

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”**

**Instituto de Geociências e Ciências Exatas
*Campus Rio Claro***

ANTONIO APARECIDO COUTO JÚNIOR

**EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO
RIBEIRÃO CACHOEIRINHA, RIO CLARO (SP)**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Geociências e
Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano
Tomazini da Conceição

Rio Claro - SP

2016

ANTONIO APARECIDO COUTO JÚNIOR

**EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO
RIBEIRÃO CACHOEIRINHA, RIO CLARO (SP)**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Instituto de Geociências e Ciências
Exatas como requisito para a obtenção
do título de Mestre em Geociências e
Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição
(IGCE/UNESP - Rio Claro)

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha
(IGCE/UNESP - Rio Claro)

Dr. Alexandre Martins Fernandes
(FE/UNESP - Bauru)

Resultado final - APROVADO

Rio Claro, 7 de janeiro de 2016

551.302 Couto Júnior, Antonio Aparecido
C871e Erosão hídrica e transporte de sedimentos na bacia do
Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP) / Antonio Aparecido
Couto Júnior. - Rio Claro, 2016
90 f. : il., figs., tabs., fots., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

1. Erosão. 2. EUPS. 3. Planejamento ambiental. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Dr. Fabiano Tomazini da Conceição, pela paciência e disponibilidade nos momentos em que mais precisei, por compartilhar sua sabedoria e me tranquilizar em vários momentos de incerteza.

Ao Professor Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto, pelas valiosas orientações, por compartilhar sua sabedoria e pelas conversas descontraídas que tantas vezes alegraram meu cotidiano.

A Professora Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha, pela disponibilidade e pelas sugestões valiosas, sem as quais esse trabalho não teria o mesmo êxito. Minha admiração pelo seu profissionalismo é imensa.

Ao Dr. Alexandre Martins Fernandes, pelos conselhos, pelo esclarecimento de muitas dúvidas, pela cobrança (necessária ao crescimento) e pelo companheirismo diário.

A doutoranda Edvania Corrêa, pela amizade e pela ajuda de sempre.

A doutoranda Isabel Moraes, pelas frequentes dicas e por me fazer rir tantas vezes.

Ao doutorando Luís Pereira, cujos conselhos tornaram possível a superação de várias etapas dessa jornada. Além disso, pela disponibilidade e, sobretudo, pela amizade.

Ao Dr. Éder Spatti, por compartilhar sua sabedoria, seus conselhos e pelas boas conversas de sempre.

Aos funcionários do DEPLAN/IGCE/UNESP, todos vocês possuem um tijolo nessa construção.

Aos meus estimados amigos, pelos momentos de diversão que tornaram essa jornada mais leve e serena.

Aos meus pais, pelo que representam e por tudo que fizeram para que eu chegasse até esse momento.

A minha companheira Lívia, sem a qual todo o esforço não faria o menor sentido. Um mero agradecimento é pouco diante daquilo que você representa em minha vida.

Por fim, a **Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)** - processo nº 2014/02189-6, pela concessão de bolsa de estudos, quesito fundamental no desenvolvimento desta pesquisa.

EROSÃO HÍDRICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIBEIRÃO CACHOEIRINHA, RIO CLARO (SP)

RESUMO

Os processos erosivos são elementos essenciais para o conhecimento da evolução da paisagem continental. A ação desses processos resulta na degradação do solo, demandando a utilização de todas as ferramentas disponíveis para a avaliação dos mesmos. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar e comparar as taxas de erosão hídrica e transporte de sedimentos da bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP). Este trabalho foi conduzido considerando as seguintes etapas: caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia, avaliação da erosão hídrica pela EUPS e quantificação do transporte de sedimentos pelo método simplificado de Colby (1957). Os resultados obtidos indicaram perda de solo de $1,40 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, com a taxa de $0,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o ano de 2014. O transporte de sedimentos foi de $0,37 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para o mesmo ano, indicando que aproximadamente 41% do total de sedimento gerado pela erosão hídrica saiu efetivamente da bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Assim, os resultados podem servir como uma estratégia viável para estudos de perda de solo e transporte de sedimentos, visando à elaboração de material consistente como subsídio a uma abordagem de planejamento ambiental e gestão territorial.

Palavras-chave: EUPS; Transporte de sedimentos; Planejamento Ambiental.

WATER EROSION AND SEDIMENT TRANSPORT IN CACHOEIRINHA STREAM BASIN, RIO CLARO (SP)

ABSTRACT

The erosive processes are essential elements for understanding the evolution of continental landscape. The action of these processes results in soil degradation and demands the use of all the tools available for this evaluation. In this context this research aimed to evaluate and compare erosion rates and sediment transport of Cachoeirinha stream basin, Rio Claro (SP). This work was done considering the following steps: characterization of the physiographic features of the basin, assessment of water erosion by USLE and quantification of sediment transport by the simplified method of Colby (1957). The results indicated soil loss of 1,40 t.ha⁻¹.year⁻¹, with the rate of 0,9 t.ha⁻¹ for the year 2014. Already sediment transport was 0,37 t ha⁻¹.year⁻¹ for the same year, indicating that about 41% of sediment generated by water erosion effectively leaves the Cachoeirinha stream basin. Thus, the results can contribute to the understanding of hydrosedimentological dynamic in this area and serve as a viable strategy for studies of soil loss and sediment transport, aiming at developing consistent material for future researches about environmental planning and land management.

Keywords: USLE; Sediment transport; Environmental planning;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha (SP)	10
Figura 2. Precipitação mensal acumulada (1953-2013) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.	11
Figura 3. Extração e integração dos fatores contemplados pela EUPS	14
Figura 4. Etapas necessárias à quantificação do transporte de sedimentos.	14
Figura 5. Cartas topográficas que compõem a bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha.	15
Figura 6. Espacialização dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade (Fator R)	20
Figura 7. Mosaico composto pelas fotografias do aerolevante de 1995.....	24
Figura 8. Relação entre infiltração e deflúvio ao longo da vertente.....	25
Figura 9. Relação entre declividade e tipos de solo	25
Figura 10. Metodologia para obtenção do esboço fotopedológico com apoio de campo e extração do Fator K.	27
Figura 11. Localização do ponto de coleta das amostras	37
Figura 12. Secção fechada escolhida para as medições de vazão e coleta de amostras	38
Figura 13. Molinete fluviométrico Newton	38
Figura 14. Medição de vazão através do molinete fluviométrico Newton.....	39
Figura 15. Medição do STD através da Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS.....	40
Figura 16. Preparo das amostras para a medição do STS.	40
Figura 17. Medição do STS através do Espectrofotômetro Hach DR 2800.....	41
Figura 18. Hipsometria para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.....	42
Figura 19. Mapa de classes de declividade para a área de estudo.....	44
Figura 20. Erosividade da chuva (Fator R) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.	46
Figura 21. Unidades pedológicas presentes na bacia do Ribeirão Cachoeirinha.	47

Figura 22. Valores de K associados a cada unidade pedológica da bacia do Ribeirão Cachoeirinha ...	49
Figura 23. Fator Topográfico (LS) para bacia do Ribeirão Cachoeirinha.....	50
Figura 24. Composição falsa cor (IKONOS – PAN/MS) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.	52
Figura 25. Classes de uso da terra e cobertura vegetal natural para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	53
Figura 26. Práticas Conservacionistas (Fator P) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	55
Figura 27. Potencial Natural de Erosão (PNE) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	57
Figura 28. Uso e Manejo Permissível (UMP) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	59
Figura 29. Perde de solo por erosão laminar hídrica (A) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	61
Figura 30. Comparação entre a média histórica e a média mensal de precipitação em 2014.	63
Figura 31. Perde de solo por erosão laminar hídrica (A) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha em 2014.....	64
Figura 32. Variação das vazões observadas nas amostragens em 2014	67
Figura 33. Variação da média mensal de STD e STS	69
Figura 34. Total de sólidos transportados na soma das amostragens realizadas durante o ano de 2014	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Rotinas de verificação de regras topológicas	17
Tabela 2. Classes de declividade, tipos de relevo e restrição agrícola.....	18
Tabela 3. Localização dos postos pluviométricos e respectivos valores de erosividade	21
Tabela 4. Solos e valores de K.	26
Tabela 5. Classes e características dos alvos	30

Tabela 6. Classes temáticas de uso e valores de C	31
Tabela 7. Classificação do Potencial Natural de Erosão.	32
Tabela 8. Tipos de solo e respectivos valores de tolerância de perda (T)	33
Tabela 9. Classes de UMP e Grau de risco a erosão	33
Tabela 10. Classes de perda de solo e respectivos graus de perda	34
Tabela 11. Classes de hipsometria	43
Tabela 12. Classes de relevo e ocorrência em área pela bacia do Ribeirão Cachoeirinha	44
Tabela 13. Ocorrência em área das Unidades Pedológicas	48
Tabela 14. Ocorrência em área das classes de uso da terra e do Fator C	54
Tabela 15. Ocorrência em área das classes do PNE para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha	58
Tabela 16 – Classes de UMP e Grau de risco a erosão para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.	60
Tabela 17. Ocorrência em área das classes e respectivos graus de perda de solo.	63
Tabela 18. Dados de profundidade, velocidade e vazão para o ponto de amostragem.	65
Tabela 19. Concentração de sólidos (STD, STS e ST) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.....	67
Tabela 20. Transporte de sedimentos durante o ano de 2014.....	70

LISTA DE SIGLAS

ARS	Agricultural Research Service
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
Fator R	Erosividade da chuva
Fator K	Erodibilidade do solo
Fator LS	Fator Topográfico
Fator C	Fator uso e manejo da terra

Fator P	Práticas conservacionistas
GPS	Global System Position
GX	Gleissolo Háplico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo
MDE	Modelo Digital de Elevação
PNE	Potencial Natural de Erosão
PVA	Argissolo Vermelho-Amarelo
RMS	Root Mean Square Error
SIG	Sistema de Informação Geográfica
ST	Sólidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
STS	Sólidos Totais Suspensos
TES	Taxa de Entrega de Sedimentos
UMP	Uso e Manejo Permissível
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Histórico dos modelos preditivos e da Equação Universal de Perda de Solo.....	5
3.2 Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)	6
3.3 Produção e transporte de sedimentos	8
3.4 Medição do transporte de sedimentos pelo método simplificado de Colby (1957) ..	9
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	10
4.1 Localização.....	10
4.2 Clima e vegetação.....	10
4.3 Quadro Geológico-Geomorfológico.....	11
4.4 Quadro pedológico.....	12
5. MATERIAIS E MÉTODOS	13
5.1 Implementação da base cartográfica	15
5.2 Hipsometria e declividade	17
5.3 Extração dos dados do meio físico para a EUPS	18
5.3.1 Erosividade da chuva (Fator R)	18
5.3.1.1 Erosividade da chuva (Fator R) em 2014	21
5.3.2 Erodibilidade do solo (Fator K)	23
5.3.3 Fator Topográfico (Fator LS)	27
5.3.4 Fator uso e manejo da terra (Fator C)	28
5.3.4.1 Composição de bandas	29
5.3.4.2 Processamento de imagens	30
5.3.5 Práticas Conservacionistas (Fator P)	31
5.4 Integração de dados da EUPS	32
5.4.1 Potencial Natural de Erosão (PNE)	32
5.4.2 Tolerância de perda de solo (T)	33
5.4.3 Uso e Manejo Permissível (UMP)	33
5.4.4 Perda de solo por erosão laminar hídrica (A)	34
5.4.5 Perda de solo por erosão laminar hídrica (A) em 2014.....	34
5.5 Dados de transporte de sedimentos.....	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41

