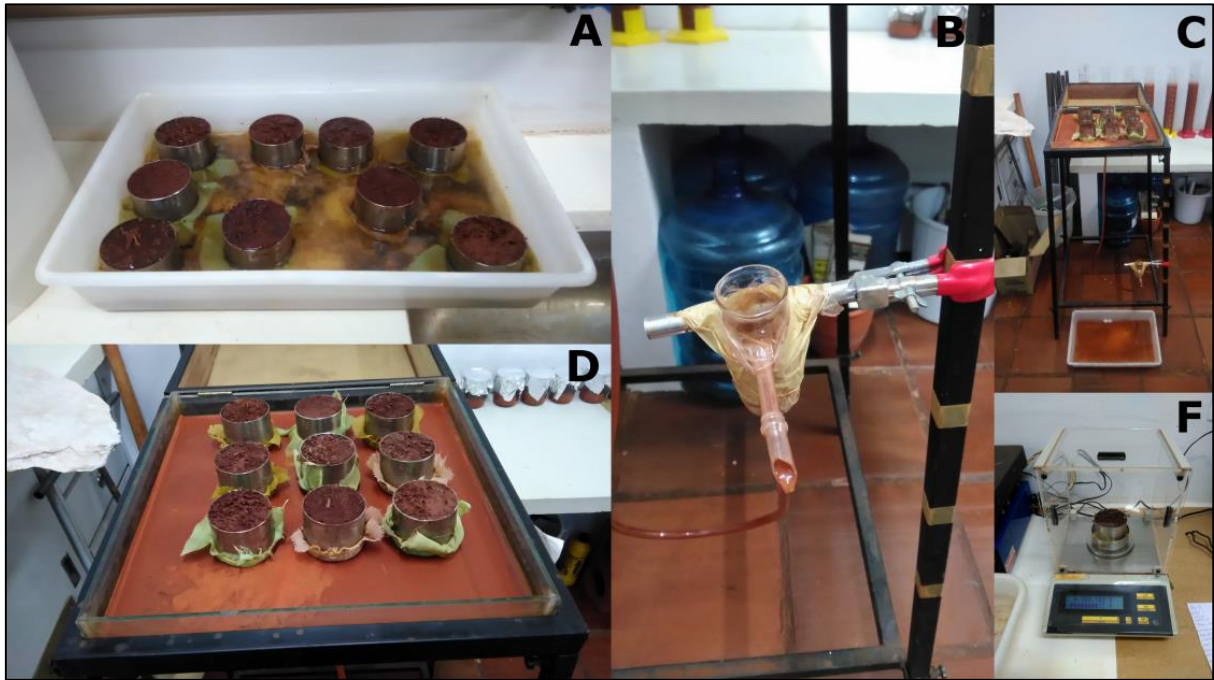
**Figura 15:** Localização dos pontos de coleta de solos na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



**Figura 16:** Coleta de solos na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



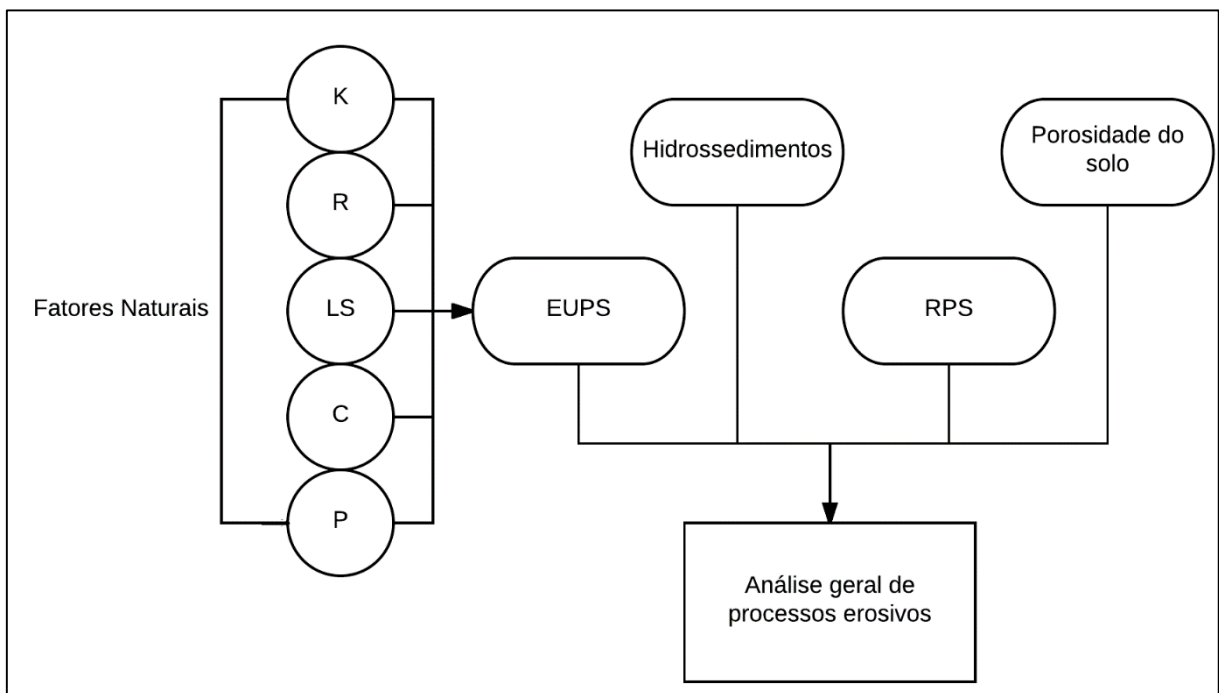
**Figura 17:** Análises de porosidade do solo, localizados no laboratório de pedologia.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão apresentados, assim como toda a dissertação, seguindo os fatores da EUPS separadamente e sua junção. Posteriormente, seguindo os resultados da RPS e das análises de sedimentos em água e porosidade do solo. A partir da apresentação, foi possível relacionar os resultados obtidos e a sua dinâmica ambiental tal como o Fluxograma (Figura 18), a seguir:

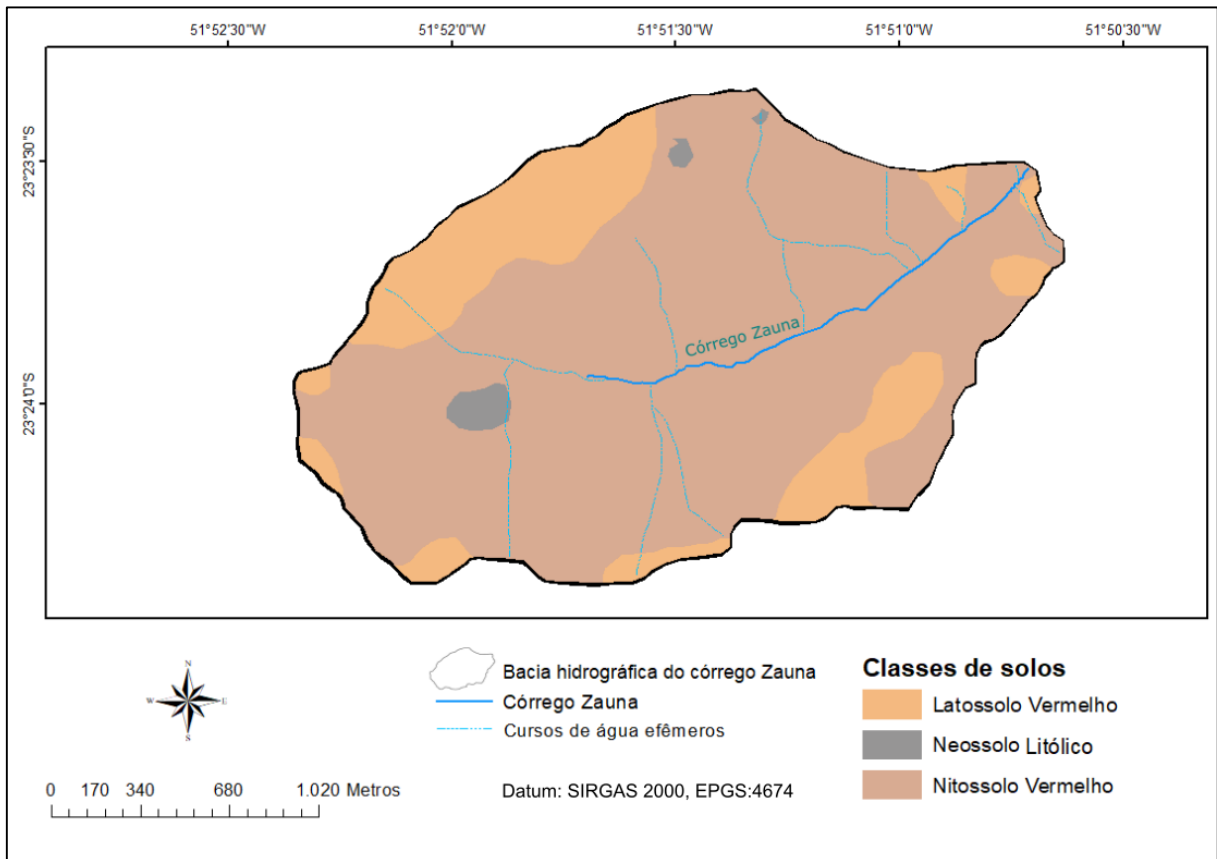
**Figura 18:** Fluxograma dos resultados.



### 5.1. FATORES K (Erodibilidade) e R (Erosividade)

As classes de solos encontradas na bacia hidrográfica do córrego Zauna são classificadas como Latossolo Vermelho textura argilosa, nas altas vertentes com declividade mais plana e altitude mais elevada, e Nitossolo Vermelho textura argilosa, em médias e baixas vertentes com declividades suaves ondulada e ondulada. Para a classificação de solos, foram levadas em consideração pequenas manchas de Neossolo Litólico em locais próximos à afloramentos rochosos. A carta foi classificada seguindo as cores do Manual Técnico de Pedologia (2007), com o intuito de seguir uma padronização nacional de forma que melhorasse a compreensão da carta de solos (Figura 19).

**Figura 19:** Carta de Classes de Solos da bacia Hidrográfica do Córrego Zauna.

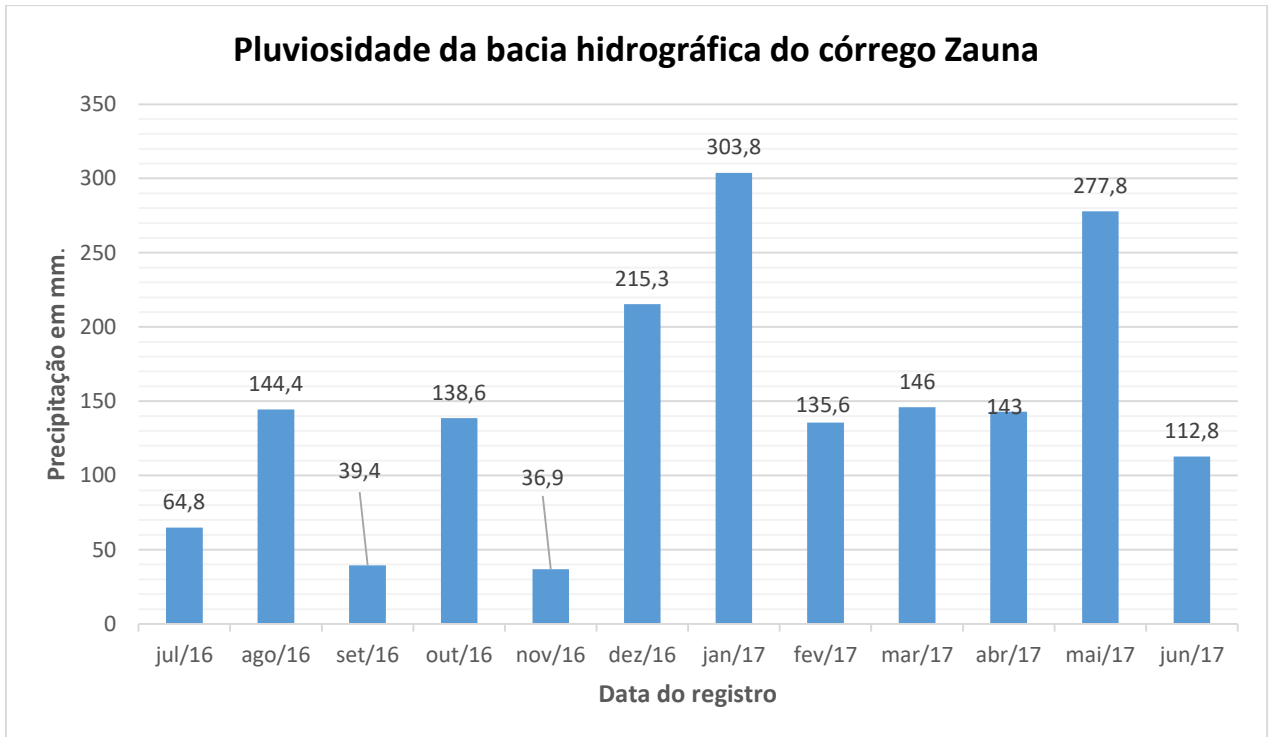
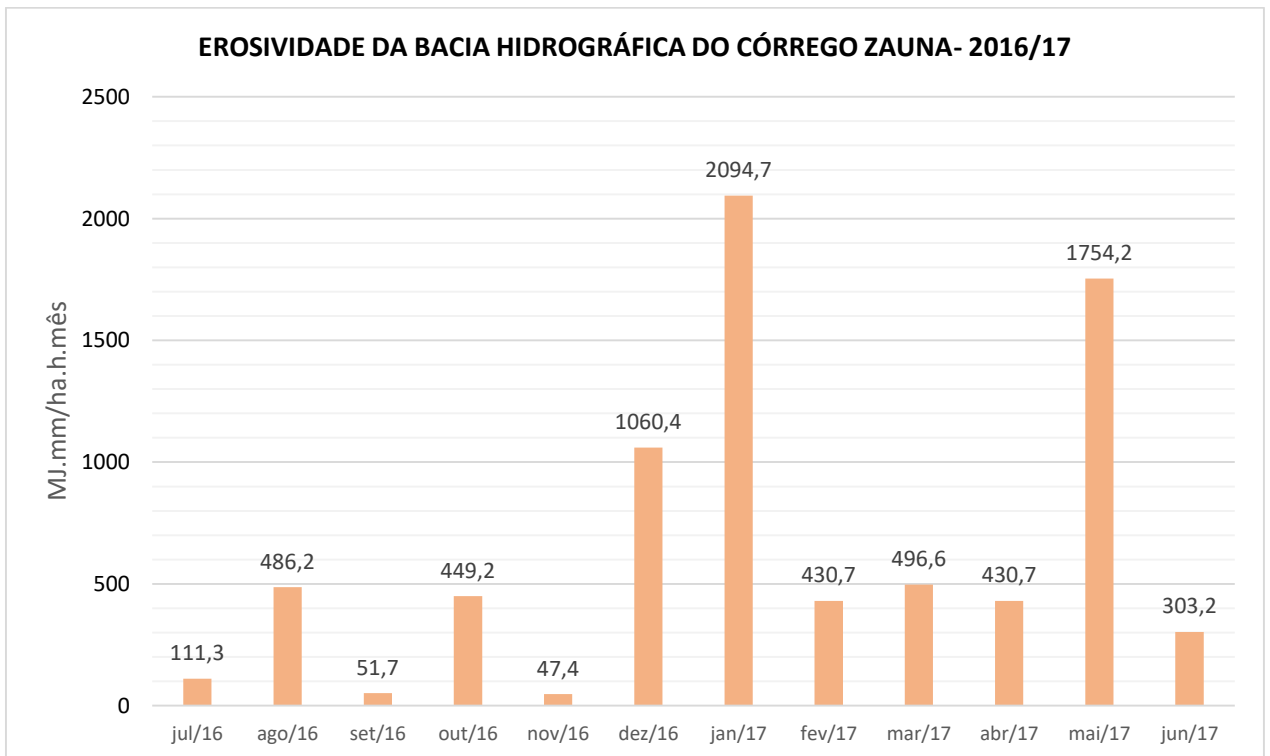


O Fator erosividade foi determinado a partir de dados mensais do INMET, para o período de julho de 2016 à junho de 2017, condizendo com as análises de água coletadas nos mesmos períodos, a fim de obter uma melhor relação de resultados.