6.1 Hipsometria e declividade	41
6.2 Fatores contemplados pela EUPS	45
6.2.1 Erosividade da Chuva (Fator R)	45
6.2.2 Erodibilidade do Solo (Fator K)	47
6.2.3 Fator Topográfico (Fator LS)	50
6.2.4 Uso e Manejo da terra (Fator C)	51
6.2.5 Práticas Conservacionistas (Fator P)	55
6.3 Integração dos fatores da EUPS.....	56
6.3.1 Potencial Natural de Erosão (PNE)	56
6.3.2 Uso e Manejo Permissível (UMP)	58
6.3.3 Perda de solo por erosão laminar hídrica (A)	60
6.3.4 Perda de solo por erosão laminar hídrica (A) em 2014	62
6.4 Transporte de sedimentos	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
8. BIBLIOGRAFIA	75

1. INTRODUÇÃO

Em termos gerais, o desenvolvimento socioeconômico de uma nação está fundamentado na utilização dos recursos naturais terrestres. Os processos de exploração desses recursos se intensificaram ao longo da história do homem em razão do avanço científico e tecnológico aliados ao crescimento populacional. Os problemas referentes à exploração destes recursos naturais, bem como a ocupação da terra estão ligados à ausência de planejamento aliado à gestão inadequada do meio físico. Dentre os principais recursos degradados pela ação antrópica destacam-se o solo e a água, sistemicamente integrados por processos hidrológicos, biológicos e físico-químicos que interagem no sistema ambiental terrestre.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), o desenvolvimento agrícola no Brasil desconsiderava o esgotamento da fertilidade das terras, sendo a erosão hídrica um dos fatores de desgaste que mais severamente contribuiu para a degradação dos solos, condicionando prejuízo à população e a capacidade produtiva das terras. Práticas inadequadas, como o plantio continuado e mal distribuído, com culturas esgotantes e pouco protetoras do solo, o plantio realizado morro abaixo, queimadas e pastoreio excessivo provocam o depauperamento dos solos e aceleram os processos erosivos. Assim, as ações governamentais devem ser orientadas no sentido de garantir a exploração ambientalmente sustentável desses recursos, visando o equilíbrio entre a conservação e o aproveitamento dos mesmos.

Nesse sentido, a bacia hidrográfica é um importante elemento constituinte do meio físico terrestre, pois funciona como unidade natural para o planejamento e gestão da ocupação territorial. Em termos conceituais, a bacia hidrográfica pode ser definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto, em que cada um dos elementos, matérias e energia presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados e relacionados entre si (CHRISTOFOLETTI, 1981). A bacia hidrográfica apresenta-se como uma unidade natural básica para o desenvolvimento de estudos que almejam compreender e analisar a dinâmica de seus componentes. Para Andreozzi (2005), uma bacia hidrográfica pode ser considerada a menor unidade de paisagem capaz de integrar a atmosfera, vegetação natural, agricultura, solos, substrato rochoso e corpos d'água, sendo, portanto, um sistema que melhor reflete os impactos das atividades antrópicas.

Nesse contexto, os modelos matemáticos são amplamente utilizados na predição da erosão em bacias hidrográficas, sobretudo no que se refere ao planejamento ambiental, tanto no sentido preventivo como no sentido corretivo de problemáticas já existentes (ANDREOZZI, 2005). Assim, torna-se fundamental considerar a aplicação de modelos preditivos para estimar a perda de solos. A EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), como um modelo preditivo à erosão, é importante por possibilitar a prevenção de impactos ambientais que possam interferir drasticamente em ambientes naturais ou antrópicos, bem como evitar possíveis investimentos equivocados e até mesmo contribuir para maior eficiência da produção agrícola. Nesse sentido, Bloise et al. (2001) indicam que a implementação desse modelo pode fornecer dados relevantes ao planejamento agrícola e ambiental, contribuindo para um diagnóstico inicial da bacia hidrográfica.

A aplicação da EUPS permite, em ambiente SIG, a integração de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelagem ambiental. Além disso, o modelo não exige um número elevado de parâmetros, viabilizando sua implementação em curto prazo. Com apoio do modelo EUPS, diversos trabalhos foram realizados em bacias hidrográficas, dentre os quais estão: Dos Santos et al (2012), De Souza et al (2013), Cemim et al (2013), Freire et al (2014), Wysocka-Czubaszek (2015), Devatha et al (2015), Bagarello (2015), Addis e Hlik (2015).

Deve-se considerar, além disso, o processo de transporte de sedimentos decorrente das atividades agrícolas. Tais processos culminam na perda de fertilidade do solo, que é responsável pela baixa produtividade. Esta última, por sua vez, implica em menor cobertura do solo, a qual propicia a dinamização dos processos erosivos. Tal dinamização favorece a dissolução e perda dos insumos utilizados para repor os nutrientes já carregados pela erosão, onerando assim a produção agrícola. Estes nutrientes, quando depositados nos cursos d'água, podem provocar fenômenos como o da eutrofização, por exemplo. Além dos nutrientes, os sedimentos carregados causam também o assoreamento dos mananciais e, conseqüentemente, criam condições para a ocorrência de enchentes. Além disso, as extensas áreas agrícolas vêm ocupando desordenadamente as margens de muitos rios, onde a maior parte da vegetação ripária está sendo retirada, exercendo fortes pressões antrópicas e causando a perda progressiva da qualidade ambiental (WARD, 1998; WALSH, 2000; LOWE, 2002; OURSO e FRENZEL, 2003). Desta forma, a quantificação dos processos de transporte de sedimentos constitui um instrumento de análise primordial para se planejar o uso da terra (COLBY, 1957; SCAPIN; PAIVA; BELING, 2007 e CARVALHO, 2008).

Nesse contexto, este trabalho buscou, através do uso de variadas técnicas, avaliar a erosão hídrica e o transporte de sedimentos na bacia do Ribeirão Cachoeirinha, Rio Claro (SP). Adotou-se essa área de trabalho, cuja bacia hidrográfica compreende um espaço físico de aproximadamente 1473 ha, por ela possuir importância na dinâmica local das propriedades e no contexto da bacia do Rio Corumbataí e, dada a extensão de sua área, possibilitar a compreensão das variáveis que a compõem. A partir deste trabalho, espera-se viabilizar a realização de um diagnóstico mais completo dos impactos no meio físico da bacia, fornecendo suporte - teórico e técnico - necessário ao planejamento e gerenciamento da mesma.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste estudo consistiu em caracterizar e avaliar os processos de perda de solo através de erosão laminar hídrica, bem como avaliar o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha (Rio Claro-SP).

Nesse sentido, o objetivo geral foi composto pelos seguintes objetivos específicos:

- Avaliar, através do modelo EUPS, a erosão hídrica para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha;
- Caracterizar, por observação em campo, o transporte de sedimentos nesta bacia hidrográfica;
- Relacionar os dados estimados pelo modelo EUPS e os dados medidos de sedimentos transportados;

Espera-se que os resultados obtidos nessa pesquisa possam contribuir para a compreensão da importância do geoprocessamento na obtenção de fatores hidrológicos no contexto da modelagem ambiental aplicada a bacias hidrográficas. A integração do banco de dados, associado a outros parâmetros intervenientes nos processos erosivos, permite subsidiar a realização de posteriores estudos abrangendo esta temática, com a finalidade de contribuir para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica da área de interesse.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico dos modelos preditivos e da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A utilização de modelos preditivos tem sido intensificada em estudos envolvendo conservação e gestão do meio físico. A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) possui aplicação global, sobretudo nas regiões tropicais. Como uma tecnologia completa, foi divulgada pela primeira vez em 1965 no livro do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), sendo atualizada em 1978.

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), os primeiros trabalhos realizados visando o desenvolvimento de equações que avaliassem a perda de solo, no campo, datam de 1940, na região do Corn Belt, nos Estados Unidos. O processo empregado para estimar perdas de solo naquela região consistia no método do plantio em declive.

Zingg (1950) desenvolveu, em 1940, uma equação relacionando a intensidade de perda de solo com o comprimento e o grau de declive do terreno. Parish e Glass (1947) utilizaram pela primeira vez os fatores de erodibilidade e manejo, compilando dados e tabelando valores para facilitar sua utilização no campo.

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), foram desenvolvidas adaptações às condições naturais da região do Corn Belt (EUA), com a intenção de expandir a aplicação desta equação para áreas com problemas ambientais semelhantes, foi desenvolvida a Equação de Musgrave. Com a inclusão do fator chuva, tal equação tinha por objetivo estimar processos erosivos em bacias hidrográficas visando a redução de inundações. Contudo, as diferenças existentes entre as práticas agrícolas, bem como o tipo e a distribuição das chuvas, constituíram fatores limitantes ao desenvolvimento e a aplicação desse modelo.

No final da década de 1950, foi aprovada, pelo Agricultural Research Service (ARS), uma equação que superou grande parte das limitações apresentadas nas experiências anteriormente realizadas. O modelo desenvolvido no Runoff and Soil Loss Data Center, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), resultou na equação denominada Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

Diversos estudos e testes determinaram ajustes que foram incorporados à equação. Esses ajustes podem ser exemplificados pela inclusão de fatores como: a) índice de erosividade da chuva; b) manejo agrícola em relação às condições climáticas locais; c) fator

de erodibilidade do solo; d) efeitos de variáveis como o nível de produtividade, sequência de culturas e manejo de resíduos. Em razão de tais ajustes, as restrições geográficas e climáticas apresentadas nos estudos anteriores foram superadas, dando a EUPS uma aplicabilidade generalizada, sendo esse modelo posteriormente revisado por Wischmeier e Smith (1978).

3.2 Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) tem sido amplamente aplicada em projetos envolvendo planejamento ambiental e gestão do meio físico. Nesse sentido, o advento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tornou ágil a aplicação desse modelo, uma vez que tais sistemas permitem a execução automatizada de operações matemáticas, bem como a representação espacial resultante dessas operações.

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) consiste em um modelo multiplicativo pelo qual a perda média anual do solo (A), expressa em toneladas por hectare, é dada pelo produto de seis fatores, saber (Equação 1):

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

Onde:

R = Índice de erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ha);

K = Fator de erodibilidade dos solos (MJ/ha.mm/ha);

LS = Fator Topográfico (adimensional)

C = Fator uso e manejo (adimensional);

P = Fator prática conservacionista (adimensional);

A erosividade da chuva (Fator R) constitui um índice numérico que expressa o potencial erosivo da chuva em uma área desprovida de cobertura vegetal. Considerando constantes os demais fatores da equação, as perdas de solo ocasionadas pela chuva em terrenos cultivados são diretamente proporcionais ao produto de duas variáveis da chuva, a saber: energia cinética total e intensidade máxima em trinta minutos (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a erodibilidade do solo (Fator K) consiste na maior ou menor suscetibilidade de cada tipo solo, em iguais condições de declividade, chuva e cobertura vegetal, a ocorrência processos erosivos. Para Bertoni e Lombardi Neto (2010), as principais propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água são aquelas que: afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade de armazenamento da água; resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

O Fator topográfico (LS) consiste na integração entre a extensão da vertente (Fator L) e o seu grau de declividade (Fator S). Tal fator influencia diretamente o volume e velocidade do escoamento superficial, determinando a intensidade dos processos erosivos.

O Fator uso e manejo do solo (Fator C) representa a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em determinadas condições e as perdas correspondentes em um terreno mantido continuamente descoberto e cultivado (WISCHMEIER E SMITH, 1978). Esse fator constitui um importante componente nos estudos envolvendo erosão hídrica, uma vez que a cobertura vegetal proporciona proteção ao solo contra os processos erosivos. Tal proteção depende não somente das características da cobertura vegetal e das práticas de manejo como também do estágio de desenvolvimento dos cultivos, o preparo do solo e manejo agrícola, bem como o período do ano. Esse conjunto de fatores irá definir o quão efetiva é a proteção da cobertura vegetal face aos processos erosivos.