O registro pluviométrico médio mensal apresentou valores baixos de chuvas para o período estudado, com um total de 1758,4 mm/ano, conforme o Gráfico 1. Enquanto o maior valor de precipitação ocorreu em janeiro de 2017, com 303,8 mm e o menor em novembro de 2016, com 36,9 mm.

Os valores de erosividade apresentaram-se proporcionais à chuva, conforme o Quadro 5 e Gráfico 2. O maior valor erosivo ocorreu em janeiro de 2017 com 2094 Mj.mm/ha.h. mês, enquanto o menor valor em novembro de 2016 com 47,4 Mj.mm/ha.h.mês, gerando a desagregação das partículas do solo que podiam ser depositadas ou carreadas até o córrego.

É importante salientar que o índice de erosividade difere de uma área de grande extensão à outra, porém, pela área de estudo não ser extensa, o valor erosivo foi considerado o mesmo para toda a bacia.

**Gráfico 1:** Pluviosidade da bacia hidrográfica do córrego Zauna.**Gráfico 2:** Erosividade da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

**Quadro 5:** Valores da erosividade (MJ.mm) da bacia hidrográfica do córrego Zauna, separados por estações e meses.

Mês	Eim	
jan/17	2094,7	Verão
fev/17	430,7	
mar/17	496,6	
abr/17	430,7	Out
mai/17	1754,2	
jun/17	303,2	
jul/16	111,3	Inv
ago/16	486,2	
set/16	51,7	
out/16	449,2	Primavera
nov/16	47,4	
dez/16	1060,4	
EiA	7716,3	

## 5.2. FATOR LS (Topográfico)

Quanto maior a declividade e o comprimento de rampas das vertentes, maior a velocidade do escoamento superficial e menor a infiltração no solo. O fator LS determina a real influência dessas características topográficas no processo de perda de solos por erosão laminar.

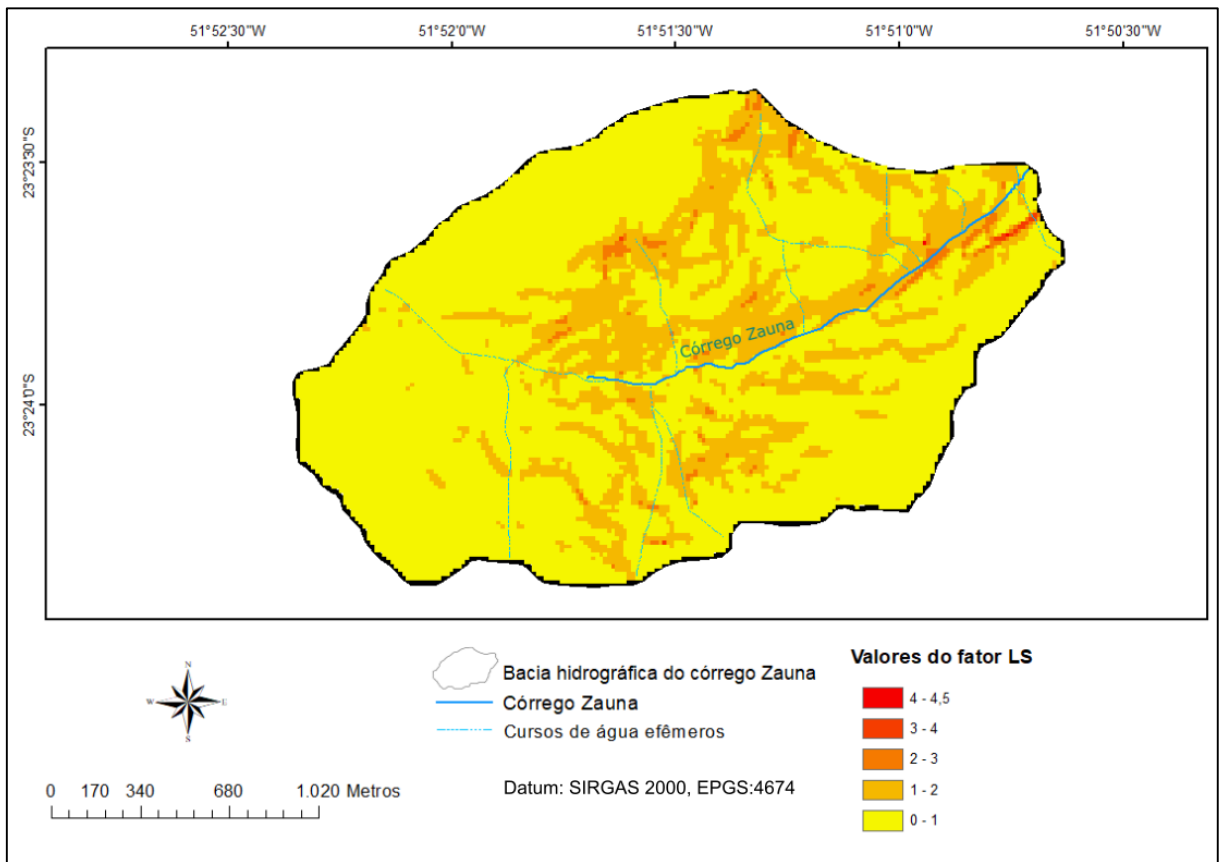
Os resultados do fator LS foram satisfatórios pelo fato de a bacia hidrográfica estudada possuir um declive baixo e um comprimento de rampa pequeno, gerando poucas feições erosivas maiores do que a laminar, como ravinhas ou voçorocas.

Nas Figuras 2 e 3, no item localização e caracterização da área, pode-se perceber a distribuição espacial dos valores da declividade e hipsometria apresentadas na bacia hidrográfica do córrego Zauna. Por sua vez, o fator LS está espacializado na Figura 20, no qual o valor se apresenta maior nas partes vermelhas, ou seja, com a maior possibilidade de ocorrer erosão laminar.

Pode-se notar que as partes com maior valor do fator LS são as com maior declividade e são as partes onde se encontra o Nitossolo Vermelho. Nas partes planas do Latossolo vermelho, o valor é baixo.



**Figura 20:** Carta representando o fator LS (topográfico) na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



### 5.3. FATOR C (Uso e ocupação do Solo)

A área estudada é majoritariamente utilizada para fins agrícolas, com rotações de culturas de soja e milho. O córrego Zauna possui uma vegetação arbórea, que encobre 0,53 km<sup>2</sup> da bacia hidrográfica, enquanto as culturas encobrem 2,90 km<sup>2</sup> e a vegetação campestre 0,17 km<sup>2</sup>. A bacia hidrográfica do córrego Zauna ainda possui uma pequena parcela de área urbana periférica em seu setor noroeste, que representa 0,07 km<sup>2</sup> da área (Figura 21). Nas imagens NDVI utilizadas, apresentam-se valores entre -1 e 1, dependendo da refletância da vegetação, conforme as Figuras 21 a 28.

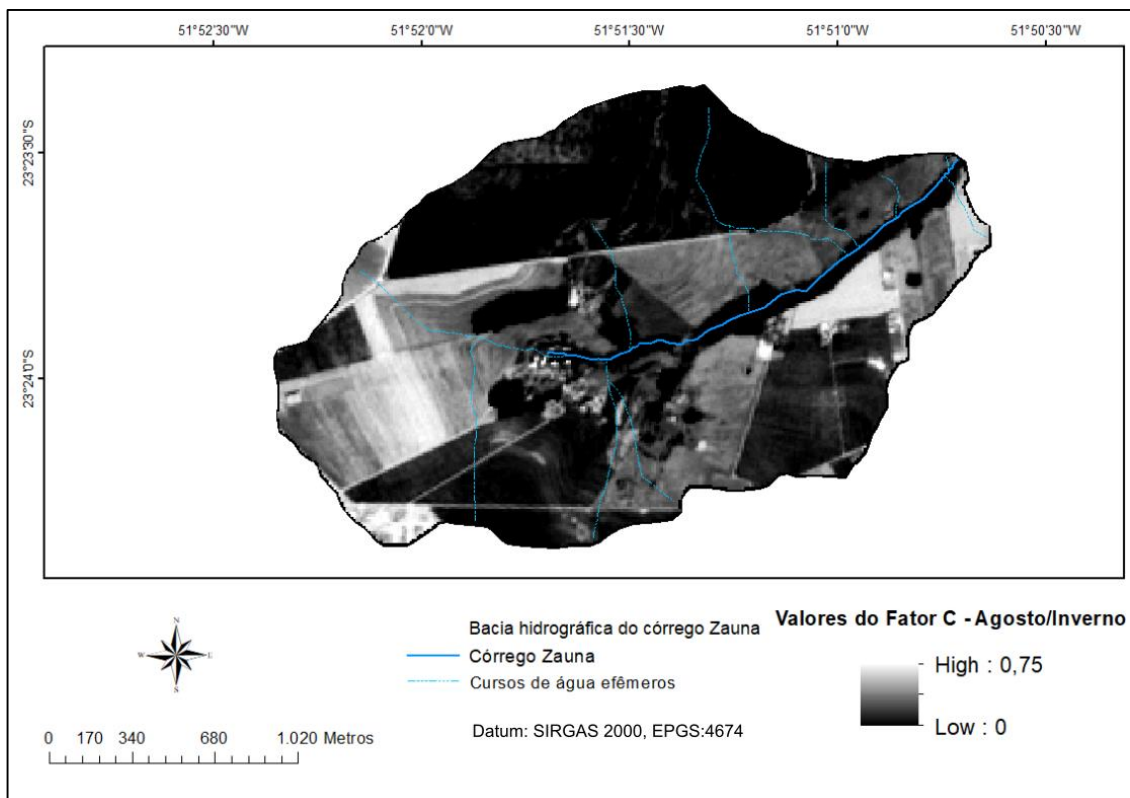
Como já demonstrado anteriormente, o uso do solo da área é composto quase que totalmente por culturas agrícolas, mais especificamente uma rotação de soja, milho e trigo com uma pequena área urbana, fragmentos da vegetação localizadas em reservas legais e APP e estradas rurais e urbanas.

As cartas das imagens estão representadas como A (Natural), B (NDVI) e a carta de fator C.

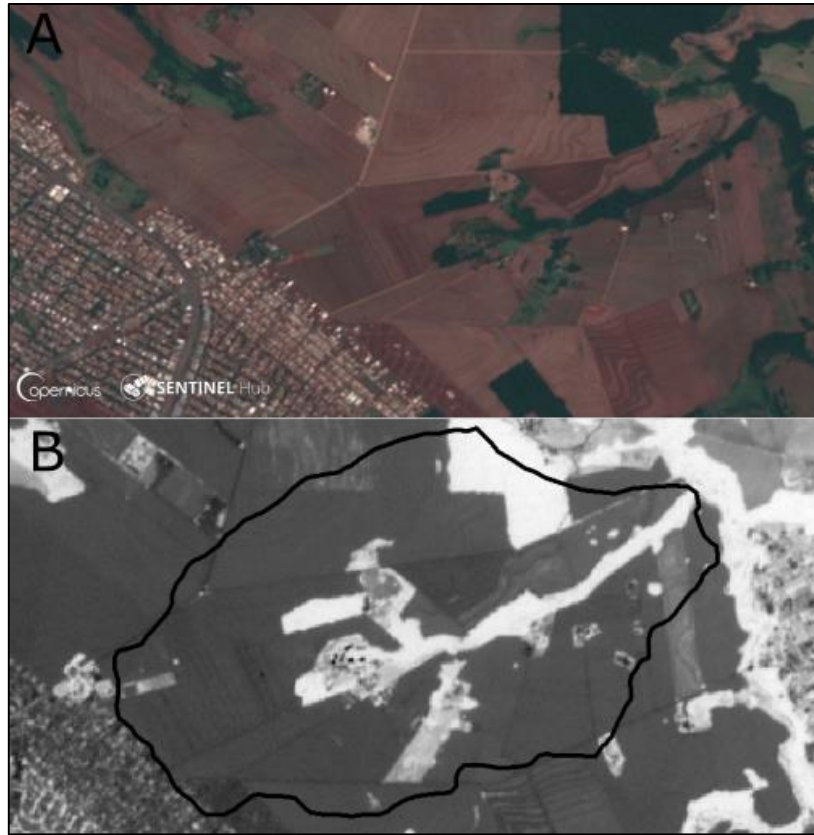
**Figura 21:** INVERNO/ 2016 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS.



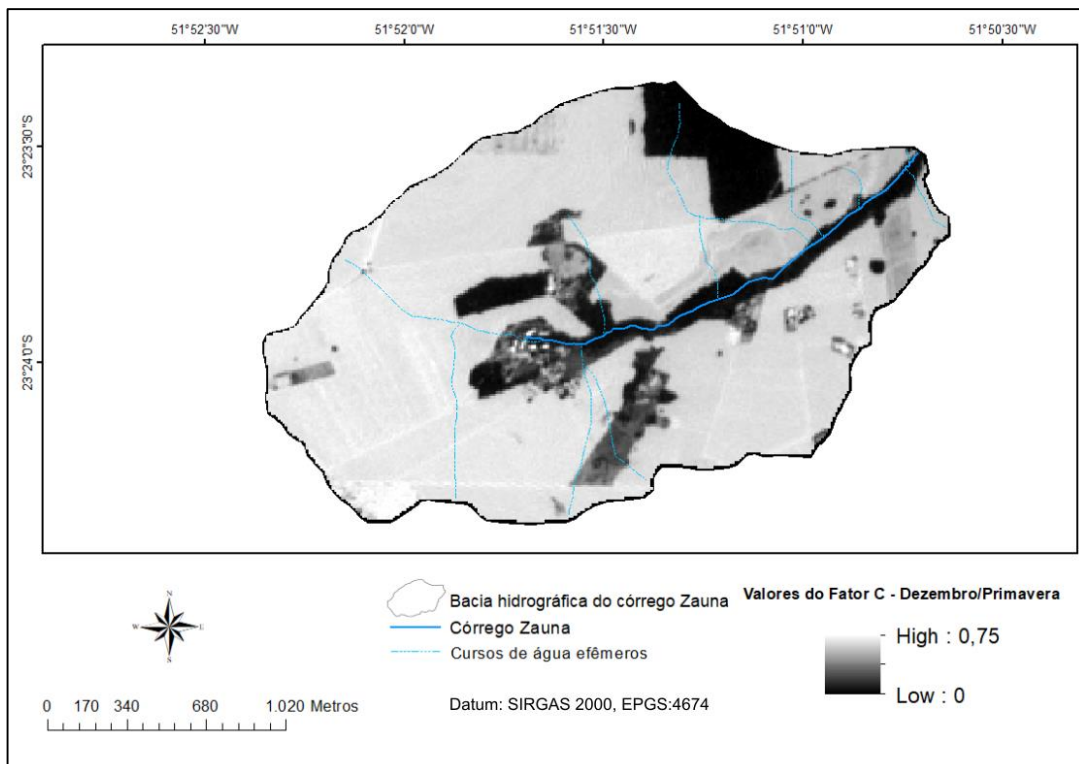
**Figura 22:** INVERNO/ 2016 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.



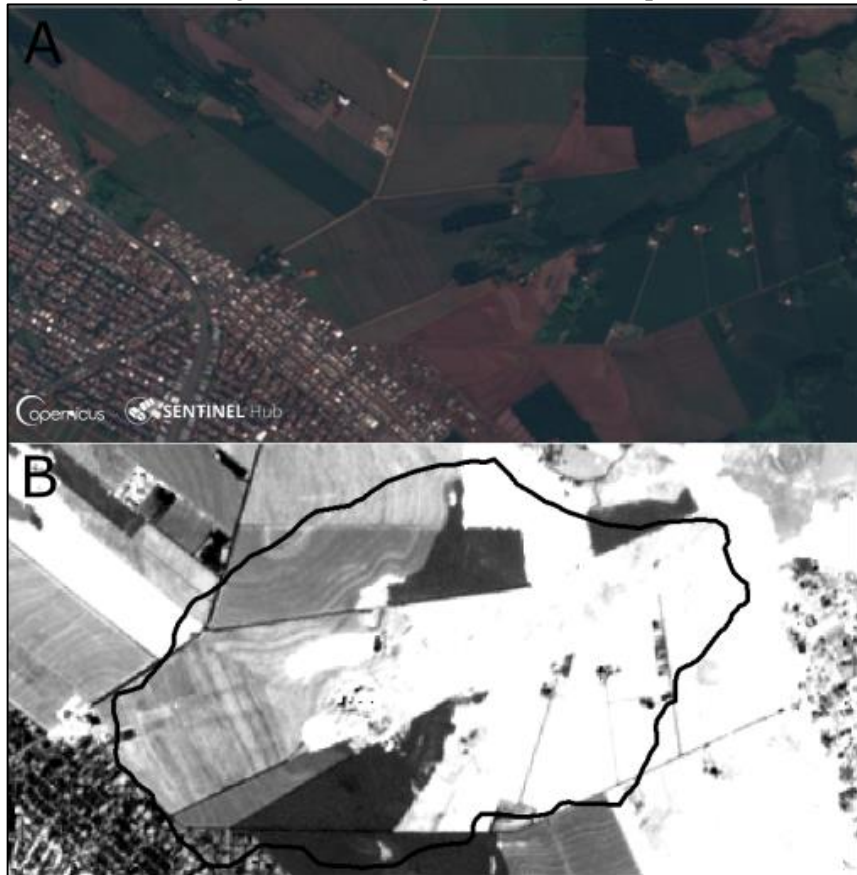
**Figura 23:** Primavera/ 2016- A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS.



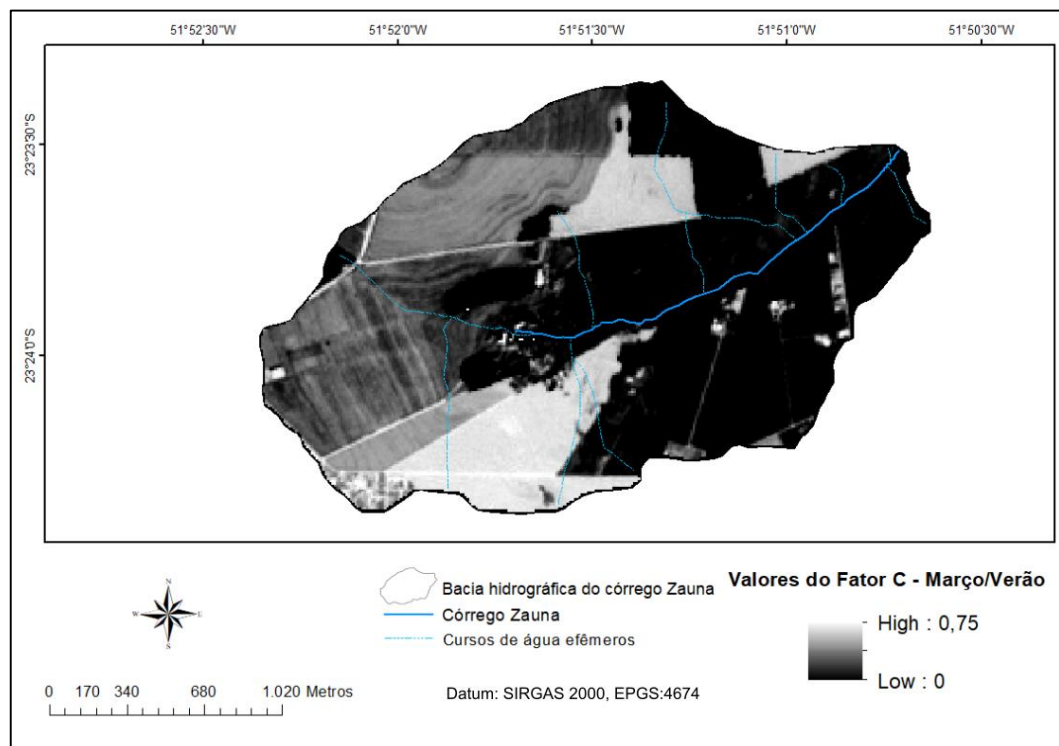
**Figura 24:** Primavera/ 2016 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.



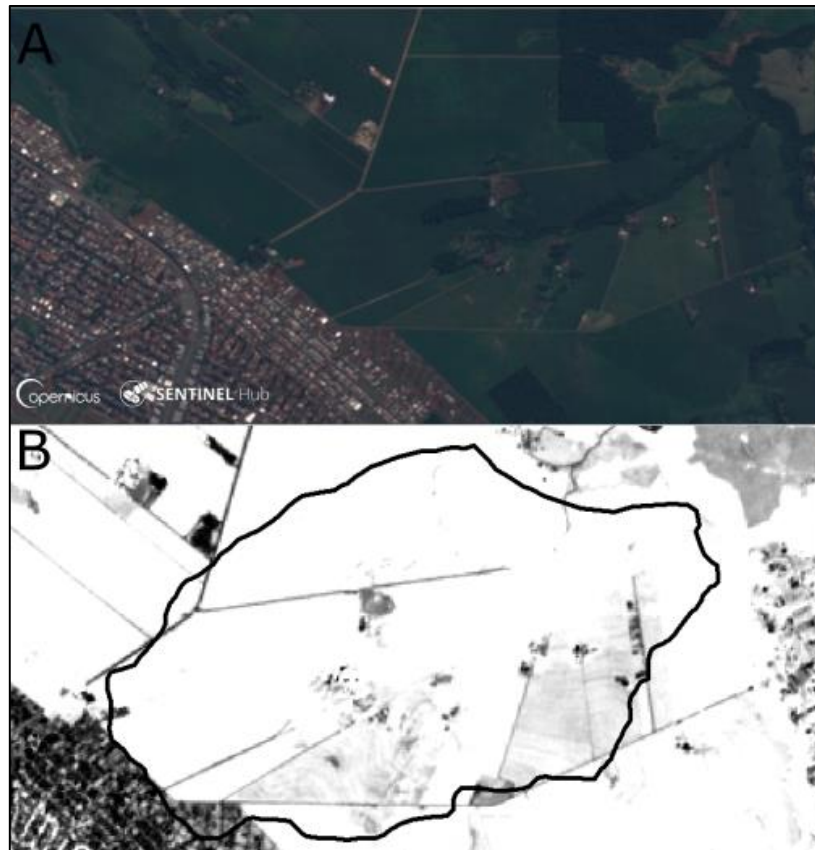
**Figura 25:** Verão/ 2016-2017 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS.



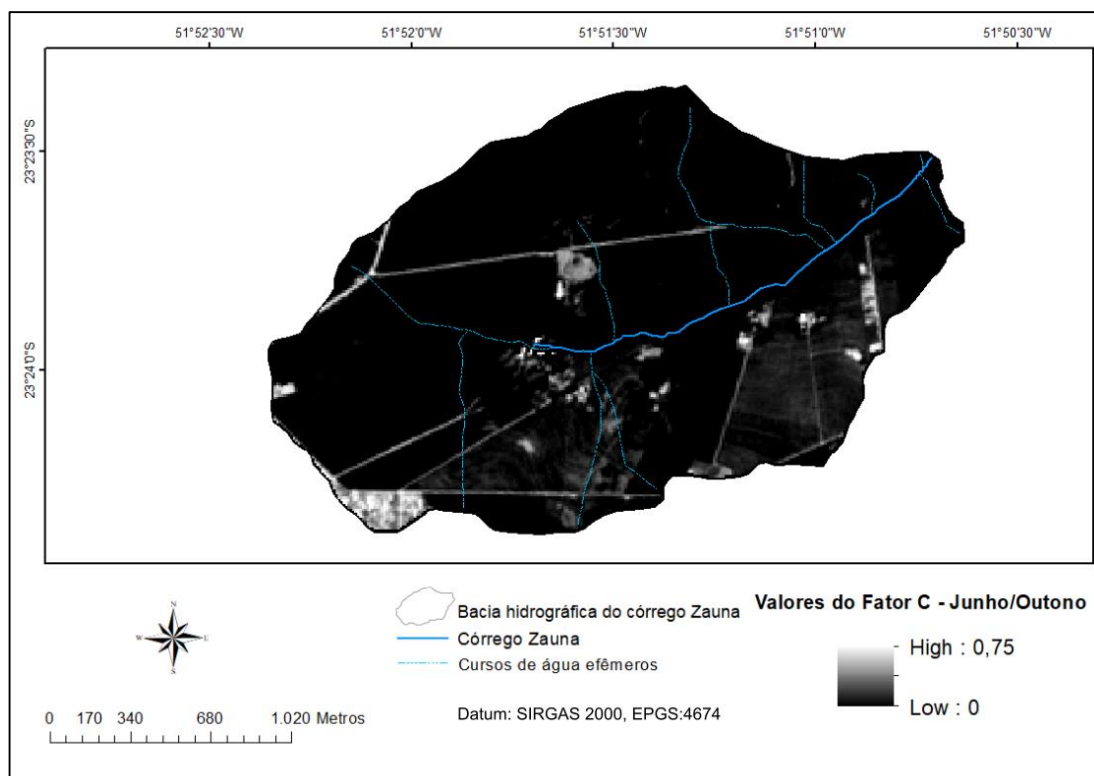
**Figura 26:** Verão/ 2016-2017 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.



**Figura 27:** Outono/ 2017 - A: Imagem cor natural da bacia hidrográfica do córrego Zauna. B: NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, criado a partir do SIG QGIS.



**Figura 28:** Outono/ 2017 - Carta do Fator C obtido por NDVI da bacia hidrográfica do córrego Zauna, elaborado a partir do SIG Arcgis.



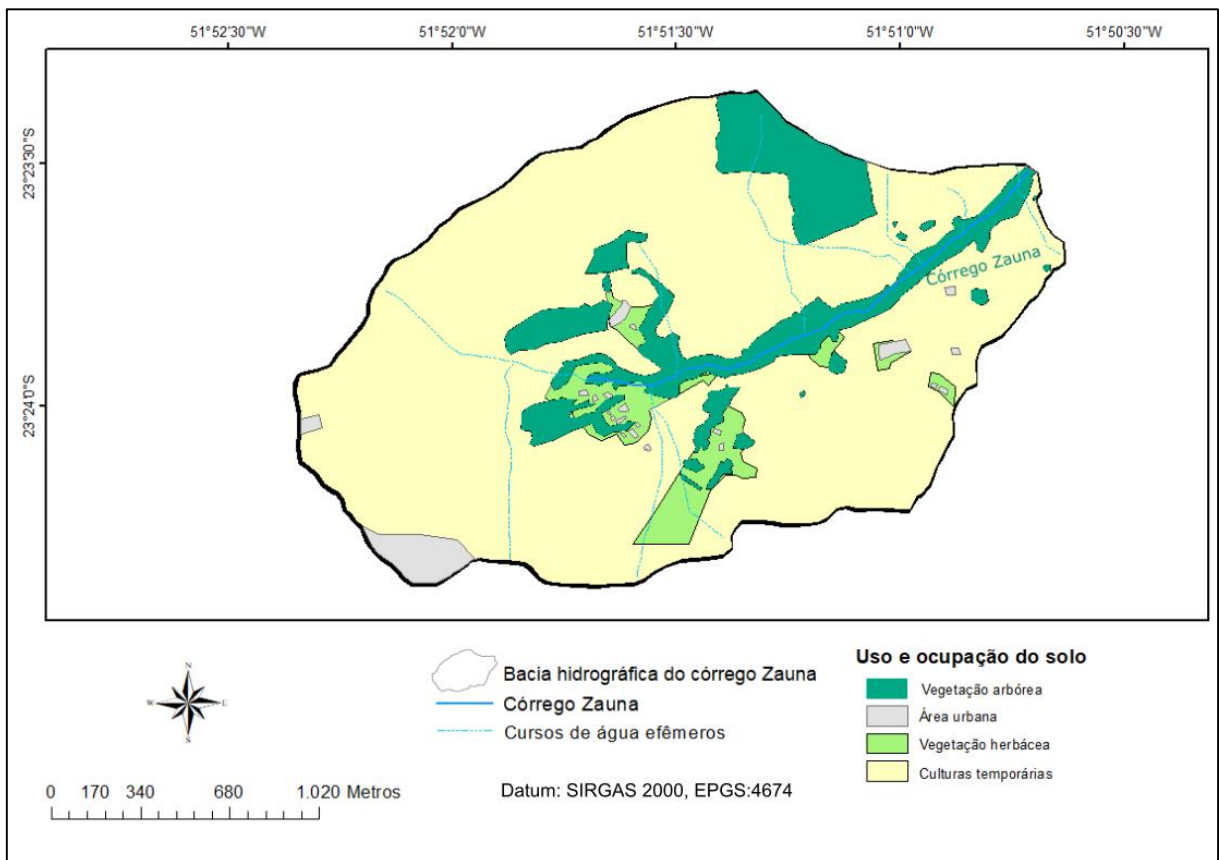
Salienta-se que o fator C criado a partir do *Gisus-m* leva em consideração apenas o desenvolvimento das coberturas vegetais das culturas temporárias, a partir do *NDVI*, e não seu uso e ocupação em si. Outro fator importante é que como a área urbana da bacia hidrográfica do córrego Zauna é praticamente inexistente, não interferiu nas análises e resultados.

#### 5.4. FATOR P (Práticas conservacionistas)

As práticas conservacionistas foram calculadas a partir da carta de uso do solo (Figura 29). Cada prática também teve um valor estipulado na metodologia do trabalho, baseado em métodos bibliográficos e características de técnicas de plantio e manejo.

Os valores foram de acordo com as classes de plantios em contorno, isto é, curvas de nível (0,5) e plantios em cordões vegetais permanentes, ou seja, áreas de preservação permanentes (0,2), de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1991).

**Figura 29:** Carta de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



### 5.5. EUPS SAZONAL

#### – VERÃO

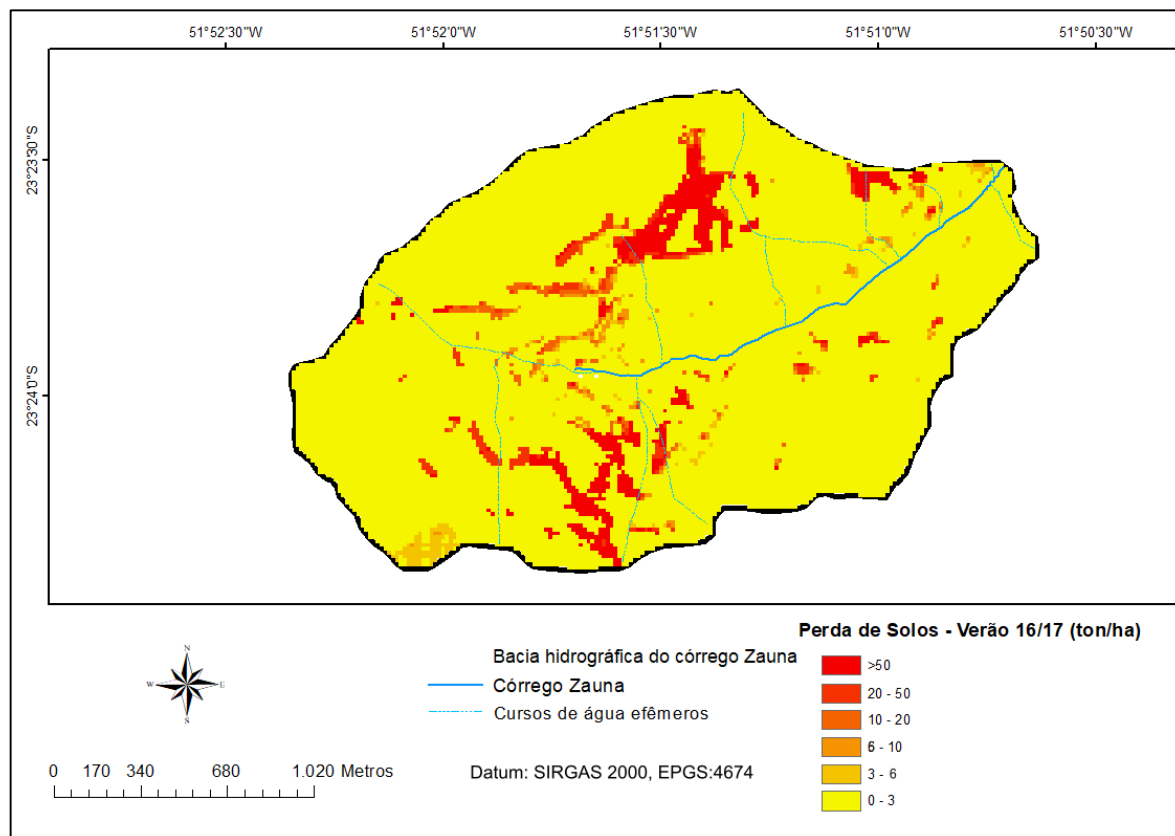
Os valores obtidos para o verão, utilizando a EUPS com dados de erosividade sazonal, NDVI de Março, erodibilidade, práticas conservacionistas e fator topográfico, demonstram que mais de 90% da área apresenta perdas menores que 3 ton.saz. Em sequência, classes com 3-6 ton.saz com 1,06% da área, 6-10 ton.saz com 0,74%, 10-20 ton.saz com 0,98%, 20 – 50 ton.saz para 1,85% e maior que 50 ton.saz com 4,98%. O Quadro 6 demonstra as porcentagens de perda de solo e área atribuída.