A Prática Conservacionista (Fator P) é a relação entre a intensidade das perdas de solo com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive. Nesse sentido, as práticas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de cultivos (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

De acordo com Sparovek (2008), dentre os fatores contemplados pelo modelo, R K L e S dependem das condições relativas ao meio físico. A integração desses fatores constitui o potencial natural de erosão de uma determinada área. Os fatores C e P são decorrentes da atividade humana, podendo dessa forma, atenuar ou não os processos erosivos.

Embora se utilizem de diferentes procedimentos relacionados à integração da modelagem, os trabalhos contemplando a presente temática denotaram resultados satisfatórios no que tange a caracterização da dinâmica hidrossedimentológica das bacias. Nesse sentido, apresentaram contribuições significativas ao planejamento agrícola das bacias e suporte à gestão do meio físico.

3.3 Produção e transporte de sedimentos

De acordo com Carvalho (2008), o sedimento consiste em uma partícula derivada da rocha ou solo ou materiais biológicos proveniente de processos físicos ou químicos, que é transportada pela água ou pelo vento de seu local de origem até os rios ou áreas deposicionais. A associação de eventos naturais e antrópicos que, atuando em conjunto com outras variáveis, determinam a produção de sedimentos de uma área. Esse resultado pode ser expresso em metros cúbicos (m^3) ou em toneladas (t).

Para Bordas e Semmelmann (2001), a produção de sedimentos em uma bacia pode ser dividida em três compartimentos: os interflúvios, que constituem as áreas de captação e produção de sedimentos; os leitos, onde se concentra o escoamento e as planícies aluviais, que são receptores dos sedimentos produzidos a montante.

De acordo com Vestena (2008), os materiais resultantes dos processos erosivos podem ser transportados pela ação das águas por escoamento superficial, sendo que esse transporte depende da topografia da bacia hidrográfica e da granulometria dos materiais transportados. Nesse sentido, o transporte de sedimentos, que varia em função do material transportado, pode ser classificado de acordo com três tipos: sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão e carga sólida de arrasto.

Christofolletti (1981) afirma que a concentração de sólidos dissolvidos varia de acordo com os períodos secos e chuvosos. Para Carvalho (2008), o transporte de sedimentos acontece nos corpos d'água, ocorrendo em maior escala em períodos chuvosos, sobretudo nos eventos extremos de precipitação. Tais eventos são responsáveis por até 90% do total dos sedimentos transportados em uma bacia hidrográfica. Nesse contexto, Christofolletti (1981) ainda considera que existe uma relação inversamente proporcional entre a vazão e a concentração de sólidos dissolvidos transportados pelo canal da drenagem. Tal relação pode ser explicada durante períodos de chuva ou em eventos isolados, quando a concentração de sólidos dissolvidos diminui em razão da diluição causada pela chuva. Dessa maneira, o processo inverso ocorre durante os períodos de seca, quando ocorre a redução da vazão e do escoamento superficial e o aumento da contribuição das águas subterrâneas, ricos em elementos provenientes da intemperização das rochas. Tal processo promove o aumento da concentração de sólidos dissolvidos no corpo d'água.

De acordo com Carvalho (2008), os sólidos transportados em suspensão são constituídos, em geral, por silte e argila. O transporte ocorre em decorrência da ação turbulenta do fluxo dos canais de drenagem, formando uma mistura homogênea de água e

sedimentos. De acordo com Christofolletti (1981), transporte de sedimentos em suspensão é determinado pela velocidade do fluxo da drenagem. Dessa forma, quanto maior a velocidade do fluxo, maior será a turbulência e, conseqüentemente, a capacidade de transportar sedimentos. Quando a velocidade do fluxo diminui, o material transportado em suspensão é depositado. Assim, transporte de sedimentos em suspensão é diretamente proporcional a vazão do fluxo da drenagem.

A carga sólida de arrasto é constituída de partículas de sedimento, em geral, de maior granulometria, que rolam ou escorregam longitudinalmente, praticamente em contato constante com o leito do rio (CARVALHO, 2008). Para Santos et al (2001), os sedimentos transportados dessa forma sofrem abrasão na medida em que se movimentam em direção à jusante do canal em razão do choque entre os sedimentos durante as fases de mobilização e transporte.

Por fim, existe uma parcela dos sedimentos que não alcança o curso d'água. De acordo com Walling (2008), essa parcela pode ficar retida em áreas com declividades suaves, porções salientes do terreno ou nas planícies. Tal parcela é representada pela Taxa de Entrega de Sedimentos (TES).

3.4 Medição do transporte de sedimentos pelo método simplificado de Colby

Dentre os métodos para quantificação de descarga sólida em leitos de rios, destaca-se o método simplificado de Colby (1957). Para aplica-lo é necessário, além da vazão, o conhecimento da concentração medida de sólidos totais em suspensão. Os métodos indiretos para o cálculo da descarga sólida total em leitos de rios são muito utilizados em razão do baixo custo e facilidade de obtenção dos parâmetros necessários a sua implementação.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Localização

O Ribeirão Cachoeirinha constitui-se em um afluente pela margem direita do Ribeirão Claro, localizado no município de Rio Claro (SP). Sua bacia hidrográfica está situada na porção centro-oriental do Estado de São Paulo, entre 22°17'30" e 22°17'39" de latitude sul e 47°33' e 47°31' de longitude oeste (Figura 1), ocupando uma área de 1473 ha.

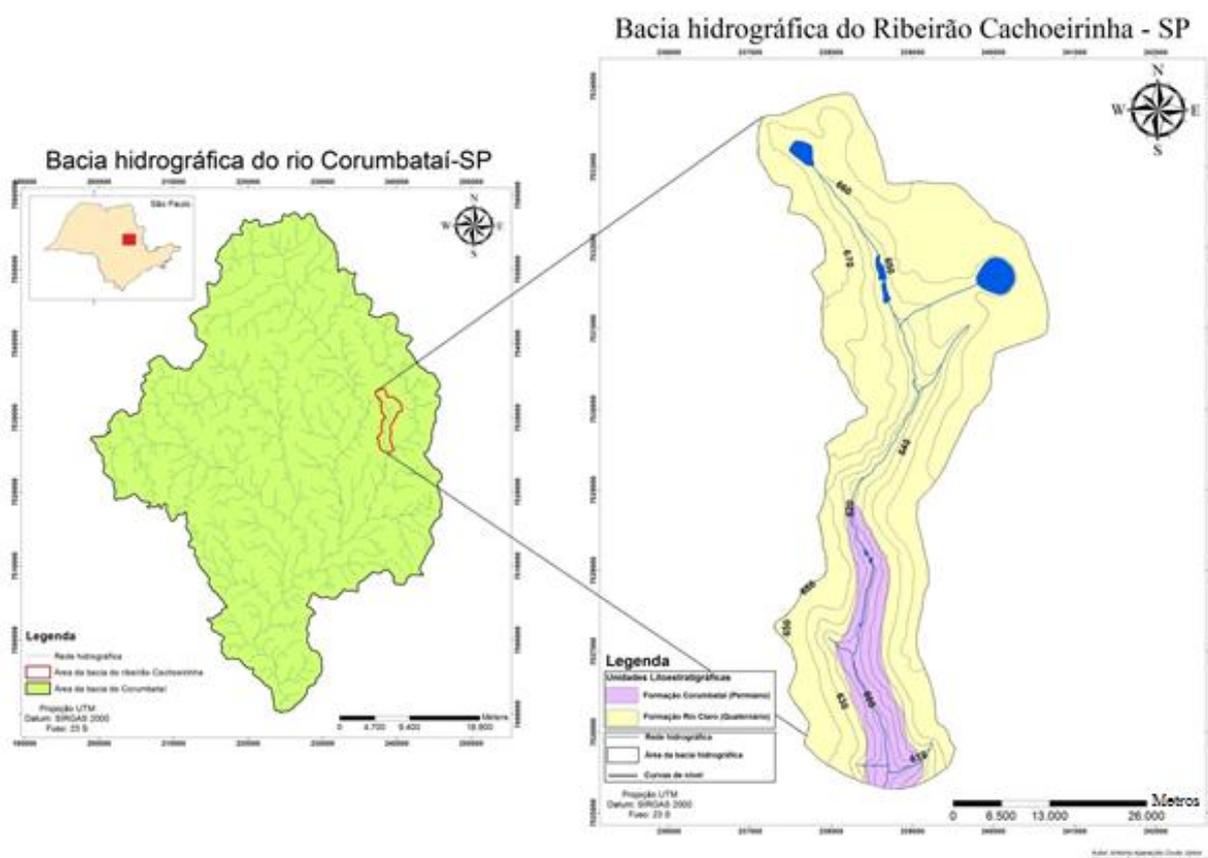


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha (SP)

4.2 Clima e vegetação

O clima da região de acordo com a classificação climática regional de Köppen é do tipo Cwa, clima sub-tropical, com chuvas no verão e inverno seco, no qual a temperatura média em quase todos os meses do ano ultrapassa os 18° C, sendo que o mês mais quente ultrapassa os 22° C. Quanto à distribuição anual de chuvas, o regime é tropical com duas estações bem definidas: de abril a setembro, ocorre o período seco e de outubro a março

ocorre o período úmido, sendo o volume de precipitação do mês mais chuvoso dez vezes maior ao do mês mais seco (CONCEIÇÃO e BONOTTO, 2003 e 2004).

A análise dos dados de precipitação foi realizada a partir dos dados pluviográficos registrados no posto pluviométrico Fazenda São José - DAEE: D4-016, situado dentro da área de estudo. Tal análise resultou em um pluviograma para o período de 1953 a 2013 (Figura 2).

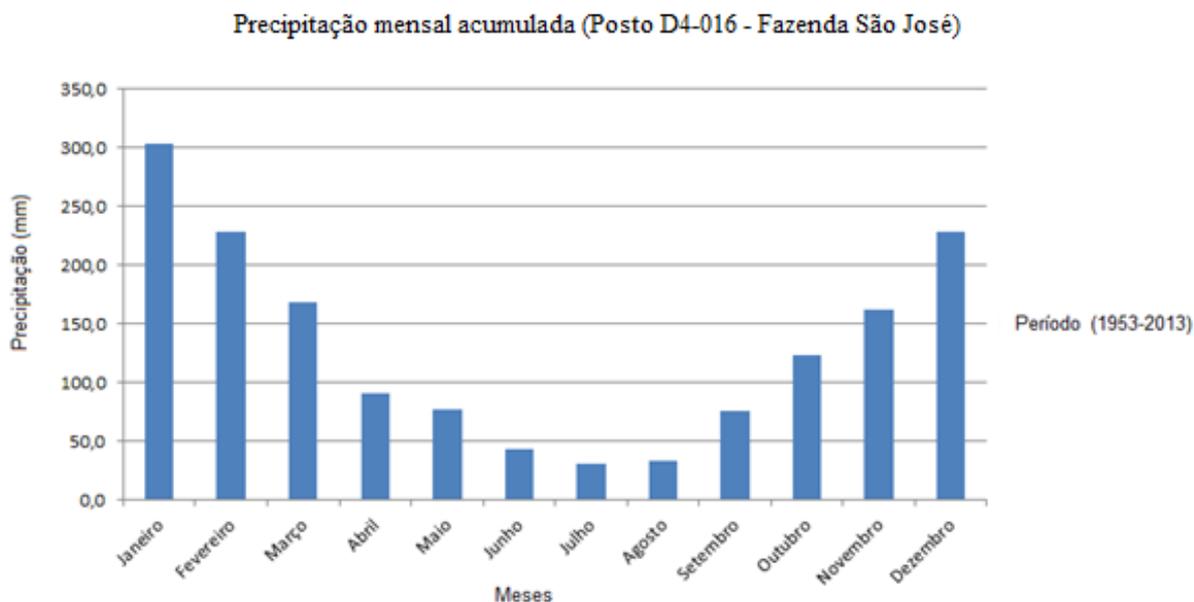


Figura 2. Precipitação mensal acumulada (1953-2013) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

De acordo o pluviograma obtido, as maiores médias de precipitação ocorrem no período de outubro a março, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses com médias superiores a 200 mm. O período de menor pluviosidade compreende o intervalo entre abril e setembro, apresentando os meses de junho, julho e agosto com médias inferiores a 50 mm. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18,1 e 20,9° C, com ventos dominantes sendo provenientes dos quadrantes S e SE.