A distribuição espacial das classes geradas pela EUPS (Figura 30) mostra uma maior frequência das classes de 20-50, maior que 50 nas áreas de maior declividade, nos setores norte, sul e nordeste da bacia hidrográfica do córrego Zauna, além de pequenas manchas bem distribuídas em toda a bacia hidrográfica.

**Quadro 6:** Quadro de porcentagem das perdas de solo do período de verão da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

<b>Classes de Perdas de Solos (ton. saz)</b>	<b>0 – 3</b>	<b>3 – 6</b>	<b>6 – 10</b>	<b>10 – 20</b>	<b>20 – 50</b>	<b>&gt;50</b>
<b>Perdas (%)</b>	90,39%	1,06%	0,74%	0,98%	1,85%	4,98%

**Figura 30:** EUPS Sazonal para o verão, na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



## – OUTONO

Os dados utilizados para o outono foram, conforme o padrão estabelecido, os mesmos do verão, alterando apenas os dados de erosividade sazonal e a imagem NDVI que, no caso, foi de Junho.

A classe de maior área encontrada foi de 0-3 ton.saz, com 96,58%, seguido por 1,05% da classe 3-6 e 0,90% da classe 20-50. A menor área foi da classe maior que 50 com 0,25% da área total da bacia hidrográfica.

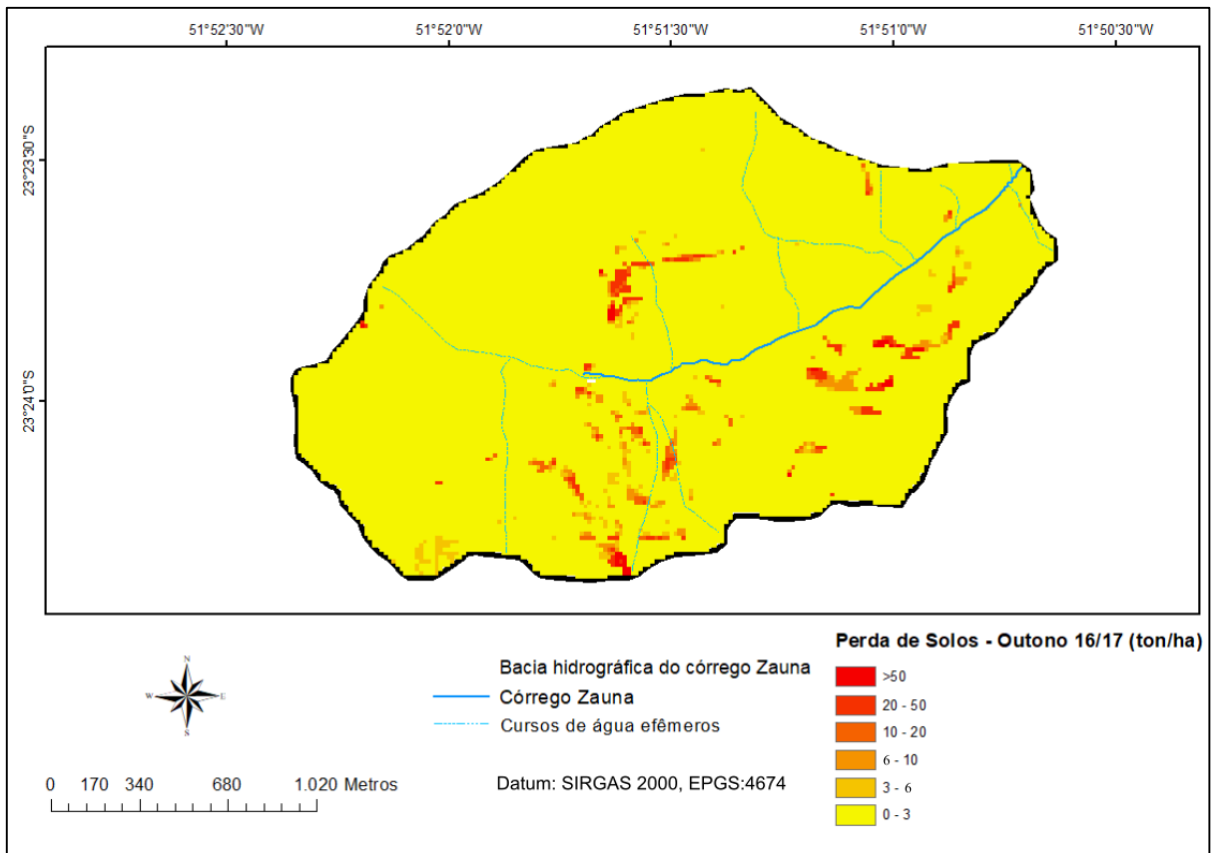
Com uma totalidade da classe 0-3 ton.saz (Quadro 7), a distribuição espacial representada pela Figura 31 apresenta as outras classes concentradas no setor sul da bacia hidrográfica, além de pequenas manchas distribuídas entre o centro e sudeste.



**Quadro 7:** Quadro de perdas de solo em porcentagem, no período de outono, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna.

<b>Classes de Perdas de Solos (ton. saz)</b>	<b>0 – 3</b>	<b>3 – 6</b>	<b>6 – 10</b>	<b>10 – 20</b>	<b>20 – 50</b>	<b>&gt;50</b>
<b>Perdas (%)</b>	96,58%	1,05%	0,63%	0,60%	0,90%	0,25%

**Figura 31:** EUPS sazonal, para o período de outono, da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



## – INVERNO

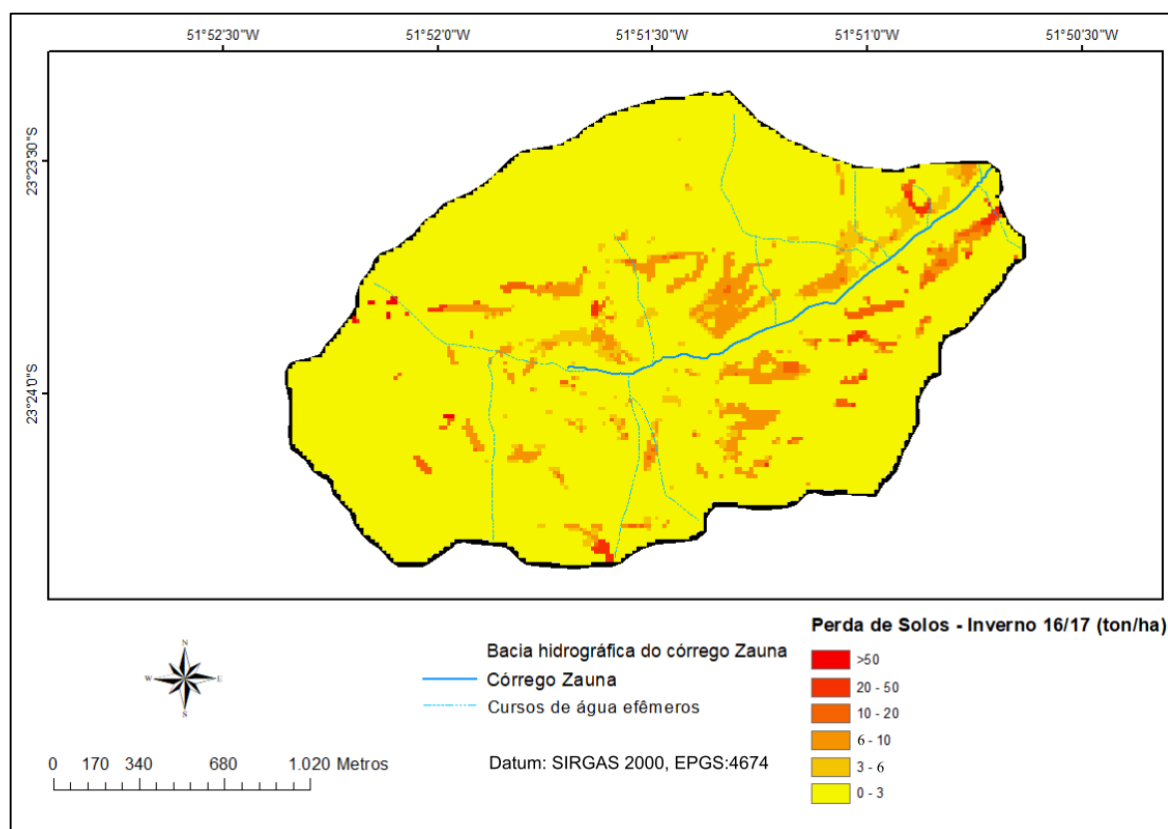
A EUPS do período de inverno foi calculada com a alteração da erosividade sazonal e NDVI de agosto. Percebe-se no Quadro 8 que mais de 90% da área apresenta valores menores que 3 ton.saz. As demais classes somadas apresentaram aproximadamente 10% da área, sendo a de segunda maior representatividade a classe 3 – 6 ton.saz, com 4,59%.

A distribuição espacial (Figura 32) apresenta a classe 0-3 em toda a extensão da bacia hidrográfica do córrego Zauna, e as outras classes também bem distribuídas, evitando apenas a parte do extremo norte, oeste e sudeste.

**Quadro 8:** Quadro de perdas de solo em porcentagem, no período de inverno, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	91,16%	4,59%	2,57%	1,14%	0,45%	0,09%

**Figura 32:** EUPS sazonal, para o período de inverno, da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



#### – PRIMAVERA

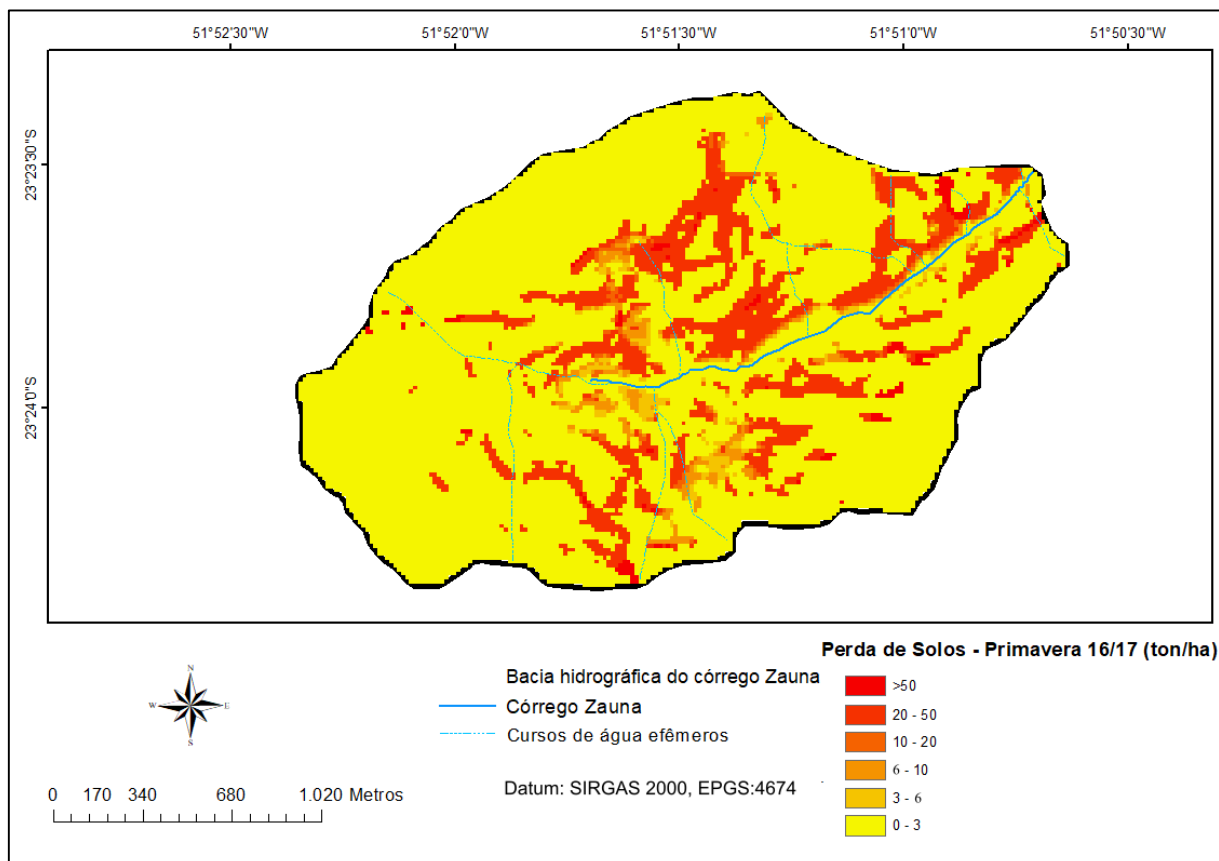
O período de primavera, utilizando NDVI de imagem de dezembro e erosividade própria, apresentou valores da classe 0-3 ton.saz com aproximadamente 79% de representatividade na área da bacia hidrográfica, sendo a menor entre as quatro estações analisadas. A classe com segunda maior representatividade foi a 20-50 ton.saz, com 14.58%, também a maior considerando todas as estações. A soma das outras classes totalizou em torno de 5% de abrangência (Quadro 9).

Na carta de espacialização da EUPS da primavera (Figura 33) é possível perceber uma maior erosão laminar em comparação com as outras estações, principalmente das classes 20-50 e >50, evitando, assim como o inverno, as partes extremas do norte, oeste e sudeste.

**Quadro 9:** Quadro de perda de solos em porcentagem, para o período de primavera, da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	79,41%	2,10%	1,46%	1,25%	14,58%	1,20%

**Figura 33:** EUPS sazonal, para o período de primavera, da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



## 5.6. EUPS ANUAL

Teoricamente, a EUPS anual é a soma de todas as EUPS sazonais. Com esse pensamento, o valor Anual da EUPS seria de 69,77 ton.ano para toda a bacia hidrográfica, sem meios de espacializar, visto que o *Gisus-M* não oferece um meio de somatória entre EUPS.

Para obter uma distribuição espacial e, além disso, meios de comparação entre períodos com cobertura da vegetação e solo exposto, foram realizadas duas EUPS anuais com esses fatores diferenciadores.

#### – PERÍODO COBERTO

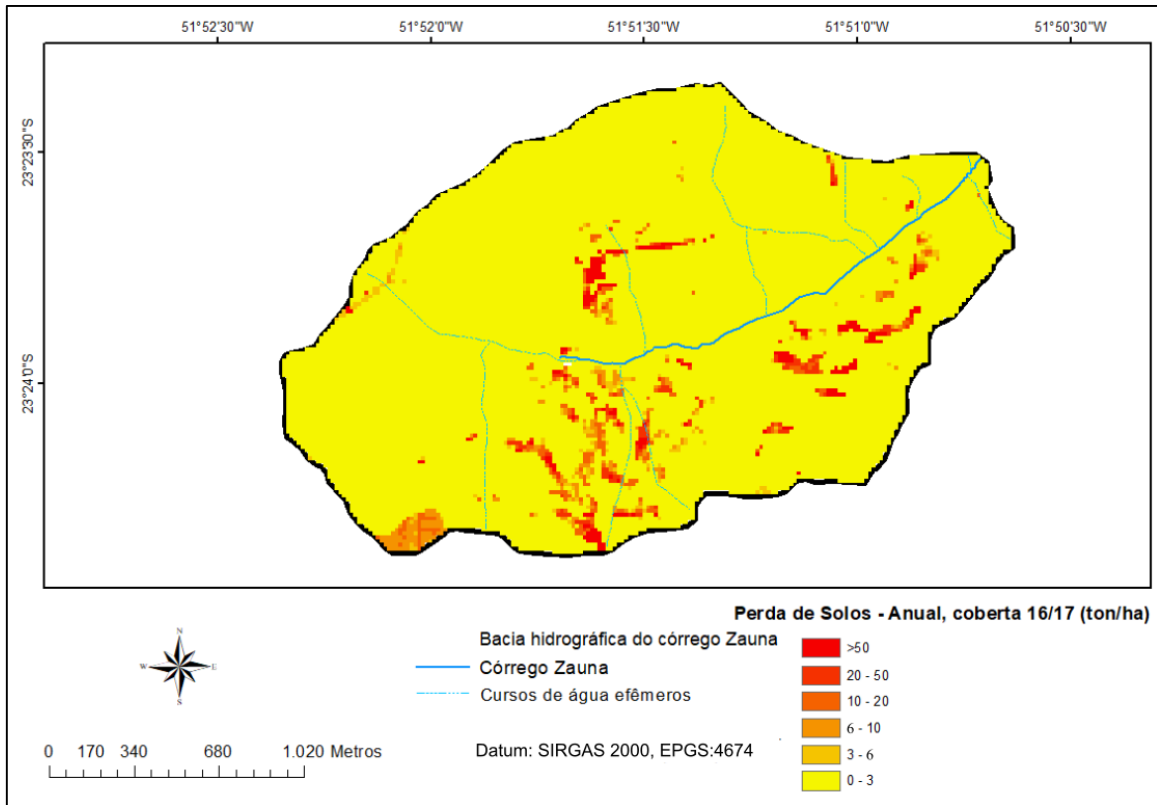
Para o período coberto foi utilizada a erosividade anual (Figura 34) e o NDVI baseado na imagem de 17 de Junho de 2017, sendo possível notar que a cobertura da bacia hidrográfica era quase total. Os valores mostraram que 93% da área representava a classe 0 -3 ton.ano que, por si só, já consideraria a bacia hidrográfica pouca influenciada por erosão laminar. As somas das outras classes se aproximam de 7% da área total (Quadro 10).

Curiosamente, a perda de solo anual do período coberto foi a única que evidenciou a pequena área urbana da bacia hidrográfica, considerando-a entre as classes 10-20 e 20-50. Já no restante da bacia hidrográfica, as classes de maior perda de solos estavam distribuídas entre o centro, sul e sudeste da área. O valor anual de perdas utilizando o método de contagens de *pixels* resultou em 12,77 ton.ano.

**Quadro 10:** Quadro de perdas de solo em porcentagem, anual para o solo coberto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna.

<b>Classes de Perdas de Solos (ton. saz)</b>	<b>0 – 3</b>	<b>3 – 6</b>	<b>6 – 10</b>	<b>10 – 20</b>	<b>20 – 50</b>	<b>&gt;50</b>
<b>Perdas (%)</b>	93,88%	1,04%	1,33%	1,24%	1,16%	1,36%

**Figura 34:** EUPS Anual, com cobertura máxima de vegetação, para a bacia hidrográfica do córrego Zauna.



#### – PERÍODO DE SOLO EXPOSTO

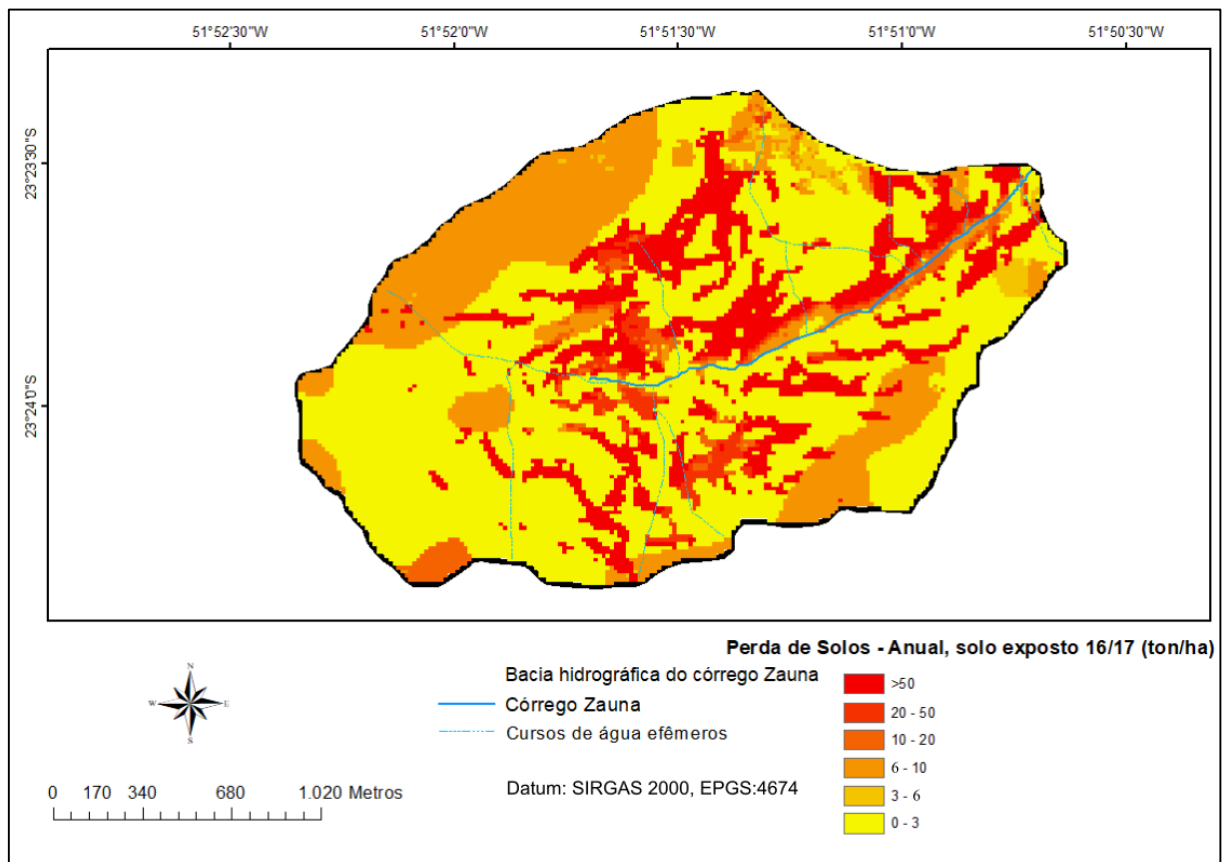
Para o período de solo exposto, foi utilizado o NDVI com a imagem de 19 de Novembro de 2016, quando ele se apresentou em grande parte da área. A EUPS gerada foi a que demonstrou maior perda de solos dentre todas, podendo-se até acreditar em valores excessivos. A classe com maior representatividade foi a menor que 3 ton.ano, com 55,14% da área total, seguido pela classe 3-6 ton.ano com 19,75% e a classe maior que 50 com 17,26%. A última causou uma impressão de que a bacia hidrográfica era quase por sua totalidade muito erodida. O valor anual de perdas, utilizando o método de contagens de *pixels* resulta em 52,287 ton.ano (Quadro 11).

A carta que foram espacializadas as perdas de solos (Figura 35) apresenta todas as classes com frequência maior do que as outras geradas. Destaca-se a classe maior que 50 no centro da bacia hidrográfica, norte, sul e leste.

**Quadro 11:** Quadro de perdas de solos em porcentagem, anual para o solo exposto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Classes de Perdas de Solos (ton. saz)	0 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 20	20 – 50	>50
Perdas (%)	55,14%	19,75%	2,17%	2,52%	3,15%	17,26%

**Figura 35:** EUPS anual, para o solo exposto, na bacia hidrográfica do córrego Zauna.



### 5.7. Razão de Produção de Sedimentos (RPS/SDR/RAS)

A RPS é uma simulação topográfica do quanto de sedimentos erodidos chegam ao exutório do rio.

As diversas metodologias utilizadas foram já explicadas no item metodologia, incluindo seus fatores condicionantes. O único fator não topográfico necessário era a EUPS anual da bacia hidrográfica do córrego Zauna, assim, utilizando a média das EUPS anuais expostas e cobertas, resultou em 32,528 ton.ano e foram calculadas as metodologias.

Os valores de SDR (%) analisados obtiveram valor semelhante em trabalhos de Risso et al (2005), Vestena (2008), Chaves (2010), Junior (2015), Fujaco, Leite, Neves (2016), Santos et al (2017).

O Quadro 12 mostra os resultados da SDR (adimensional), a média, diferença com a média, aporte de sedimentos (ha.ano), aporte de sedimentos (%) e sedimentos retidos na bacia hidrográfica (%).

**Quadro 12:** Resultados da SDR/RPS/RAS para a bacia hidrográfica do córrego Zauna.

EQUAÇÕES SDR	SDR	Média	Dif. com a média	Ap. de Sed.	Ap.de Sed (%)	Sed. Retidos (%)
<b>Maner ( 1958)</b>	0,23	0,316	0,087	7,445	20,99	79,01
<b>Willians - Berndt ( 1977)</b>	16,23		-15,914	527,938	1623,4	-1523,4
<b>Ranfro ( 1978)</b>	0,23		0,082	7,598	23,33	76,67
<b>Vanoni (1975)</b>	0,27		0,044	8,841	27,18	72,82
<b>USDA(1979)</b>	0,49		-0,175	15,950	49,01	50,99
<b>USDA-NRCS(1983)</b>	0,27		0,045	8,815	27,09	72,91

A metodologia de Willians-Berndt (1977) mensurou a RPS com a pior em diferença com a média (-15,91), resultando em um aporte de sedimentos extrapolados, superior ao total de perda de solos calculado pela EUPS. O método de Vanoni (1975) obteve a melhor diferença em relação à média (0,04), indicando que apenas 27,18% dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica foram transportados para o exutório da mesma, e o restante (72,82%) ficaram retidos em seu interior.

Métodos de Maner (1958), Renfro (1975), USDA-NRCS (1983) obtiveram valores bem próximos aos de Vanoni (1975). Já o da USDA obteve a porcentagem com mais erros em comparação às outras.

## 5.8. Hidrossedimentos

Os hidrossedimentos apresentaram valores baixos, com sólidos suspensos resultando em menor valor 0,0059 no outono e maior valor de 0,0468 mg/L na primavera. Para os sólidos dissolvidos, o menor valor aconteceu no inverno com valor de 0,0996 e o maior no outono apresentando 0,116 mg/L. Os sólidos totais apresentaram seu maior valor no outono com 0,1216 e seu menor valor na primavera com 0,0736 mg/L (Quadros 13 e 14) . Houve diferença da quantidade de sedimentos em transporte, dependendo da sazonalidade, da perda de solos das vertentes e quantidade de chuvas que os transportou até o córrego.

É importante não comparar os resultados de hidrossedimentos de bacias hidrográficas de maior proporção, visto que a quantidade de sólidos será muito menor no córrego Zauna considerando seu tamanho (Figura 36).

**Figura 36:** Fotografias do córrego Zauna. A: Ponto 2 (próximo à nascente). B: Ponto 1 (próximo à foz, nota-se um caminho para veículos atravessarem). C: Ponto 1 (próximo a foz, com rochas aflorantes).

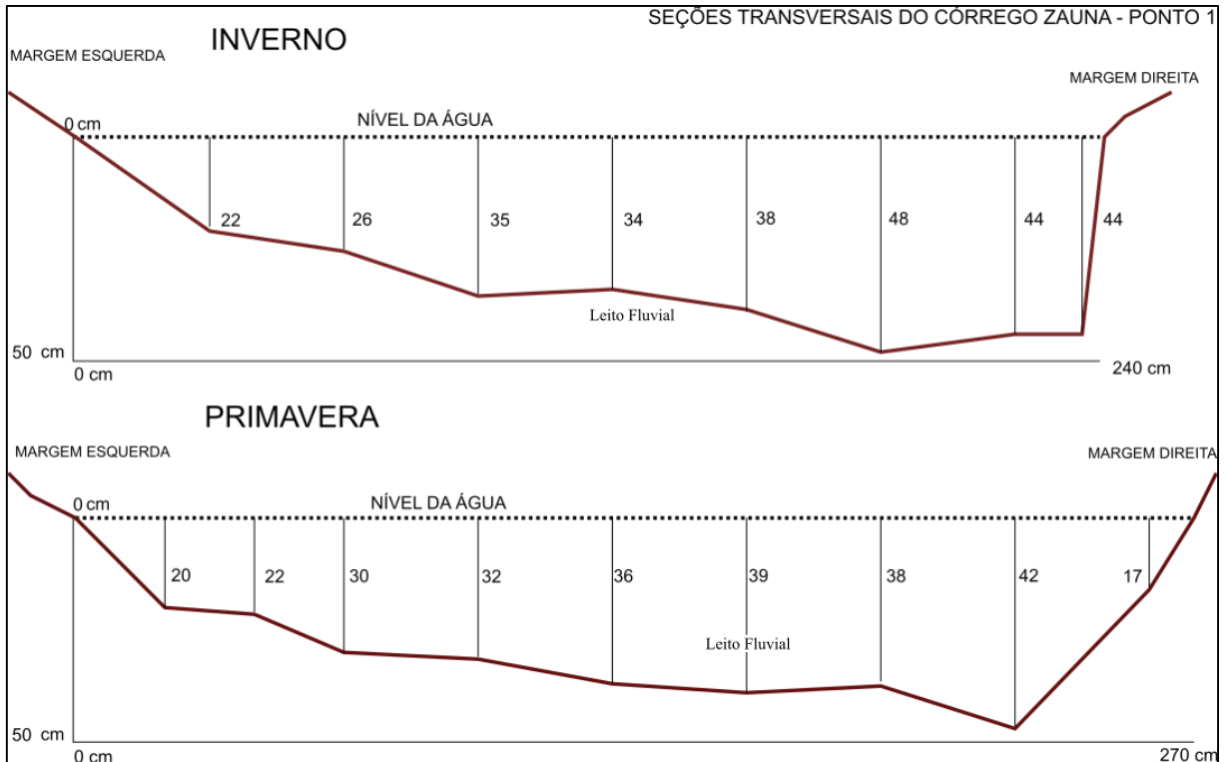


As seções do córrego, representadas a seguir (Figuras 37 - 40), foram realizadas durante as datas de coletas de amostras de água, visto sua importância para o cálculo de vazão e suporte para dados de hidrossedimentos.