A mata tropical latifoliada serviu como cobertura vegetal original dos espigões predominando a mata galeria ao longo dos cursos d'água, onde ainda se faz presente em alguns locais. Atribui-se o desaparecimento da mata à implantação da cafeicultura e instalação de numerosas serrarias no século passado, com o objetivo de suprir as necessidades das olarias e máquinas a vapor; a vegetação natural cedeu lugar ao reflorestamento por eucalipto e as pastagens, estando ainda presente o cerrado (TROPMAIR, 2004). Nesse sentido, a intensificação da ação antrópica modificou quase toda a vegetação natural da região, onde

atualmente a monocultura de cana-de-açúcar, subordinadamente a pecuária, define a paisagem regional.

4.3 Quadro Geológico-Geomorfológico

De acordo com levantamento realizado em IPT (1981), a área de estudo insere-se na Depressão Periférica Paulista, caracterizando uma topografia formada por colinas, com altitudes variando entre 550 m e 600 m. Possui topografia pouco acidentada, colinas baixas, de formas convexas suavizadas, separadas por vales, sem planícies aluviais importantes, com uma drenagem bem organizada no padrão dendrítico, especialmente nas cabeceiras, e setores com controle estrutural.

Do ponto de vista geológico, a área de estudo abrange duas formações geológicas distintas: Formação Rio Claro e Formação Corumbataí.

A Formação Rio Claro, que se distribui uniformemente ao longo da área de estudo, está associada às áreas de maior altitude. De acordo com Perinotto e Lino (2012), a deposição da Formação Rio Claro ocorre na era Cenozóica, durante o período Quaternário. A ocorrência desta unidade se dá em discordância sobre diferentes unidades estratigráficas, a depender do grau de erosão do topo destas unidades. Especificamente na região onde a área de estudo está inserida, tal formação dá origem a extensos chapadões que recobrem a Formação Corumbataí. Nesse sentido, constitui uma unidade essencialmente composta de arenitos mal selecionados, amarelo-avermelhados, friáveis, por vezes com estratificações cruzadas e níveis conglomeráticos. Apresenta abundância de fragmentos limonitizados e níveis centimétricos a decimétricos de argilitos, podendo conter fragmentos de vegetais fósseis indeterminados. É comum na base da unidade a ocorrência de grande quantidade de seixos, principalmente de quartzo e quartzito. As características desta unidade levam a interpretá-la como tendo sido depositada em condições continentais, maiormente fluviais em clima semiárido.

De acordo com IPT (1981), a Formação Corumbataí possui depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos, silixitos e camadas de arenitos finos.

Em visitas a campo, foi possível observar a presença de lagoas distribuídas ao longo da região onde se insere a bacia do Ribeirão Cachoeirinha. De acordo com Björnberg et al. (1964 a, b), estas lagoas estão ligadas a remanescentes da sedimentação da Formação Rio Claro, denotando meandros abandonados. Tais meandros são considerados constituintes do sistema fluvial responsável pela gênese da mesma. Segundo Penteadó-Orellana (1981), as

lagoas constituem "paleocabeceiras" de drenagem, sendo estas situadas em uma posição topográfica mais elevada que a atual, evidenciando épocas mais úmidas em tempos pretéritos.

4.4 Quadro pedológico

Referente à pedologia, Oliveira e Prado (1984) citam a predominância de Latossolo Vermelho-Amarelo, sendo este situado em setores de relevo plano da bacia, coincidindo com as áreas de ocorrência da Formação Rio Claro. Em menor proporção, observa-se a presença de Argissolo Vermelho-Amarelo, sobretudo em áreas de relevo ondulado. Tais áreas situam-se em áreas de baixa vertente e estão associadas, no contexto regional, a Formação Corumbataí. Por fim, em áreas de fundo de vale observa-se a ocorrência de Gleissolo. Esse tipo de solo está associado às áreas próximas às margens do Ribeirão Cachoeirinha, sendo caracterizado pela presença de sedimentos não consolidados e horizontes de coloração acinzentada em razão da saturação por água durante longos períodos de tempo.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada a partir da abordagem sistêmica (CHRISTOFOLETTI, 1999). Tal abordagem abrange dois segmentos, a saber:

- Segmento analítico: composto pela extração dos fatores contemplados pela EUPS e dos parâmetros integrantes do cálculo do transporte de sedimentos pelo método simplificado de Colby (1957).

- Segmento de integração: consiste na integração dos dados levantados no segmento analítico. Desse segmento resultam os valores de perda de solo por erosão laminar hídrica e a quantificação do transporte de sedimentos.

No âmbito da EUPS, as principais etapas desenvolvidas foram resumidas através do fluxograma a seguir (Figura 3).

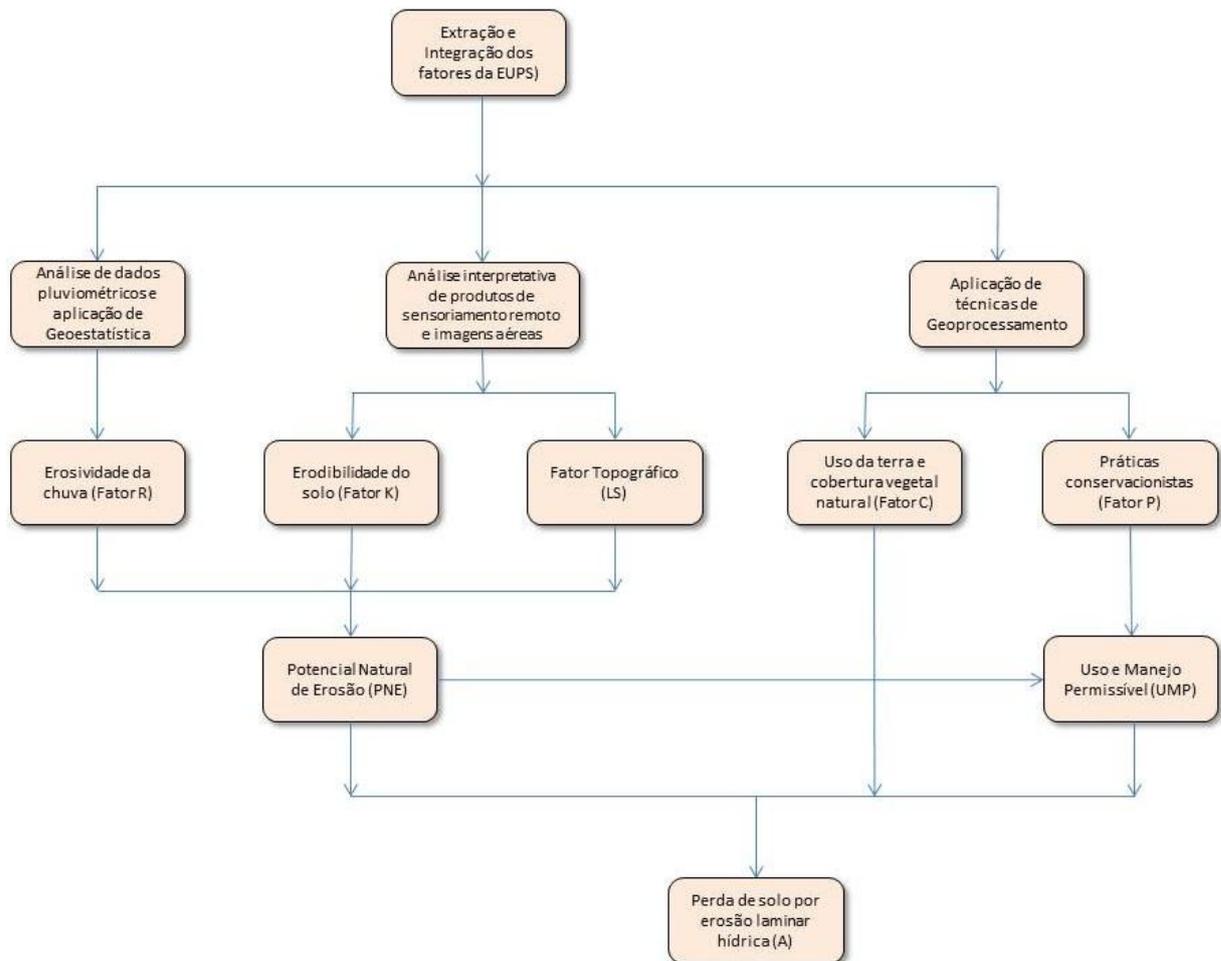


Figura 3. Extração e integração dos fatores contemplados pela EUPS

Em relação ao transporte de sedimentos, as principais etapas desenvolvidas foram resumidas através do fluxograma a seguir (Figura 4).

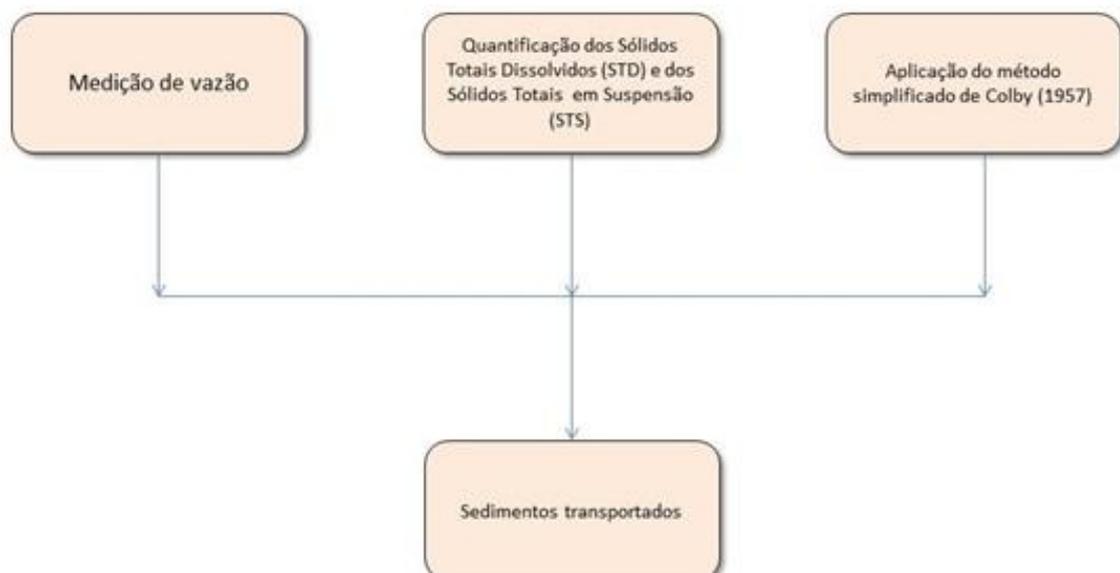


Figura 4. Etapas necessárias à quantificação do transporte de sedimentos.