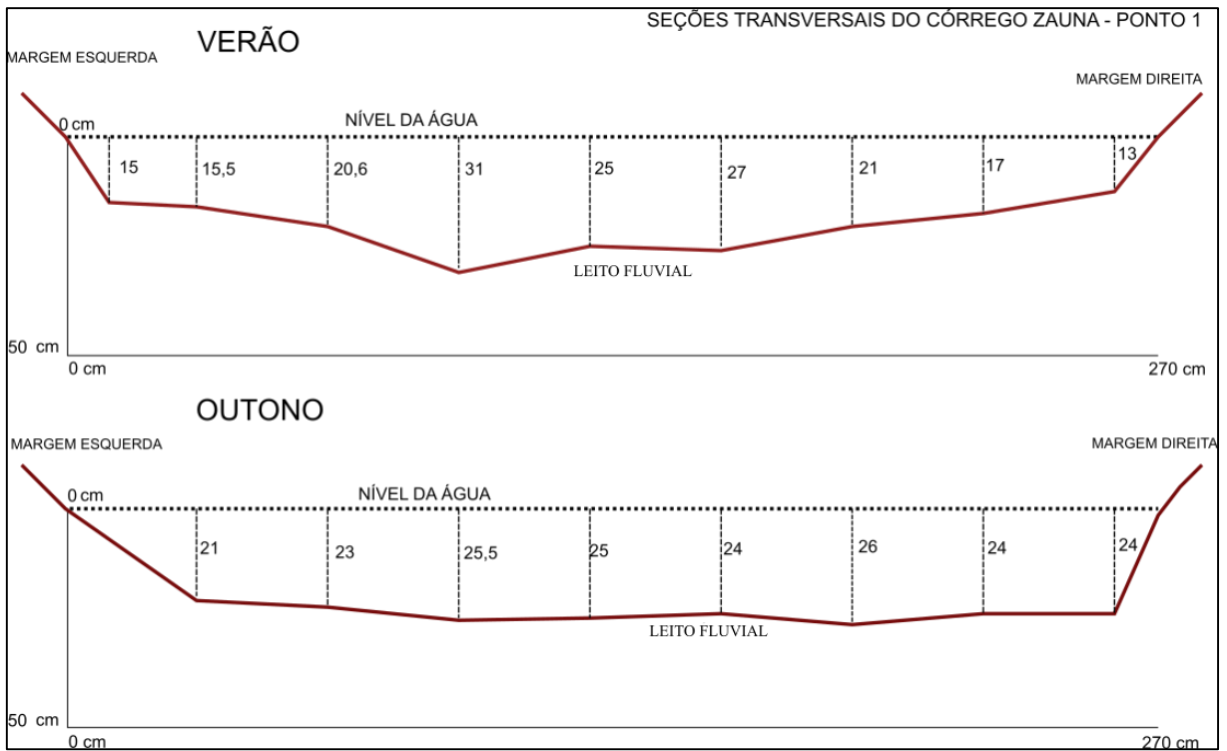
Os sedimentos de fundo do leito não foram quantificados, uma vez que o foco eram as partículas mais finas geradas por erosão laminar, encontradas em suspensão no curso de água. Porém, mesmo não sendo o foco, pode-se analisar a partir das seções transversais dos pontos de coleta (Figuras 37 – 40) que a maior diferença de profundidade nos períodos estudados se apresentou no Ponto 1, entre os períodos de inverno/primavera e verão/outono, quando analisada a profundidade próxima a margem direita do córrego Zauna. O Ponto 2 não apresentou diferenças significantes em relação à profundidade, já que é um estudo sobre um pequeno córrego, onde sedimentos são transportados e depositados a todo momento dependendo de sua vazão atuante.



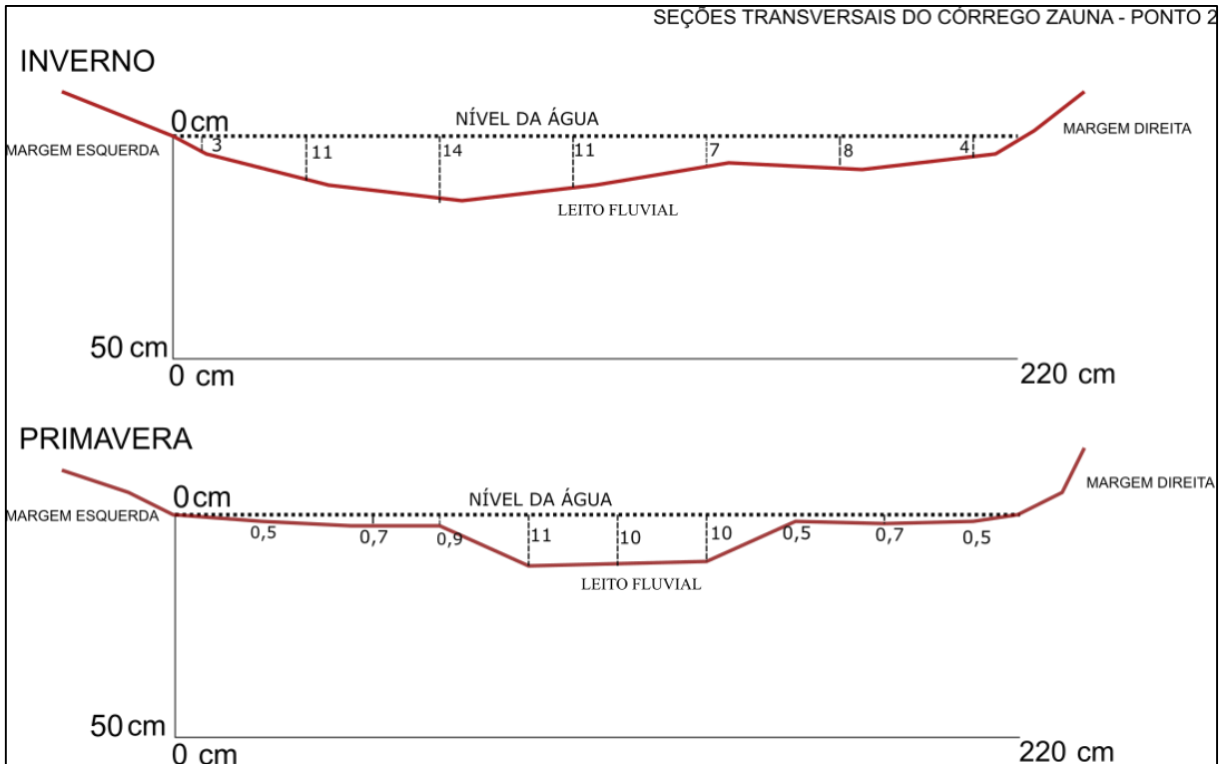
**Figura 37:** Seções do Ponto 1 (próximo à foz) do córrego Zauna, no período de inverno e primavera, onde foram realizadas as coletas de água.



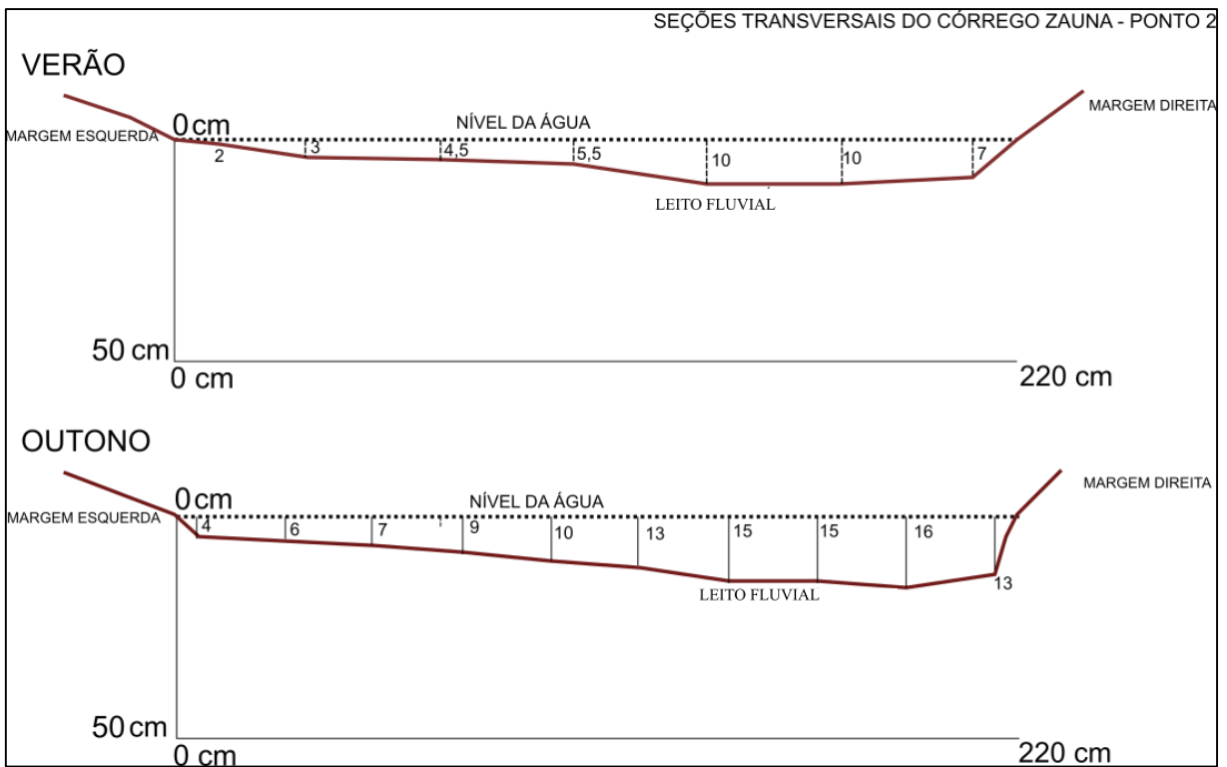
**Figura 38:** Seções do Ponto 1 (próximo à foz) do córrego Zauna, no período de verão e outono, onde foram realizadas as coletas de água.



**Figura 39:** Seções do Ponto 2 (próximo a nascente) do córrego Zauna, no período de inverno e primavera, onde foram realizadas as coletas de água.



**Figura 40:** Seções do Ponto 2 (próximo a nascente) do córrego Zauna, no período de verão e outono, onde foram realizadas as coletas de água.



Os resultados foram organizados em gráficos dos valores dos sólidos suspensos, dissolvidos, totais e vazão de água. Depois dos gráficos, os valores dos sedimentos estão apresentados em forma de quadro, já com os resultados médios das triplicatas.

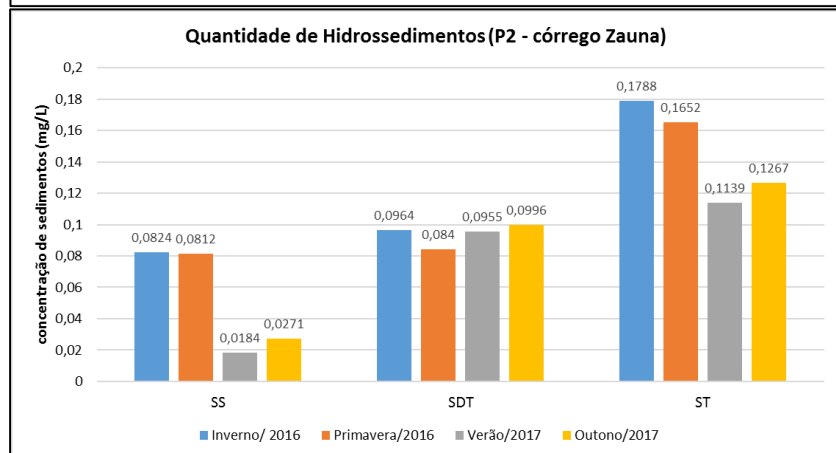
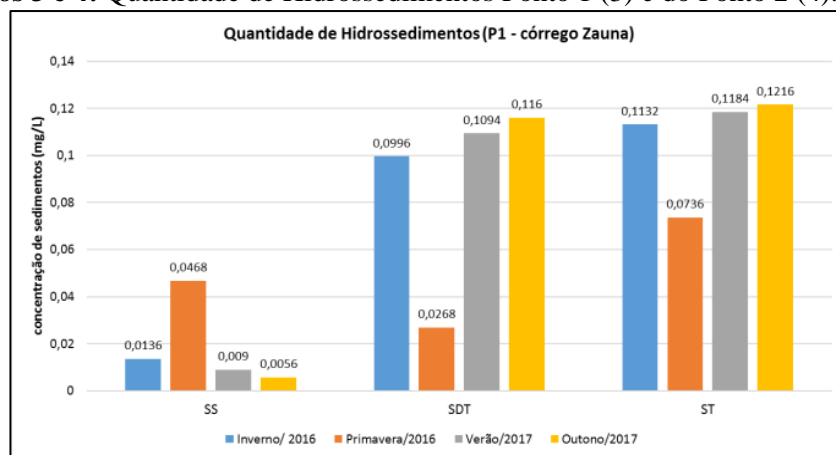
Para os sólidos suspensos foram utilizados 500 ml de amostra e, para os sólidos totais, 250 ml. Com conversão de valores e regra de três, foram transformados os valores de SS e ST para 1L, podendo-se retirar, com a equação 15, os sólidos dissolvidos totais.

Para o Ponto 1, os resultados foram os seguintes, de acordo com o Quadro 13 e Gráfico 3, ambos com os valores de hidrossedimentos em mg/L.

**Quadro 13:** Dados de Hidrossedimentos e vazão do Ponto 1 no córrego Zauna.

PONTO 1	Inverno/ 2016	Primavera/2016	Verão/2017	Outono/2017
SS	0,0136	0,0468	0,009	0,0056
SDT	0,0996	0,0268	0,1094	0,116
ST	0,1132	0,0736	0,1184	0,1216
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	0,057	0,016	0,117	0,206

**Gráficos 3 e 4:** Quantidade de Hidrossedimentos Ponto 1 (3) e do Ponto 2 (4).



No Ponto 2, também foram utilizadas as mesmas formas de conversão de valores e multiplicação. Assim, os valores estão representados no Quadro 14 e Gráfico 4:

**Quadro 14:** Dados de vazão do Ponto 2 no córrego Zauna.

	Inverno/ 2016	Primavera/2016	Verão/2017	Outono/2017
SS	0,0824	0,0812	0,0184	0,0271
SDT	0,0964	0,084	0,0955	0,0996
ST	0,1788	0,1652	0,1139	0,1267
Vazão (m <sup>3</sup> /s)	1,477	0,425	0,418	1,916

As séries de monitoramento no Ponto 1 demonstram que a quantidade de SS diminuiu nas estações de verão e outono, já os ST aumentaram nesse mesmo período, e da mesma forma os SDT. Pode-se demonstrar que os sedimentos suspensos nem sempre são a maioria das partículas encontradas nos córregos.

O monitoramento do Ponto 2, mais a montante do córrego, apresentou valores maiores de SS nas estações de inverno e primavera, semelhantemente aos valores de ST. Nos resultados de SDT não houve grandes diferenças entre os valores.

Em ambos os pontos, o maior valor de vazão encontrado foi no período do outono de 2017, com 0,206 m<sup>3</sup>/s no Ponto 1 e 1,916 m<sup>3</sup>/s no Ponto 2. A dinâmica do córrego Zauna, analisando os resultados de SS, ST e SD, foi de quanto maior a vazão, menor a quantidade de sólidos suspensos em ambos os pontos de coleta. No entanto, os ST e SDT se comportaram de maneira diferente no Ponto 1 e 2 em relação à vazão calculada. Os ST e SDT aumentaram junto à vazão no Ponto 1. No Ponto 2, os ST diminuíram em relação à vazão e os SDT não apresentaram valores significativos para estabelecer uma relação.

A vazão e a quantidade de sólidos analisados são constantemente alteradas seguindo a dinâmica do córrego Zauna. Por ser um curso de água de primeira ordem, essa dinâmica temporal é curta, transportando e depositando sedimentos com um padrão que só é possível quantificar com ferramentas específicas e de alto custo.

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, Art ° 4, a bacia hidrográfica do córrego Zauna se classifica na Classe 2, de águas destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças e afins, além de aquicultura e atividade de pesca. O máximo de sedimentos dissolvidos totais que se pode encontrar na água, segundo o Art ° 16 da norma, é de 500 mg/L.

Não houve também desconformidades em relação a resolução do CONAMA 357, pois os valores para sólidos suspensos não apresentaram maiores que 500 mg/L.

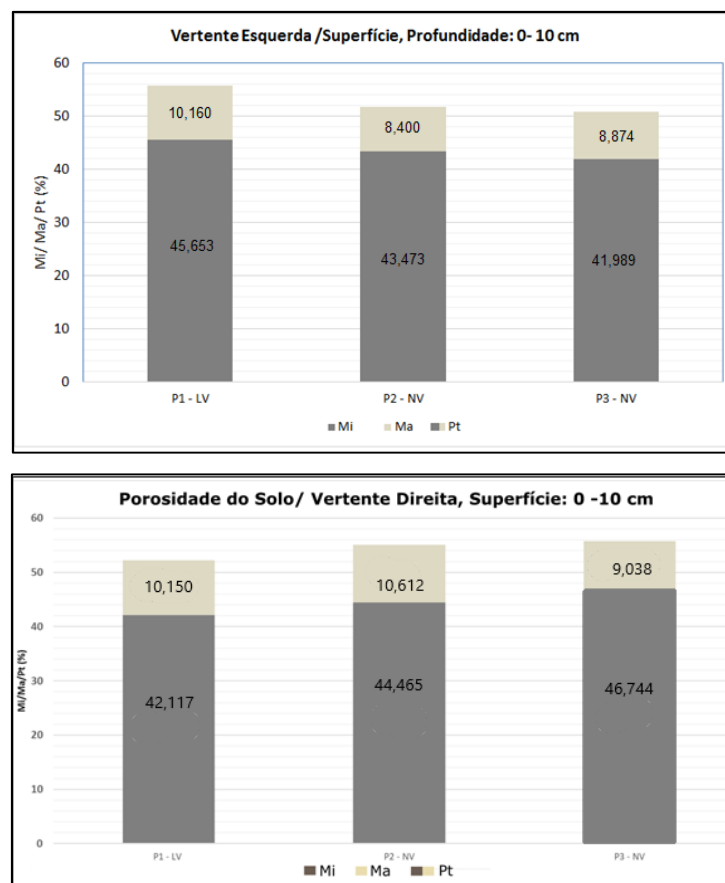
### 5.9. Porosidade do Solo

Nos gráficos a seguir estão dispostos os dados de Microporosidade, Macroporosidade e Porosidade total, separadamente da margem esquerda com os pontos P1, P2 e P3 (Gráfico 5), e o da margem direita com os Pontos P4, P5 e P6 (Gráfico 6). Os Pontos 1 e 2 são localizados em solos do tipo Latossolo Vermelho textura argilosa e os 2, 3, 4 e 5 em Nitossolo Vermelho textura argilosa.

Ressalta-se que no momento de coleta dos solos na bacia hidrográfica do córrego Zauna, principalmente o NVa apresentou fissuras e torrões compactados, mesmo em superfície entre 0 – 20 cm.

Os valores obtidos se mostraram aproximados a macroporosidade de 10%, microporosidade entre 40-45% e porosidade total entre 40 – 50%.

**Gráfico 5 e 6:** Porosidade da vertente Esquerda e Direta da bacia hidrográfica do córrego Zauna.



Os valores representados nos gráficos evidenciam uma menor macroporosidade do solo na vertente esquerda, com 10,16% no Ponto 1, 8,4 % no Ponto 2 e 8,74% no Ponto 3. Já na vertente direita, os valores de macroporos se apresentaram entre 9 e 10 %. Os microporos não

mostraram grande diferença entre as coletas, ficando entre 41% no Ponto 3 da vertente esquerda e 46% do Ponto 3 da vertente direita. A maior porosidade total foi encontrada no Ponto 1 da vertente esquerda, como representam os Quadros 15 e 16. A densidade do solo obteve maior valor no Ponto 2 da vertente Direita, com 1,406%, o restante se encontrou com valores próximos à 1,3%.

**Quadro 15:** Valores de Porosidade da Vertente Esquerda da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Médias	Mi	Ma	Pt	Ds
P1 - LV	45,653	10,160	55,813	1,328
P2 - NV	43,473	8,400	51,872	1,388
P3 - NV	41,989	8,874	50,863	1,365

**Quadro 16:** Valores de Porosidade da Vertente Direita da bacia hidrográfica do córrego Zauna.

Médias	Mi	Ma	Pt	Ds
P1 - LV	42,117	10,150	52,267	1,374
P2 - NV	44,465	10,612	55,077	1,406
P3 - NV	46,744	9,038	55,782	1,300

A densidade do solo apresentou valores conformes em todos os pontos coletados, próximo ao valor de 1,300.

Observa-se, então, que não houve grandes diferenças de porosidade e densidade do solo em relação à classe de solo dos pontos coletados (LVa e NVa). A possível causa seria a mesma textura argilosa na camada superficial do mesmo.

Segundo Rosseti et al. (2013) e Marcatto (2015), o maior valor de densidade do solo ocorre em áreas de solo cultivados sob culturas agrícolas quando comparados à áreas florestais. A pesquisa de Marcatto (2015) apresentou resultados de 0,737 g.cm<sup>3</sup> para os LV em áreas de floresta e NV de 0,812 g.cm<sup>3</sup> e para áreas de culturas de grãos, LV de 1,567 g.cm<sup>3</sup> e NV de 1,394 g.cm<sup>3</sup>. Em comparação aos resultados apresentados nas análises da bacia hidrográfica do córrego Zauna, a Ds do LV apresentou valores abaixo do esperado, já o NV se assemelhou com os valores das pesquisas citadas. O maior valor de Ds é resultado da compactação do terreno, influenciando diretamente na infiltração e escoamento superficial. Reicherd et al., (2003) definiu que os valores críticos para Ds em LV textura argilosa e NV textura argilosa são entre, respectivamente, 1,4 e 1,6 g.cm<sup>3</sup> e 1,3 e 1,4 g.cm<sup>3</sup>.

Domingos (2009) caracterizou sistemas de manejo em terras agricultáveis na gleba Pinguin do ribeirão Floriano em Maringá-PR, além de suas influências nas propriedades do solo. Seus resultados mostraram que o cultivo de grãos sob sistema de plantio direto apresentou

maiores densidade nas profundidades superficiais do solo, todavia, a partir de 15 cm a densidade do solo se aproximou aos resultados de solos sob florestas. A classificação final da autora propõe que as maiores resistências do solo à penetração de água para profundidade até 10 cm são da pastagem e plantio convencional, seguido por plantio direto e cana.

Quanto maior a macroporosidade, maior seria a infiltração de água no solo. Como no geral, a mesma não se apresentou alta e, lembrando que as análises foram realizadas em superfície pelo trabalho focar em erosão laminar, pode-se concluir que as argilas presentes no solo diminuíram a existência de macroporos, diminuindo também o processo de infiltração.

Pequenos Sulcos estão em desenvolvimento nas baixas vertentes da bacia hidrográfica do córrego Zauna (Figura 39) causados por escoamento de água concentrado, desenvolvendo uma erosão linear perceptível. A EUPS, como já retratado, não calcula outras formas de erosão, estes, por sua vez, devem ser identificadas em campo dependendo do intuito da pesquisa.

**Figura 39:** Pequenos sulcos em estágio inicial. Localizadas na vertente direita do córrego Zauna, na baixa vertente. Data: Julho de 2016.



## 6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos e as metodologias aplicadas ratificam que o uso de técnicas de Geoprocessamento para a análise, manuseio e espacialização de dados em ambientes SIG, são essenciais para estudos na área ambiental, e principalmente da Geografia. Foi possível realizar os resultados apresentados na pesquisa, como também inúmeros testes que necessitavam de melhorias e correções, a fim de encontrar resultados finais pertinentes.

Os trabalhos em campo foram, por sua vez, essenciais, possibilitando levantamentos e identificações de feições e características físicas e antrópicas que influenciaram na pesquisa.

As análises em laboratório, quando realizadas de forma adequada, apresentam dados fundamentais para estudos na Geografia Física.

Para a elaboração semi-automática do fator LS no Giusus-M em uma bacia hidrográfica de primeira ordem, foi primordial a digitalização de uma carta com curvas de nível de 5 metros, visto que o maior detalhamento auxilia o cálculo da EUPS.

Em relação à EUPS, os resultados obtidos, tanto sazonais, quanto anuais, apresentaram valores relativamente baixos, com a principal classe de perda de solos sendo de 0 -3 ton. De acordo com outras pesquisas já citadas, levando em consideração a proporção de tamanho das áreas estudadas.

Os baixos valores apresentados nas EUPS geradas se devem, principalmente, a dois fatores. O primeiro, já apresentado na hipótese do trabalho e comprovado com os resultados, é o fator topográfico (LS), visto que nas áreas mais planas, na alta vertente da bacia hidrográfica, são os locais onde houve a menor frequência de classes acima de 0-3 ton. O outro fator com maior influência na perda de solos é o fator vegetação, representado pelo uso e ocupação do solo (C), comparando-se as EUPS anuais de vegetação majoritariamente coberta e de solo exposto, sem diferença de nenhum dos outros fatores, a espacialização e frequência das classes de maior valor, como a maior que 50, aumentou demasiadamente.

No que se refere ao *Giusus-M*, o *add-in* não oferece a opção de utilizar *shapefiles* ou *raster* com tabelas de atributos manuais para o cálculo do fator C, oferecendo apenas a opção de *NDVI* via sensoriamento remoto. O que no início era um provável problema, no fim se deu como uma prática forma de cálculo. Tal fato só é possível se a resolução da imagem utilizada estiver de acordo com a escala de trabalho, como no caso, no qual com o uso do Sentinel-2 e resolução de 15 metros, foram obtidos resultados satisfatórios.



Os valores obtidos nas EUPS sazonais confirmam uma maior perda de solos nas estações de primavera e verão. A primeira apresentando valores somados das classes 50 e maior que 50 mais de 15% da área da bacia hidrográfica, a segunda apresentando a soma de aproximadamente 7%. Em contraste, as estações de inverno e outono apresentaram a soma das duas classes, respectivamente, de aproximadamente 0,5% e 1%.

O *add-in Giusus-M* proporcionou facilidade no manuseio de dados vetoriais e matriciais, porém se faz necessário um conhecimento intermediário em Geoprocessamento para obter tais dados no SIG *Arcgis*, visto que os procedimentos requerem testes e prática.

Um dos objetivos do trabalho era utilizar a razão de produção de sedimentos – RPS para quantificar a perda de solos que deixa o exutório da bacia hidrográfica e quanto permanece retido no interior da bacia. Durante as pesquisas de gabinete, foi verificado que o RAS – razão de aporte de sedimentos e o SDR – *Sediment Delivery Ratio*, ou traduzindo, Taxa de Transferência de Sedimentos, são a mesma metodologia, sendo que a nomenclatura é alterada por alguns autores.

Entre todos os procedimentos da RPS utilizados, foi escolhida a metodologia de 1975 como mais precisa, pela diferença com a média ser de 0,044. Já o valor com maior diferença à média foi a de (1977), extrapolando valores e excluía posteriormente do próprio cálculo de médias.

Considerando que a premissa de que apenas 1/3 dos sedimentos produzidos por uma bacia hidrográfica são transportados além do exutório, a RPS estimou que 72,82% dos sedimentos da bacia hidrográfica do córrego Zauna não são transportados para além do exutório, sendo retidos em seu interior, concluindo que apenas 27,18% dos sedimentos são carregados para o ribeirão Sarandi.

Com base nos dados das EUPS e da RPS, é justificado, então, os baixos valores apresentados pelas análises de hidrossedimentos, nos quais as maiores contagens atingiram 0,0468 mg/L para Sólidos Suspensos (primavera), 0,116 mg/L para Sólidos Dissolvidos (outono) e 0,1216 mg/L para Sólidos Totais (outono).

A porosidade do solo foi praticamente uniforme em toda a bacia hidrográfica, já que a mesma possui um uso do solo semelhante em toda sua extensão.

Apesar da existência de pequenos sulcos erosivos nas baixas vertentes, tais processos não interferem na quantidade de perda de solos da escala de análise utilizada no trabalho.

As aplicações metodológicas minuciosas em escalas de análise de bacias hidrográficas de primeira ordem se mostrou importante, dado que qualquer característica física de uma área pode interferir na dinâmica natural do local. Quanto mais detalhada for a pesquisa, melhor

poderá ser o planejamento ambiental da área estudada, assegurando qualidade ambiental para a atual e futuras gerações.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E., Silva, C., Cossich, E., Tavares, C., Filho, E., & Carniel, A. (2008). Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó - Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. *Acta Sci. Technol.*, 39-48, v.30.n.1.

Ananda, J., & Herath, G. (2003). Soil erosion in developing countries: a socio-economic appraisal. *Journal of environmental management*, 68, pp. 343-353.

APHA. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health association, Washington, D. C.

Araújo, G., Almeida, J., & Guerra, A. (2014). Gestão ambiental de áreas degradadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.

Asce. (1970). Task committee on preparation of manual on sedimentation. Sedimentation engineering, chapter IV: Sediment sources and sediment yields. *Journal of the hydraulics division, american society of civil engineering*, 96: 1283-1329.

Bertoni, J., & Lombardi Neto, F. (1991). Conservação do Solo. 2ª Edição. São Paulo: Ícone.

Bertoni, J., & Lombardi, F. (1985). Conservação do solo. Piracicaba: Livroceres.

Bigarella, J., & Mazuchowski, J. (1985). Visão integrada da problemática da erosão. *Simpósio nacional de controle da erosão*, p. 332.

Bonifácio, C. M. (Pós Graduação em Geografia de Universidade Estadual de Maringá de 2013). Avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas do alto vale do rio Pirapó, norte do Paraná: Proposta metodológica. Dissertação, p. 109 f.

Bouyoucos, G. (1935). The clay ratio as a criterion of susceptibility of soils to erosion. *Journal of the american society of agronomy*.

BRASIL. (7 de Dezembro de 2004). Decreto nº 5.300. Lei nº 7661. Brasília, DF: Diário Oficial da República.

BRASIL, & CONAMA. (s.d.). Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Browning, G. M.; Parish, C. L.; Glass, J. (1947). A method for determining the use and limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. *J. Am. Soc. Agron.*, 39 (1), p. 65-73.

Campagnoli, F. (2006). The production of the sediment of the South America continent: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.7, n.1.

Carvalho, N. O. (1994). Hidrossedimentologia Prática. Rio de Janeiro.

- Carvalho, N. O. (2008). Hidrossedimentologia Prática. 2ª Edição. Rio de Janeiro.
- Casseti, V. (2005). Geomorfologia. Disponível em: <funape.org.br/geomorfologia/.
- CAVIGLIONE, J. H., KIIHL, L. R., CARAMORI, P. H., & OLIVEIRA, D. ( Londrina : IAPAR, 2000. CD). Cartas climáticas do Paraná. .
- Chaves, H. (2010). RELAÇÕES DE APORTE DE SEDIMENTO E IMPLICAÇÕES DE SUA UTILIZAÇÃO NO PAGAMENTO POR SERVIÇO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. Revista Brasileira de ciencia do solo, 1469-1477.
- Chen, X., Lupi, F., He, G., & Liu, J. (2009). Linking social norms to efficient conservation investment in payments for ecosystem services. 106:11812-11817: PNAS.
- Christofoletti, A. (1981). Geomorfologia Fluvial: Volume I - O canal fluvial. Rio Claro: Edgard Blucher Ltda.
- Christofoletti, A. (1981). Geomorfologia fluvial: O canal fluvial. 3ª Edição. São Paulo: Editora Blucher.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2011). Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. Org: Carlos Jesus Brandão et al. Brasília: CETESB; ANA.
- Corrêa, C., & Dedeczek, R. (2009). Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. Floresta. v.39; n.2, 381-391.
- Cunha, J. E.; Castro, S.S., Salomão. F. X. T. (1999). Comportamento erosivo de um sistema pedológico de Umuarama, Noroeste do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.. 23, n. 4, pp. 943-951.
- Dedeczek, R. (1988). Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de cerrados. Brasília. 23(12):1431-1438.: Pesquisa agropecuária brasileira .
- Domingos, M. (2009). Sistemas de manejo em terras agricultáveis da Gleba Pinguim-Ribeirão Floriano (Maringá/PR) e suas influências nas propriedades do solo. Dissertação de Mestrado. Maringá, PR: Pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá.
- Durigon, V. L.; Carvalho, D. F.; Antunes, M. A. H.; Oliveira P. T. S.; Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring rusle cover management fator in a tropical watershed. International Journal of remote sensing.
- EMATER (1988). Mapa pedológico do Município de Maringá. Governo do Estado do Paraná.
- EMBRAPA, C. (1997). Manual de métodos de análise de solo. Centro nacional de pesquisa de solos. Rio de Janeiro, p.212: EMBRAPA-CNPQ.
- EMBRAPA, C. (2008). Centro nacional de pesquisas de solos. Mapa de solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: Embrapa Solos e florestas.

EMBRAPA (2013). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 3ª Edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA Informação Tecnológica.

Ellison, W. D. (1948). Soil detachment by water in erosion processes. *Earth e Space Science News*. P.499-502.

Ferreira, J. H. (2000). Relação de parâmetros meteorológicos do Estado do Paraná associados com índice da oscilação Sul. Dissertação de mestrado. UEM.