5.1 Implementação da base cartográfica

A construção da base cartográfica constitui a etapa inicial para estudos que contemplem geoprocessamento. Desta forma, o processo de digitalização dos dados deve obedecer a critérios de precisão, garantindo assim produtos finais confiáveis. Desta maneira, foram articuladas as cartas topográficas 1:10.000 (IGC/SP, 2010) que abrangem a área da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha (Figura 5).

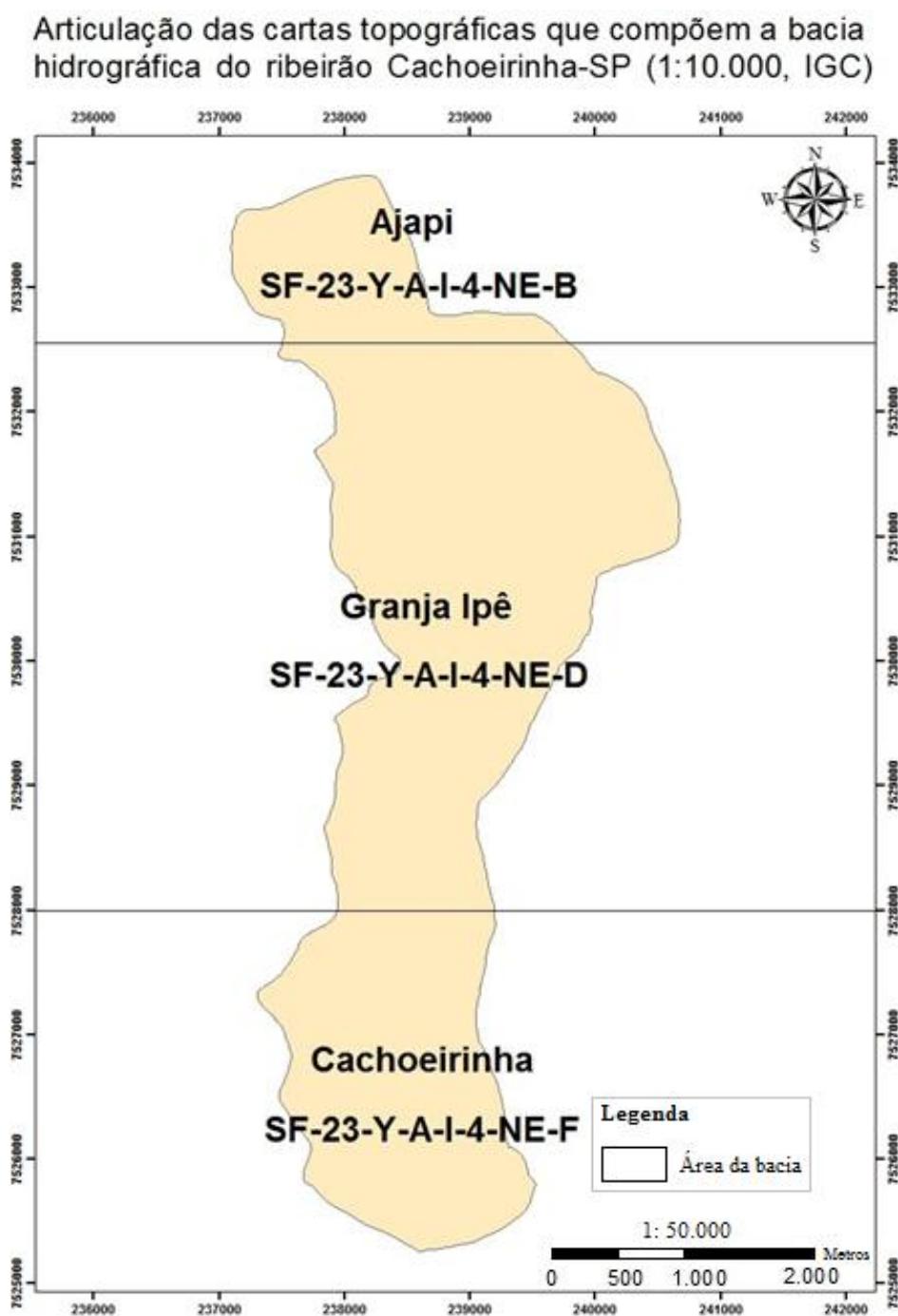


Figura 5. Cartas topográficas que compõem a bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha.

Essas cartas foram digitalizadas em escâner A0 e armazenadas com resolução de 300 dpi na extensão *tiff*. Tal extensão é compatível com o *software* ArcGIS 10.2, permitindo assim o georreferenciamento das cartas. O ajuste dos parâmetros do georreferenciamento foi realizado com base no conceito de Erro Tolerável (Et), conforme IBGE (1998). Tal conceito foi desenvolvido com base na experiência de que o menor comprimento gráfico representável em um desenho é de 1/5 de milímetro (0,2 mm), sendo este o erro admissível. Sendo assim, o Erro Tolerável pode ser calculado através da Equação 2.

$$Et = 0,0002 \times M \text{ (em metros)} \quad (2)$$

Onde:

Et - Erro tolerável

M - Denominador da escala utilizada

Desta forma, determinou-se que o Et do georreferenciamento para as 3 folhas das cartas topográficas (1:10.000) é de 2 metros.

$$Et = 0,0002 \times 10.000$$

$$Et = 2 \text{ metros}$$

Em ambiente SIG, o Et é indicado pelo RMS (Root Mean Square ou Valor Quadrático Médio), calculado através da ferramenta *Georeferencing*, para cada ponto de controle obtido. O erro RMS consiste na medida da diferença entre os locais conhecidos (reais) e locais que foram interpolados ou digitalizados (previstos). Tal medida agrega diferenças individuais, os resíduos, em um único valor de previsão, o que a torna uma medida de precisão confiável (ESRI, 2014). Considerando a quadrícula UTM, a unidade adotada neste trabalho é dada em metros. Sendo assim, o erro RMS foi calculado considerando a mesma unidade de medida citada. Foram escolhidos 36 pontos de controle, sendo 12 pontos por carta topográfica. Após a transformação do tipo Polinomial de primeira ordem, o Erro Total RMS foi de 0,420353 m, atendendo, portanto, ao valor do Et (2 metros).

Após o georreferenciamento das cartas topográficas, realizou-se a vetorização dos dados, bem como a extração daqueles de interesse, tais como: limite da bacia, curvas de nível

(com equidistância de 5m), pontos cotados e hidrografia, com a utilização do módulo de edição do ArcGIS 10.2. Com a finalidade de garantir a precisão e a consistência do banco de dados, foram avaliadas as feições vetorizadas em termos de relacionamento de vizinhança, conectividade, sobreposição de limites ou presença de espaços vazios. O procedimento de avaliação e correção de inconsistências foi realizado através da aplicação de regras topológicas pré-estabelecidas. Especificamente no ArcGIS, essas operações podem ser realizadas automaticamente pela ferramenta *Topology*. Desta forma, foram selecionadas algumas regras básicas para verificação de erros, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Rotinas de verificação de regras topológicas.

Feição	Indica áreas com sobreposição	Indica regiões de intersecção	Indica pontos/regiões sem conectividade
Linha	----	Não devem se cruzar	Devem ter pontos desconectados
Polígono	Não devem sobrepor	----	Não devem ter pontos desconectados

Com esses dados, foi estruturado e implementado um banco de dados georreferenciados, a partir dos quais serão calculados os parâmetros necessários a extração dos fatores contemplados pela EUPS.

5.2 Hipsometria e declividade

O mapa de declividade foi obtido através do módulo de análise espacial do ArcGIS 10.2, sendo gerada em porcentagem em função de sua aplicação no modelo EUPS. O mapa de classes de declividade foi gerado a partir da reclassificação da declividade da área de estudo. A carta de classes de declividade pôde ser definida de acordo com a proposta da EMBRAPA (1999), conforme indicado na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de declividade, tipos de relevo e restrição agrícola.

Classes de Declividade	Relevo	Grau de Limitação ao Cultivo Agrícola
0 – 3%	Plano	Nulo (N)
3 – 8%	Suavemente Ondulado	Ligeiro (L)
8 - 13%	Suavemente Ondulado	Ligeiro (L)
8 – 20%	Ondulado	Moderado (M)
> 20%	Fortemente Ondulado	Forte (F)

Fonte: EMBRAPA (1999)

O mapa de hipsometria foi gerado com base no Modelo Digital de Elevação (MDE). A elaboração deste mapa teve como objetivo facilitar a visualização do relevo. Sendo assim, optou-se por classificar o mapa hipsométrico em seis classes, variando entre 595 e 675 metros de altitude.

5.3 Extração de dados dos fatores da EUPS

5.3.1 Erosividade da chuva (Fator R)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), o Fator R é um índice que expressa a capacidade erosiva da chuva sobre uma área desprovida de cobertura vegetal. As perdas de solo ocasionadas pela chuva em áreas cultivadas estão associadas a duas variáveis: a energia cinética total e a intensidade máxima de precipitação em um intervalo de trinta minutos.

Os dados do Fator R foram obtidos de acordo com o método proposto por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), no qual o valor médio do índice de erosividade se dá pela relação entre a média mensal e a média anual de precipitação (Equação 3):

$$EI_{30} = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad (3)$$

Onde:

EI_{30} = média mensal do índice de erosividade (MJ.mm/ha.h);

r = média do total mensal de precipitação (mm);

P = média do total anual de precipitação (mm).

Os dados pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade foram obtidos através do banco de dados do DAEE-SP. Desta forma, foram selecionados 45 postos pluviométricos localizados nas cidades da região onde a área de estudo está inserida.

Contudo, alguns postos selecionados possuem lacunas em suas séries históricas de dados. Para o preenchimento dessas séries, foi utilizado o método de ponderação regional (TUCCI, 2000). Tal método leva em consideração a existência de, pelo menos, três postos circunvizinhos com registros de 10 anos. Para cada posto Y que apresentar lacunas no registro de dados, as mesmas podem ser preenchidas de acordo com a Equação 4. A distribuição espacial dos postos pluviométricos utilizados pode ser exemplificada através da Figura 6.

$$Y = \frac{1}{3} \left[\frac{x_1}{x_{m1}} + \frac{x_2}{x_{m2}} + \frac{x_3}{x_{m3}} \right] * Y_m \quad (4)$$

Onde:

Y – Precipitação a ser estimada (posto Y);

x_1 , x_2 e x_3 – precipitações, observadas em estações circunvizinhas, correspondentes ao mês a ser preenchido;

x_{m1} , x_{m2} e x_{m3} – precipitações médias das estações circunvizinhas;

Y_m – precipitação média (Posto Y).

Por meio da Equação 6, foi extraído, para cada posto, o valor da erosividade (Fator R). Pelo módulo geostatístico do ArcGIS 10.2 foi possível modelar o semi-variograma, etapa que antecede a interpolação pelo método da Krigagem. Nesse sentido, optou-se pela Krigagem Ordinária, método utilizado para estudos envolvendo variáveis ambientais. Após a interpolação dos valores de erosividade, foi extraída a área de interesse, resultando assim no mapa do Fator R .