Floriano, E. (s.d.). Planejamento Ambiental. Caderno Didático n.6, 1ª ed. Santa Rosa, 2004. 54 p.

Freire, R., Abreu, M., Bonifácio, C.M., Silveira, H., & Tavares, C. (2011). Caracterização dos atributos morfológicos, físicos, químicos e classificação de um perfil de solo para estudo em parcela erosiva na bacia hidrográfica do Ribeirão Maringá - PR. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.

Fujaco, M., Leite, M., & Neves, A. (2016). A gis-based tool for estimating soil loss in agricultural river basins. *Geosciences. TEM: Int.Eng.J. Ouro Preto*, 417-424.

Globe, D. (2017). Imagem de satélite, córrego Zauna. Google Earth.

Gomez, J. (2012). Estimativa de erosão pela equação universal de perda de solo e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro. Dissertação de mestrado. Piracicaba, SP: USP.

Guedes, J. (2001). Avaliação das perdas mensais de solo no alto curso da bacia do rio Aquidauana - MS. Dissertação de Mestrado. Curitiba, PR: Universidade Federal do Paraná.

Henklain, J. C. (1980). Erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná: Aplicabilidade do Método Nomográfico. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura USP. Piracicaba – SP.

Hiera, M. D.; Filho, E. E. S.; Borsato, V. A. (2012). A influencia do El nino e La nina na temperatura de Maringá-PR. *Revista Geonorte, Edição especial 2,v.2, n.5, p.41 – 51*.

Holeman, J. (1968) The sediment yield of major rivers of the world. *Water Resources Researcj*, 4(3): 737-747.

Hudson, N. (1977). Soil conservation. Cornell university press: 320p.

Hsieh, S. C. (1984). Importance OF Getting rural development into sequence. *Journal The World Economy*. V.7, i. 4, pp. 435-442.

IBGE, I. B. (2007). Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: 2ª Edição.

Junior, H. (2015). Taxa de entrega de sedimentos da bacia do Riacho Exu - Semiárido Pernambucano. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pernambuco.

Kale, G., & Vadsola, S. (2012). Modelling of soil erosion by non conventional methods. *World academy os science, engineering and technology*, vol.6, n.3, 139-147.

- Keesstra, S., Bouma, J., Wallinga, P., Tittonell, P., Smith, A., Cerda, L., . . . Fresco, L. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the united nations sustainable development goals. *Soil* 2, 111-128.
- Khanbilvardi, R., & Rogowski, A. (1984). Mathematical model of erosion and deposition on a watershed . Nebraska: International information system for the agricultural science and technology.
- Kinnell, P. I. (2007). Runoff dependent erosivity and slope length factors suitable for modelling annual erosion using the universal soil loss equation. *Hydrological processes*. 21., 2681-2689.
- Koppen, W. (1948). *Climatologia. Com um estudio de los climas de la tierra*. Londrina: In:IAPAR. Cartas Climáticas Básicas do Estado do Paraná.
- LAL, R. (1988). Erodibility and erosivity. In: LAL, R., ed. *Soil erosion research methods*. Ankeny: Soil and water conservation society.
- LAL, R. (1994). Sustainable land use systems and soil resilience. Greeland, D.J., SZABOLCS, I. (Eds.), pp. 41-67.
- Lencastre, A., & Franco, F. (1984). *Lições de Hidrologia*. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa.
- Lepsch, I. F. (2010). *Formação e conservação do solo*. São Paulo: Oficina de textos.
- Lombardi Neto, F., & Bertoni, J. (Recife de 1980). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. Encontro nacional de pesquisa sobre conservação do solo, p. v. 3.
- Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W. C. (1980). Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre conservação do Solo, 3, Recife.
- Lu, H., Moran, C., Prosser, I., & Murugesu, S. (2001). Modelling sediment delivery Ratio Based on Physical Principles. *National land e water resource audit*.
- Lu, H.; Moran, C.; Prosser, I. P. (2006). Modeling sediment delivery ratio over the Murray Darling basin. *Environ. Modelling Software*, 21:1297-1308.
- Lubenow, A. (2012). Impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Nhapindazal, Irati (PR). *Ambiência*, 845-858.
- Maack, R. (1968). *Geografia Física do Estado do Paraná*. Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, UFPR, Curitiba: Inst...PR.
- Mamede, G. L. Modelagem hidrossedimentológica com vistas a cenários de mudança global. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de concentração Recursos Hídricos) Universidade Federal do Ceará. 2002. 90 p.

Maner, S. (1958). Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. *Trans. Am.Geoph.Union*, v.39,p.669-675.

Mangueira, C. G.; Goudard, G.; Santos, L. (2016). Evolução de processos erosivos e a erosividade das chuvas no Noroeste do Paraná. *XI SINAGEO*.

Mannigel, A., Carvalho, M., Moreti, D., & Medeiros, L. (2002). Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum, Maringá*. v.24,n.5,p 1335-1340.

Marcatto, F. S. (2016). O efeito do uso e manejo nas propriedades físicas e hídricas dos solos da bacia hidrográfica do rio Pirapó - PR. Maringá, PR: Programa de pós-graduação em Geografia. UEM.

Marcatto, F., & Silveira, H. (2014). Avaliação preliminar da qualidade física das principais classes de solos e subsídios para a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Pirapó - PR. *VI Converso Iberoamericano de Estudios Territoriales y Ambientales, São Paulo*.

Marioti, J.; Bertol, I.; Ramos, J.; Werner, R.; Padilha, J.; Bandeira, D. (2003). Erosão hídrica em semeadura direta de milho e soja nas direções da pendente e em contorno ao declive, comparada ao solo sem cultivo e descoberto. *Revista brasileira de ciência do solo*, 37: 1361-1371.

Marques, J., Alvarenga, R., Curi, N., Santana, D., & Silva, M. (1997). Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados - primeira aproximação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 21:427-434.

McCool, D., Foster, G., Mutchler, C., & Meyer, L. (1989). Revised slope length factor for the universal soil loss. *Trans.ASAE*, 1571-1576. vol.32(5).

Meteorologia, I. -I. (2017). Precipitações diárias, 2016 a 2017. Brasília.

MINEROPAR. (2001). Atlas geológico do estado do Paraná. Curitiba: Governo do Estado do Paraná - Secretaria da indústria do comércio e do turismo.

MINEROPAR. (2006). Atlas geomorfológico do Estado do Paraná – Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.00. Curitiba: Governo do Estado do Paraná – Secretaria da Indústria e do Turismo. 63 p.

Mondardo, A., Henklain, J., Farias, G., Rufino, R., Jucksch, I., & Vieira, M. (1977). Controle da erosão no estado do Paraná. Londrina: Fundação Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR.

Moore, I., Grayson, R., & Landson, A. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*. vol.5, 3-30.

Moreira, M. A. (2005). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3ª Edição. Editora: UFV, p.320.

Morgan, R. P. (2005). Soil erosion and conservation. EUA: Blackwell Science Ltd.

Mtakwa, P., Lal, R., & Sharma, R. (1987). An evaluation of the universal soil loss equation and field techniques for assessing soil erosion on a tropical alfisol in western nigeria. Hydrological processes. vol 1, 199-209.

Nakashima, M. S. R. (2001). Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos. Revista Technology Acta Scientiarum.

Nakashima, P., & Nóbrega, M. (2003). Os solos do Terceiro Planalto Paranaense. Encontro geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense, p. Maringá.

Napoleão, R., & Mattos, J. (15 de Curitiba de 2011). O uso de geotecnologias como subsídio à gestão dos recursos hídricos: o zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Capivari (SP). Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 4744-4741.

Oldeman, L. .. (February de 1997). The assessment of the status of human induced soil degradation in South and southeast Asia. International soil reference and information centre. Wageningen.

Oldeman, L. R. (1991-1992). Global extent of soil degradation. 19-36. AJ Wageningen. The Netherlands.

Oliveira, J., Dominguez, J., Nearing, M., & Oliveira, P. (2015). A GIS-Based procedure for automatically calculating soil loss from the universal soil loss equation:Gisus-M. American society of agricultural and biological engineers, 907-917. vol.31(6).

Paiva, J., Chaudhry, F., & Reis, L. (2004). Monitoramento de bacias hidrográficas e processamento de dados. São Carlos: RiMa, v.1. 326p.

Paiva, J.; Paiva, E. (2003). hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH.

Petsch, C., & Monteiro, J. (2012). A colonização do norte central Paranaense e a comunidade de Sussuí. Caminhos da Geografia, 332-341.

Petsch, C.; Santos, M. (2015). Análise comparativa entre métodos de estimativas de perda de solos, o caso do Ribeirão Morangueira – PR. V. 33, n.1.

Pinese, P., & Nardy, R. (2003). Contexto geológico da Formação Serra Geral no Terceiro Planalto Paranaense. Encontro geotécnico do Terceiro Planalto Paranaense.

Pinto, N. (1976). Hidrologia Básica. São Paulo: Blucher.

Poleto, C.; Merten, G. H. (2006). Qualidade dos sedimentos. Ediotira: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

Prado, J. P.; Nóbrega, M. T. (2005). Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Revista Acta Scientiarum. V.27, n.1.



Maringá (PR). Prefeitura. (2013). Disponível em: <http://www2.maringa.pr.gov.br>. Acesso em: maio de 2017.

Rao, E., Xiao, Y., Ouyang, Z., & Yu, X. (2015). National assessment of soil erosion and its spatial patterns in China. *Ecosystem health and sustainability*.

Reichert, J., Reinert, D., & Braida, J. (2003). Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v. 27, 29 - 48.

Reichert, J., Suzuki, L., & Reinert, D. (2007). Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos Ciência do Solo*, v. 5, 49 - 134.

Renfro, G. W. (1975). "Use of erosion equations and sediment delivery ratios for predicting sediment yield". In *Present and Prospective technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, Agricultural Resources Services, ARS-S-40, US Dept. Agric., Washington, D.C., p. 33-45.

Risso, A., Reis, L., Paz, A., & Lima, H. (2005). Estimativa da produção de sedimentos de forma distribuída usando a equação universal de perdas de solo (EUPS) e geoprocessamento: aplicação na bacia do Lago Guaíba(RS). XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRh.

Rocha, J., Lombardi Neto, F., & Bacellar, A. (1997). Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em Sistemas de Informação Geográfica. In: *Simpósio nacional de Controle de Erosão*, pp. 421-422.

Roderjan, C., Galvão, F., Kuniyoshi, Y., & Hatschbach, G. (2002). As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná, Brasil. *Ciência e ambiente*, 42-75.

Roehl, J. (1962). Sediment source areas, delivery ratios, and influencing morphological factors. *IAHS*, 202-213. n.59.

Rosseti, K., Centurion, J., & Souza Neto, E. (2013). Physical quality of na Oxisol after different periods of management systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, 1522-1534.

Rufino, R.; Biscainam R.; Merten, G. (1993). Determinação do potencial erosivo da chuva no Estado do Paraná, através de pluviometria: terceira aproximação. *Revistas Brasileira de Ciência do Solo*. p.439 -444.

Sala, M. (2014). Unidades Geoambientais da margem esquerda da planície aluvial do Rio Ivaí-PR. Tese de Doutorado. Maringá, Paraná: Universidade Estadual de Maringá.

Santos, J., Andrade, E., Medeiros, P., Palácio, H., & Neto, J. (2017). Razão de aporte de sedimentos em pequena bacia hidrográfica semiárida em condições de baixa conectividade. *Revista Ciência Agronômica*, 49-58.

Santos, L. J. (2006). Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 3 - 12.

Schneider, R., Freire, R., Sala, C., Soares, E., & Soares, P. (2011). Estudo da influência do uso e ocupação de solo na qualidade de água de dois córregos da Bacia hidrográfica do rio Pirapó. *Acta Scientiarum Technology*, pp. vol. 33, núm 3, pp. 295 - 303.

SEAB – Secretaria da agricultura e Abastecimento. (1994). Manual de uso, manejo e conservação do solo e água. Projeto conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2ª Edição. Florianópolis, 384p.

Silva, V. (2008). Análise de perda de solo, utilizando o modelo (RUSLE) revised universal soil loss equation, aplicado com auxílio das técnicas de geoprocessamento na bacia do ribeirão Reis, Maringá -PR. Dissertação de mestrado. Florianópolis, SC: Programa de pós graduação em Geografia. UFSC.

Silva, R., Paiva, F., Montenegro Suzana, & Santos, C. (2009). Aplicação de equações de razão de transferência de sedimentos na bacia do rio Gameleira com suporte de sistemas de informação Geográfica. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

Souza, V. (2010). Estimativa de perda de solo por erosão laminar na bacia do córrego Pinhalzinho II com suporte de geoprocessamento. Dissertação de mestrado. Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá .

Smith, D.D. (1941). Interpretation of soil conservation data for field use. *Agricultural Engineering*, st. Joseph. 22: 173-175.

Spinelli, M., Carvalho, R., Silva, H., Brandão, S., & Frutuoso, M. (2016). Estudo sustentável da capacidade de carga antrópica e sua influência no ponto de equilíbrio da resiliência ambiental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 185 - 199.

Strahler, A. (1952). Hipsometric (areal altitude) analysis of erosional topography. *Geol. Soc. Am.bull.* p. 1117-1142.

Tarelho Júnior, O., Bonifácio, C.M., & Tavares, C.R.G. (2013). Monitoramento da qualidade da água nas bacias do Paranapanema II e IV: parâmetros físicos. IX fórum ambiental da alta paulista (pp. 378-391). Tupã: ANAP.

Teixeira, W. (2009). Decifrando a terra. Brasil: IBEP nacional.

Terassi, P. M. B.; Silveira, H. (2013). Aplicação de sistemas de classificação climática para a bacia hidrográfica do Rio Pirapó-PR. *Revista Formação*, UNESP.

Tomazoni, J., & Guimarães, E. (2005). A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão lamianr na bacia do Rio Jirau. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.57, n.3.

Trewarta, G. T. (1980). *An introduction to climate*. Nova York: McGraw-Hill.

Troeh, F. R. (1965). Landform equations fitted to countour maps. *American jornal of Science*, vol. 263, p. 616-627.

USDA (1979). "Universal standards for grade of American upland cotton". Washington: USDA, 1979.

USDA-NRCS (1983). "Channel evaluation Workshop". Ventura, California, November 14-18, 1983. Presented at U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center training session by Lyle J. Steffen, Geologist, Soil Conservation Service, Davis, CA. December 14, 1982.

Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. & Montanarella, L. (2000). Soil erosion risk assessment in Italy. European Soil Bureau, Joint Research Center of the European Commission. In press.

Vanoni, V. A. (1975). "Sedimentation Engineering". ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No.54. American Society of Civil Engineers, New York.

Velasco, G., Plizel, J., Coltri, P., Lima, A., & Filho, D. (2007). Aplicação do índice de vegetação NDVI em imagens de alta resolução no município de São Paulo e suas limitações. Revista da sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v.2, n. 3.

Vestena, L. (2008). Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem. Tese de Doutorado, 268.

Vitte, A., & Mello, J. (Rio Claro de Jun/Dez de 2007). Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogenese das vertentes: um balanço bibliográfico. Climatologia e estudos da paisagem, p. V. 2. n. 2. p. 107.

Walling, D.E. The sediment delivery problem. J. Hydrol., 65:209-237, 1983.

Wasson, R., Olive, L., & Rosewell, C. (1996). Rates of erosion and sediment transport in Australia. IAHS. vol. 236, 139-148.

Williams, J.R.; Berndt, H.D. (1977). "Sediment yield prediction based on watershed hydrology". American Society Agric. Eng. 20, pp. 1100 – 1104.

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook, 537, 58.

Wischmeier, W., Johnson, C., & Cross, B. (1971). A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil and water conservation, Ankeny, 26:189-193.

Zamuner, L., Nóbrega, M., & Martoni, A. (2002). A urbanização e o desencadeamento de processos erosivos em área de preservação ambiental na cidade de Maringá, Estado do Paraná. Acta Scientiarum, 1793-1800.

Zhang, H., Yang, Q., Li, R., Moore, D., He, P., Ritsema, C., & Geissen, V. (2013). Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. Compu.Geosci. 52, 177-188.

Zingg, A.W. (1950). Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. Agricultural Engineering, St. Joseph, Mich, 21: 59-64.