Postos pluviométricos utilizados para o calculo da erosividade (Fator R)

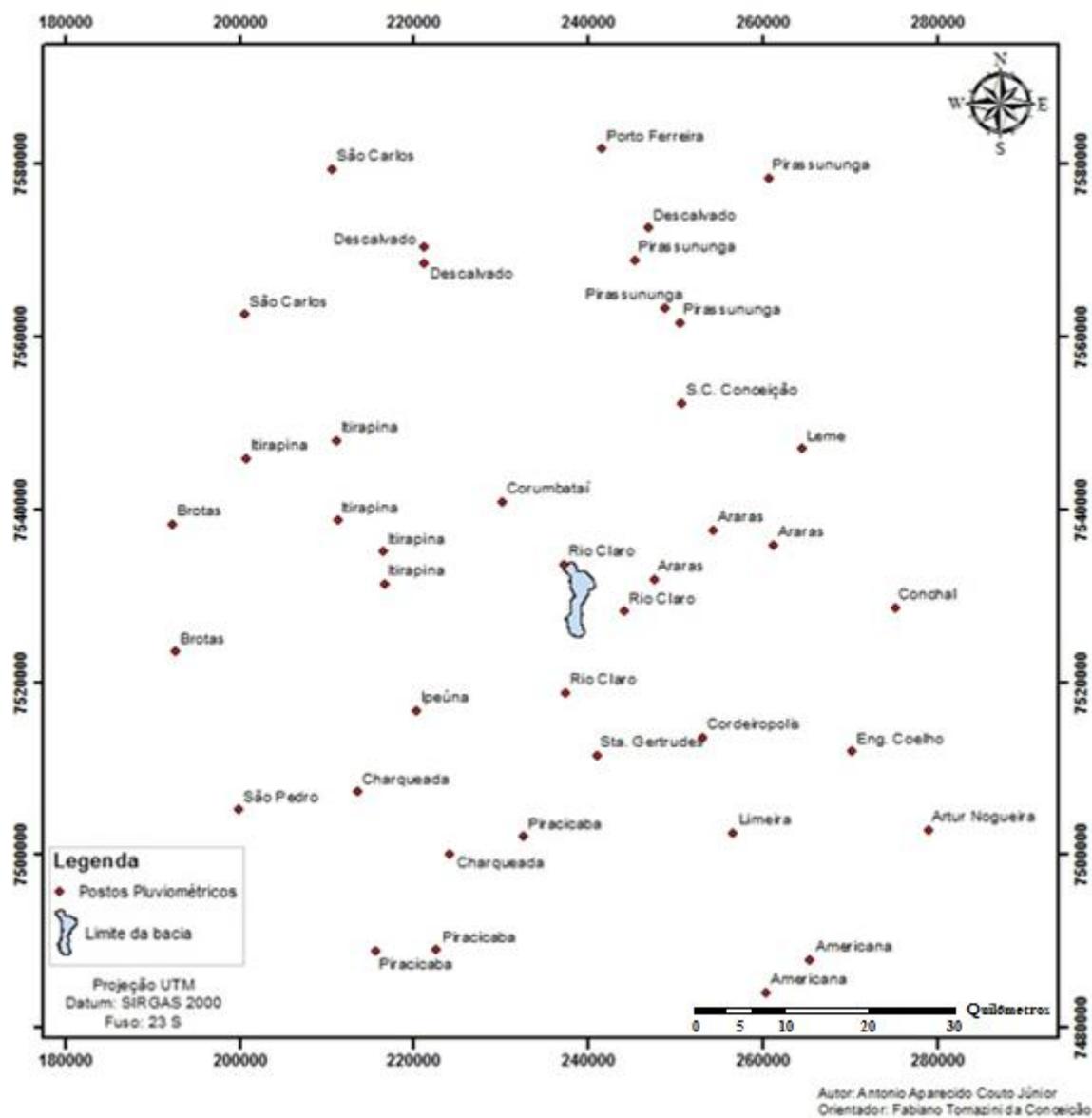


Figura 6. Espacialização dos postos pluviométricos utilizados para o cálculo da erosividade (Fator R).

A localização dos postos pluviométricos e os respectivos valores de erosividade foram sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3. Localização dos postos pluviométricos e respectivos valores de erosividade (Fator R).

Cidades	X	Y	Altimetria	R
Americana	265406	7487844	540	6008
Americana	260326	7484072	530	5643
Araras	247551	7531877	720	6707
Araras	254335	7537525	660	6217
Araras	261237	7535786	600	6792
Artur Nogueira	278895	7502816	667	4700
Brotas	192425	7538275	780	4655
Brotas	192717	7523501	660	5001
Conchal	275090	7528608	660	4902
Charqueada	213635	7507278	600	7969
Charqueada	224061	7500080	510	4884
Cordeirópolis	253000	7513500	730	6704
Corumbataí	230212	7540820	600	6384
Descalvado	221092	7570210	840	8485
Descalvado	221125	7568364	780	8965
Descalvado	246897	7572490	650	6817
Eng. Coelho	270185	7511920	670	5160
Ipeúna	220329	7516636	630	8455
Itirapina	211265	7538674	790	5987
Itirapina	216559	7535037	800	7820
Itirapina	200879	7545827	690	6954
Itirapina	216626	7531345	610	6826
Itirapina	211164	7547868	740	5761
Leme	264507	7546914	600	6669
Limeira	256606	7502478	640	6155
Piracicaba	222547	7488971	500	5728
Piracicaba	232601	7502079	590	6340
Piracicaba	215693	7488845	470	6584
Pirassununga	248766	7563288	630	5446
Pirassununga	250517	7561469	670	7560
Pirassununga	253786	7572599	560	6728
Pirassununga	260592	7578242	600	8184
Pirassununga	245234	7568771	640	7540
Porto Ferreira	241580	7581637	580	8484
Rio Claro	237463	7518783	600	6748
Rio Claro	244176	7528129	610	6682
Rio Claro	237212	7533553	670	5652
Santa Gertrudes	241020	7511457	620	6485
São Carlos	210589	7579256	610	6962
São Carlos	200562	7562446	820	6478
São Pedro	199946	7505169	600	7618
S.C. Conceição	250663	7552239	620	6975

5.3.1.1 Erosividade da chuva (Fator R) para o ano de 2014

Os dados de precipitação foram coletados a partir da estação meteorológica da UNESP/Rio Claro D4-112M - DAEE. Esses dados da precipitação foram utilizados para calcular os totais diários, mensais e anuais de precipitação para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Tais cálculos tiveram por objetivo a obtenção do índice de erosividade da chuva para o ano de 2014 e, para tanto, foram consideradas apenas as chuvas erosivas,

conforme indicado em Wischmeier (1959), Lombardi Neto (1977) e Cabeda (1976). Dessa forma, foram definidos alguns critérios, a saber:

Precipitações maiores ou iguais a 10,0 mm; precipitações menores do que 10,0 mm se sua quantidade em 15 minutos for igual ou maior a 6,0 mm; precipitações com energia cinética total maior ou igual a 3,6 MJ/ha. Seguindo a metodologia proposta por Cabeda (1976), os eventos pluviométricos foram separados por intervalo igual ou superior a 6 horas, sendo as precipitações superiores a 10 mm classificadas como chuvas individuais. Nesse sentido, precipitações de até 1,00 mm separadas por um intervalo de 6 horas também foram classificadas como individuais. A energia cinética da chuva foi obtida de acordo com a Equação 5, proposta por (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2010).

$$E = 0,119 + 0,0873 \log I \quad (5)$$

Onde:

E = energia cinética (MJ/ha.mm/ha);

I = intensidade da chuva (mm/h).

De cada chuva considerada erosiva, sua intensidade máxima em 30 minutos (I_{30}) foi calculada de acordo com a proposta de Wischmeier e Smith (1978). Dessa forma, se a duração total da chuva for igual ou menor que 30 minutos, o valor de I_{30} considerado foi igual ao dobro da lâmina total precipitada. Em eventos pluviométricos com duração superior a 30 minutos, foi considerado o maior valor precipitado durante esse período. A emotividade para cada evento foi obtida a partir do método proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2010), sendo este representado pela Equação 6.

$$EI_{30} = E * I_{30} \quad (6)$$

Onde:

EI_{30} = índice de erosão em MJ/ha.mm/h;

E = energia cinética da chuva;

I_{30} = intensidade máxima em 30 minutos (mm/h).

O índice mensal e, conseqüentemente, anual, foi obtido a partir da soma dos índices de cada evento. A estação meteorológica da UNESP D4-112M - DAEE caracterizou-se como a única a possuir os dados pluviométricos (registrados a cada minuto) necessários ao cálculo da erosividade da chuva pelo método anteriormente descrito. Para efeito de modelagem em ambiente SIG, o valor de erosividade obtido foi replicado para as demais estações meteorológicas que abrangem a bacia. Assim, foi possível realizar a interpolação pelo método da Krigagem Ordinária e, conseqüentemente, extrair o Fator R para a área de estudo.

5.3.2 Erodibilidade do solo (Fator K)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2010), a erodibilidade dos solos é definida como a maior ou menor susceptibilidade que um solo tem de sofrer erosão, considerando condições iguais de chuva, vegetação, manejo e declividade.

Partindo dessa premissa, a obtenção do mapa de solos constitui uma etapa antecedente a extração do Fator K. Assim, para a obtenção do mapa de solos foi considerado, em primeiro momento, o contexto no qual a bacia está inserida. Dessa forma, com base no mapa de solos da bacia do Rio Corumbataí (PERINOTTO E LINO, 2012), foi extraída a área correspondente à bacia do Ribeirão Cachoeirinha, resultando em um mapa preliminar de solos com baixo nível de detalhamento (1:100.000).

Para o refinamento das unidades de solo pré-delimitadas foi realizado um esboço fotopedológico, através das técnicas de fotopedologia propostas por Amaral (1972). Neste esboço foram utilizadas fotografias aéreas do aerolevante de 1995 (1:25.000, papel fotográfico no formato 230 mm x 230 mm) e cartas topográficas (1:10.000 - IGC, 2010), bem como técnicas de fotointerpretação e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). As fotografias aéreas foram georreferenciadas através do ArcGIS 10.2, formando um mosaico que abrange a área de estudo (Figura 7).

Mosaico das fotografias aéreas do aerolevanteamento de 1995

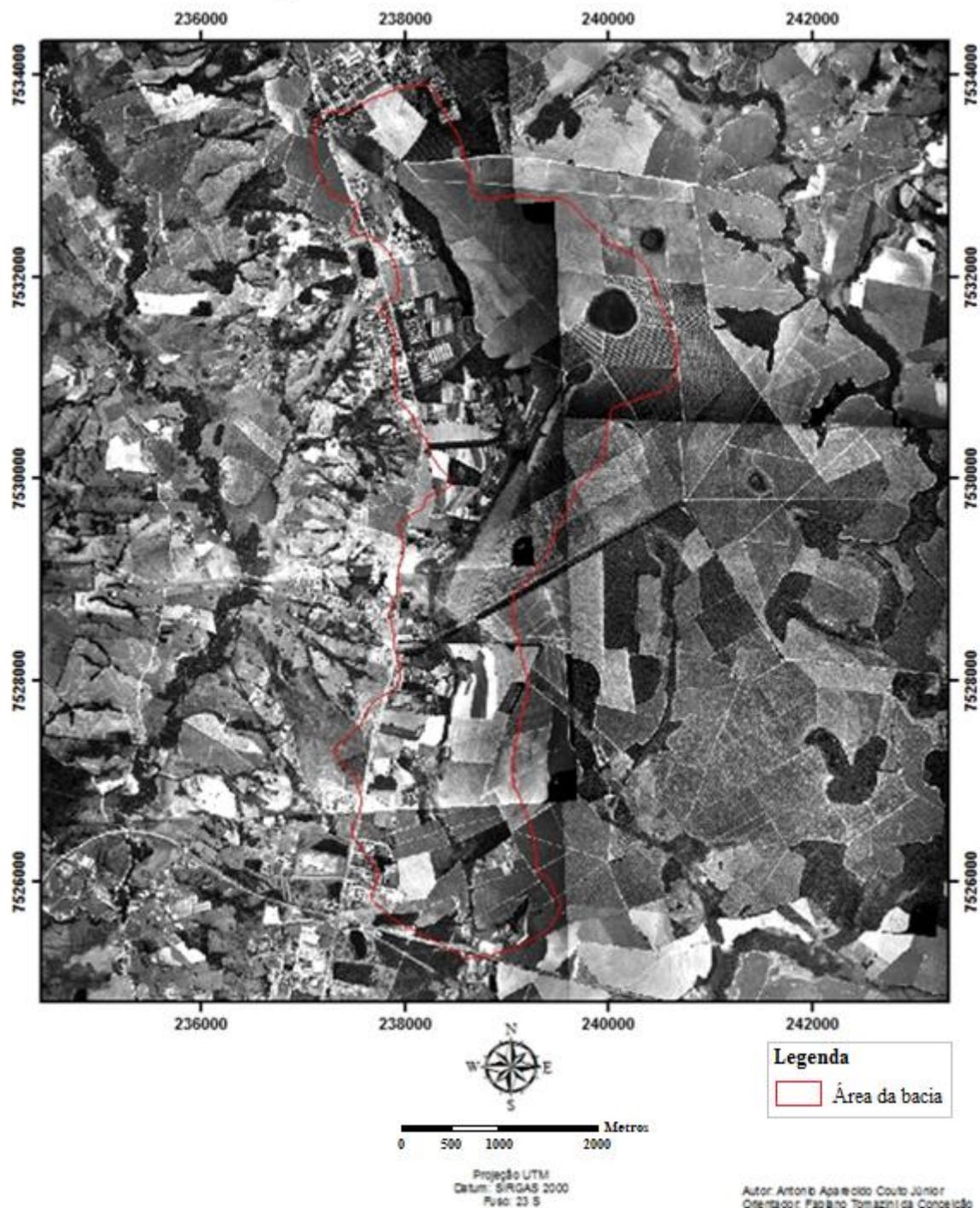


Figura 7. Mosaico composto pelas fotografias do aerolevanteamento de 1995.

O procedimento de fotointerpretação foi realizado através de estereoscopia e partiu da premissa proposta por Demattê (2010), na qual o tipo de solo pode ser inferido a partir análise da relação entre infiltração e deflúvio nas vertentes, considerando a drenagem do solo como fator da pedogênese. Esta relação pode ser exemplificada através da Figura 8.



Figura 8. Relação entre infiltração e deflúvio ao longo da vertente

Fonte: Demattê (2010)

Neste contexto, Demattê (2010) estabelece correlações entre as classes de relevo e os solos, bem como a posição da unidade pedológica na vertente. Dessa forma, cada ruptura na vertente foi delimitada como uma unidade pedológica distinta. Por fim, com o apoio dos trabalhos de levantamento de solos realizados por Oliveira e Prado (1984), determinou-se as unidades fotopedológicas.

Após a obtenção do esboço fotopedológico, o mapa de declividade foi reclassificado de acordo com as classes de declividade propostas pela EMBRAPA (1999). Assim, cada classe foi associada a um tipo de solo (Figura 9).

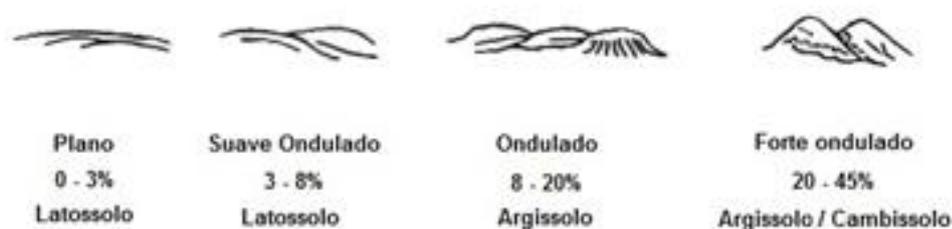


Figura 9. Relação entre declividade e tipos de solo

Fonte: modificado de Demattê (2010)

Após a obtenção dos esboços pelos dois métodos acima descritos, foram realizadas visitas a campo com o objetivo de validar o mapeamento realizado em laboratório. Nessas visitas foram delimitadas topossequências para a observação de perfis de solo em campo, sendo esta observação realizada de acordo com os critérios propostos pelo IBGE (2007).

No âmbito da EUPS, a definição das unidades pedológicas restringe-se ao segundo nível categórico (subordem) definido pela Embrapa (1999). Desta forma, a partir das unidades pedológicas foram associados os valores do Fator K, conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010). As unidades pedológicas e os respectivos valores de K foram sintetizados através da Tabela 4.

Tabela 4 – Solos e valores de K.

Tipos de Solos	Sigla	Valor de K
Argissolo Vermelho Amarelo	PVA	0,034
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA	0,017
Gleissolo Háptico	GX	0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010)

Em visitas a campo observou-se que, apesar do baixo índice de precipitações registrado em 2014, as áreas de ocorrência de Gleissolo Háptico apresentaram saturação durante longos períodos de tempo, não sendo observados processos erosivos nessas áreas. Nesse sentido, vale ressaltar que a EUPS considera apenas a erosão laminar e não a erosão das margens pelo canal fluvial. Assim, assume-se que o valor de erodibilidade (K) para este tipo de solo é zero.

A metodologia descrita pode ser exemplificada através do fluxograma a seguir (Figura 10).

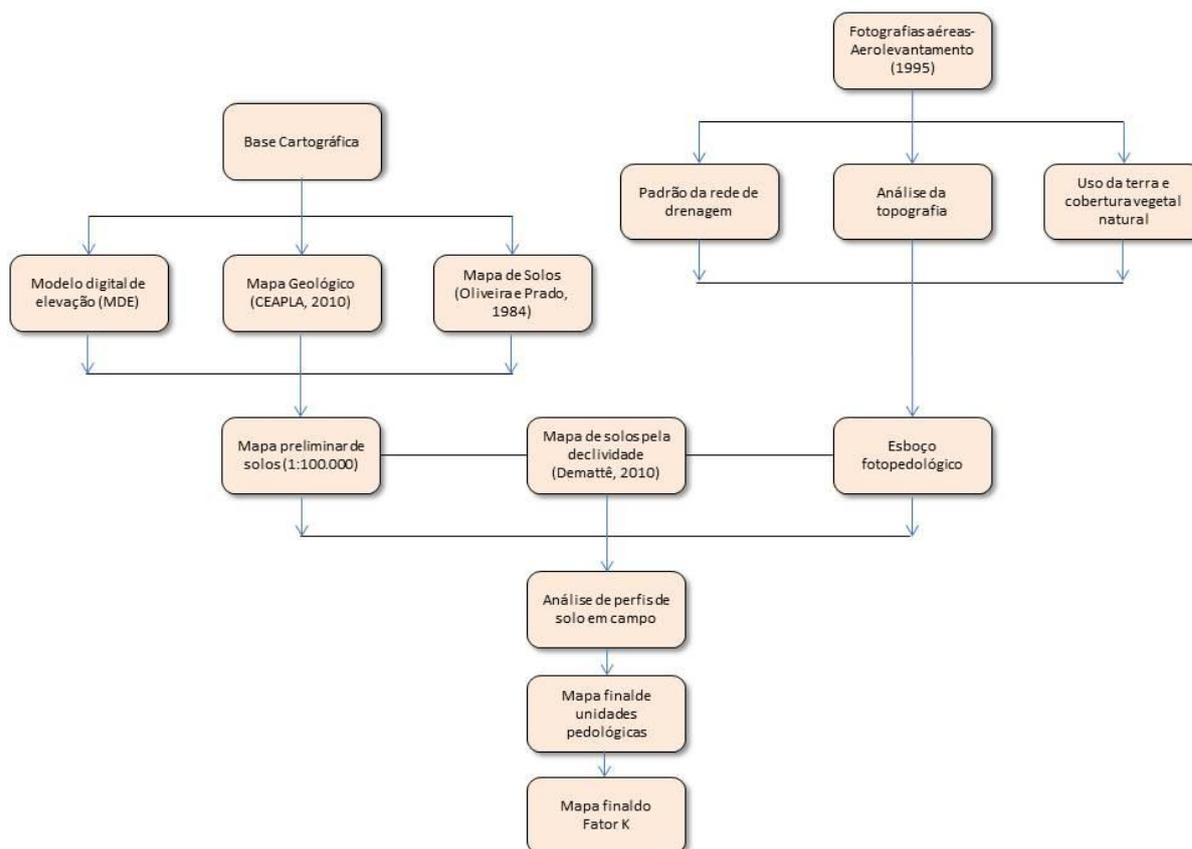


Figura 10. Metodologia para obtenção do esboço fotopedológico com apoio de campo e extração do Fator K

5.3.3 Fator Topográfico (Fator LS)

O Fator Topográfico (Fator LS) contempla a integração entre a extensão da vertente (Fator L) e a declividade (Fator S), sendo este um fator importante na compreensão da dinâmica erosiva em uma bacia hidrográfica.

Visando a extração do Fator LS, foram analisadas e testadas as metodologias propostas por Moore e Burch (1986), Moore e Wilson (1992) e Desmet e Govers (1996). Dentre as metodologias testadas, foi utilizada a proposta de Moore e Burch (1986). Tal proposta busca a estimativa do Fator Topográfico (LS) com base na área de contribuição específica e na declividade, parâmetros contemplados pela Equação 7:

$$LS = \left(\frac{As}{22,13} \right)^m * \left(\frac{\text{Sen } \theta}{0,0896} \right)^n \quad (7)$$

Onde:

As - área de contribuição específica por unidade de largura ortogonal à linha de fluxo ($\text{m}^2 \text{m}^{-1}$)

θ – declividade expressa em graus radianos

22,13 – constante para extensão de vertente.

0,0896 – declividade média

m e n – interação entre os diferentes tipos de fluxo

Moore e Wilson (1992) adotam para m e n os valores médios de 0,4 e 1,3, respectivamente. Assim, a equação (8) resultante pode ser expressa da seguinte maneira:

$$LS = \left(\frac{As}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\text{Sen } \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (8)$$

5.3.4 Fator de uso e manejo da terra (Fator C)

Para a determinação do fator de uso e manejo da terra (Fator C), foram definidas as classes temáticas existentes na área de estudo. A definição de tais classes foi pautada na utilização de imagens orbitais, bem como o processamento e classificação das mesmas através de softwares específicos. Desta forma, foram definidas as categorias de ocupação das terras, que se desenvolveram paralelamente ao estabelecimento dos padrões de cada categoria, conforme Anderson et al (1976).

5.3.4.1 Composição de bandas

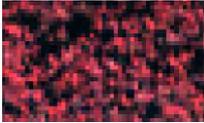
O satélite Ikonos possui sensores pancromáticos e multiespectrais. As imagens do sensor pancromático possuem resolução espacial de um metro, enquanto as imagens do sensor multiespectral possuem resolução espacial de quatro metros. Quando fusionadas, tais imagens permitem a obtenção de uma única imagem colorida com resolução espacial de um metro.

Nas imagens que abrangem a área de estudo, foram utilizadas as bandas correspondentes as faixas do visível e do infravermelho próximo. Através do *software* SPRING 5.2.1 (INPE), foi realizada a ampliação de contraste, bem como as diferentes composições de bandas para a obtenção da imagem que melhor diferenciasse os alvos existentes na área de estudo. Nesse sentido, optou-se pela composição falsa cor, que consiste na melhor composição para elaboração de mapas de uso da terra e cobertura vegetal.

5.3.4.2 Processamento das imagens

A partir do procedimento utilizado na composição das bandas, as imagens resultantes permitiram a extração de informações por meio do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos. Com a finalidade de obtenção das classes temáticas, foram analisadas as características espectrais dos alvos nas imagens, em conjunto com o suporte dos elementos guia de fotointerpretação, tais como formas, cores, padrões texturais, distribuição dos alvos e análise do contexto. Este conjunto de procedimentos buscou minimizar a subjetividade na classificação dos alvos, conferindo maior acurácia ao produto cartográfico final. Tais classes e suas respectivas características foram apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Classes e características dos alvos.

Mata Nativa		<p>Forma: irregular Textura: grosseira, dada a grande variedade de espécies, caracterizando em um dossel heterogêneo. Porte: médio a alto Tonalidade: tons de vermelho escuro mesclado com manchas mais claras (grande absorção e baixa refletância).</p>
Pastagem		<p>Forma: irregular Textura: Fina e homogênea. Porte: ausente ou rasteiro. Tonalidade: apresenta variação de verde claro mista com tonalidades avermelhadas e róseas (em razão da vegetação rasteira composta por gramíneas)</p>
Cana (manejo)		<p>Forma: Apresentam formas regulares, possuem talhões bem definidos e carregadores de pequeno espaçamento. Textura: fina e descontínua (aspecto penteado) Porte: ausente ou rasteiro. Tonalidade: azul claro/esbranquiçado (devido à ausência da vegetação)</p>
Cana		<p>Forma: Apresentam formas regulares, possuem talhões bem definidos e carregadores de pequeno espaçamento. Textura: aveludada fina (aspecto penteado) Porte: baixo Tonalidade: avermelhada escurecida, cortada por traços com tonalidades mais claras.</p>
Silvicultura		<p>Forma: como produtos do trabalho antrópico, apresentam formas geométricas bem definidas, além dos talhões abertos utilizados como carregadores. Textura: média, dada a suave irregularidade das copas pontiagudas. Porte: alto Tonalidade: avermelhada clara.</p>
Solo exposto		<p>Forma: irregular (manchas) Textura: fina Porte: ausente Tonalidade: azul claro/esbranquiçado (maior refletância devido à ausência de vegetação)</p>
Área construída		<p>Forma: Tais feições antrópicas de ocupação apresentam características bastante particulares e conspícuas na imagem. Textura: Heterogênea e grossa Porte: médio Tonalidade: Azul claro/branca (em razão da refletância dos telhados)</p>
Citricultura		<p>Forma: regular (quadriculas) Textura: fina Porte: baixo Tonalidade: escura/acinzentada (maior absorção devido à presença de vegetação)</p>
Horticultura		<p>Forma: regular (pequenos talhões) Textura: fina Porte: baixo/rasteiro Tonalidade: apresenta variação em razão dos diferentes cultivos englobados pela horticultura.</p>
Áreas alagadas e corpos d'água		<p>Forma: irregular (manchas) Textura: fina Porte: sem porte Tonalidade: escuro em razão da presença de água (absorção da radiação).</p>

Após o processo de fotointerpretação e obtenção das classes temáticas, foram realizadas visitas pontuais a campo com a finalidade de confirmar e detalhar o mapeamento realizado previamente. Desta forma foram coletadas, através do GPS modelo *Trimble 2008 Geoseries*, as coordenadas de pontos ao longo da bacia e inseridas em ambiente SIG. Tal procedimento conferiu exatidão à classificação realizada em laboratório, bem como o refinamento das classes temáticas. Assim, as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural foram definidas em: a. Mata Natural; b. Reflorestamento; c. Silvicultura; d. Pasto Limpo; e. Pasto sujo; f. Cana; g. Cana (Manejo); h. Citricultura; i. Horticultura; j. Solo exposto; k. Corpos d'água; l. Área construída.

Os valores do Fator C foram atribuídos conforme indicado em Donzeli et al. (1992), Pinto (1996), Formaggio et al. (1996) e Tôsto (2010). Tais valores foram apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Classes temáticas de uso e valores de C.

Classes	Fator C
Mata Natural	0,0004
Reflorestamento	0,001
Silvicultura	0,0158
Pasto Limpo	0,005
Pasto Sujo	0,005
Cana	0,05
Cana (Manejo)	0,05
Citricultura	0,0247
Horticultura	0,7678
Solo exposto	1
Corpos d'água	0
Área construída	0

Fonte: Donzeli et al. (1992), Pinto (1996), Formaggio et al. (1996), Souza et al (2010) e Tôsto (2010)

5.3.5 Práticas Conservacionistas (Fator P)

Os valores referentes às práticas conservacionistas (Fator P) foram obtidos de acordo com as condições de relevo da bacia. Para a área de estudo, o Fator P foi obtido com base no gradiente de declividade, que é considerado um fator limitante para o tipo de prática conservacionista a ser implementada.

Dessa forma, com base na proposta de Bertoni e Lombardi Neto (2010), para áreas com declividade até 12% foi adotado o valor de 0,6 e para áreas com declividade superior a 12%, foi atribuído o valor de 0,8.

5.3 Integração dos fatores da EUPS

5.3.1 Potencial Natural de Erosão (PNE)

No âmbito da EUPS, o Potencial Natural de Erosão (PNE) engloba somente os fatores relacionados ao meio físico: Erosividade da chuva (Fator R), Erodibilidade do Solo (Fator K) e Fator Topográfico (Fator LS). O PNE consiste em um modelo teórico, no qual multiplicação fatores citados resulta na estimativa de perda de solo em áreas desprovidas de cobertura vegetal e sem intervenção antrópica. Os fatores correspondentes aos parâmetros do meio físico foram multiplicados por meio do módulo álgebra de mapas do ArcGIS 10.2, de acordo com a Equação (9) indicada por Donzelli et. al. (1992) e Pinto (1991):

$$PNE = R * K * LS \quad (9)$$

Onde:

PNE - Potencial Natural de Erosão ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$);

R - Fator Erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ha);

K - Fator Erodibilidade do solo (MJ/ha.mm/ha);

LS - Fator Topográfico (adimensional)

Após a multiplicação dos fatores que compõem o PNE, o mapa resultante foi reclassificado de acordo os valores (Tabela 7) propostos por Scopel (1988) e Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Tabela 7. Classificação do Potencial Natural de Erosão.

Classes	PNE ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$)
Muito baixo	0 – 50
Baixo	50 – 100
Médio	100 – 200
Alto	200 - 500
Muito Alto	500 - 1000
Extremamente Alto	> 1000

Fonte: adaptado de Scopel (1988) e Bertoni e Lombardi Neto (2010)

5.3.2 Tolerância de perda de solo (T)

Os valores de tolerância de perda (T) para cada unidade de solo da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha foram definidos conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010). Tais valores estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8. Tipos de solo e respectivos valores de tolerância de perda (T)

Solos	Valor de T
Latossolo Vermelho-Amarelo	14,2
Argissolo Vermelho-Amarelo	6,6
Gleissolo Háptico	0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010)

5.3.3 Uso e Manejo Permissível (UMP)

O uso e manejo permissível (UMP) relaciona os valores do potencial natural de erosão (PNE) e as práticas conservacionistas (Fator P) com os valores de tolerância de perda para cada tipo de solo (T). A relação entre esses valores foi sintetizada, segundo Donzelli et al (1992), através da Equação 10.

$$UMP = \frac{T}{PNE * P} \quad (10)$$

O mapa resultante foi reclassificado de acordo o método proposto por Nogueira (2000), o qual associa cada classe de UMP a um determinado grau de risco a erosão (Tabela 9).

Tabela 9. Classes de UMP e Grau de risco a erosão.

Classes	Grau de risco
< 0,001	Extremamente alto
0,001 – 0,010	Muito alto
0,010 – 0,017	Alto
0,017 – 0,048	Médio
0,048 – 0,088	Baixo
0,088 – 0,200	Muito baixo
> 0,200	Extremamente baixo

Fonte: Nogueira (2000)

5.3.4 Perda de solo por erosão laminar (A)

A perda de solo (A) é resultante da integração entre todos os fatores contemplados pela EUPS. Este produto foi obtido através do módulo *Álgebra de mapas* do ArcGIS 10.2. Os valores foram calculados considerando a área de cada pixel (9 m²). Dessa forma, foi necessária a análise estatística dos dados a fim de eliminar os erros de cálculo executados pelo SIG, bem como obter a estimativa de perda de solo em toneladas por hectare. Tal análise foi realizada através do *software* Excel 2010. Por fim, os índices de perda de solo foram divididos em classes com a finalidade de representar a variação espacial do potencial de perda de solo (Tabela 10).

Tabela 10. Classes de perda de solo e respectivos graus de perda.

Perda de solo (t/ha.ano)	Grau de perda
< 1	Muito baixo
1 – 3	Baixo
3 – 5	Médio
5 – 10	Alto
> 10	Muito alto

5.3.5 Perdas de solo por erosão laminar (A) em 2014

O índice de perda de solo (A) para o ano de 2014 foi obtido com base nos mesmos procedimentos metodológicos descritos no item anterior. Contudo, o Fator R (Erosividade da chuva) foi substituído pelo Fator R calculado para as precipitações ocorridas no ano de 2014. Seguindo os mesmos procedimentos metodológicos descritos no item anterior, tais índices foram classificados qualitativamente (Tabela 10).

5.4 Transporte de Sedimentos

O transporte de sedimentos foi obtido através do método simplificado de Colby (1957), o qual se utiliza basicamente de três ábacos e dados de descarga líquida, velocidade média, profundidade média, largura da seção e concentração medida de sólidos totais. Este processo é calculado através da Equação 11.

$$Q_t = Q_{sm} + Q_{nm} \quad (11)$$

Onde:

$$Q_{sm} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_s \quad (12)$$

Onde:

$$Q_{nm} = q_{nm} \cdot K \cdot L \quad (13)$$

Desta forma, se tem:

Q_t = descarga sólida total, em (t/dia);

Q_{sm} = descarga sólida medida, (t/dia);

Q_{nm} = descarga sólida não medida (t/dia);

Q = descarga líquida (m^3/s);

C_s = concentração medida de sólidos totais (STD + STS, em mg/L);

q_{nm} = descarga sólida não medida aproximada (t/dia/m);

L = largura do rio, em m;

K = fator de correção.

O valor de Q_{nm} corresponde à descarga de arrasto somada à descarga não amostrada. O cálculo desse fator foi realizado através do *software* WinTSR, desenvolvido por Paiva et al (2002). Para tanto, foram utilizados os seguintes dados, a saber: largura do canal (m),

velocidade média (m/s), profundidade (m), vazão (m³/s) e concentração de sólidos em suspensão (mg/L). O transporte de sedimentos foi quantificado, pelo menos, uma vez por semana, totalizando quatro amostras por mês, abrangendo um ciclo hidrológico completo. Para isso foram coletadas, a cada etapa de campo, três amostras de 1 L. Tais coletas foram realizadas entre 06/01/2014 e 23/12/2014, variando em função do número de episódios de precipitação. O ponto de amostragem (Figura 12) constitui uma secção fechada com 3 metros de diâmetro localizada no exutório da bacia hidrográfica (Figura 11). A vazão no ponto de amostragem foi medida utilizando-se um molinete fluviométrico Newton (Figura 13 e Figura 14).

Após a obtenção das variáveis necessárias, o cálculo da vazão foi obtido de acordo com a Equação 14.

$$Q = \frac{AxDxC}{T} \quad (14)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

A = área da seção transversal do rio (m²);

D = distância usada para medir a velocidade do rio (m);

C = coeficiente de correção (0,8 para rios com fundo arenoso);

T = tempo (s) gasto pelo objeto flutuador para atravessar a distância D.

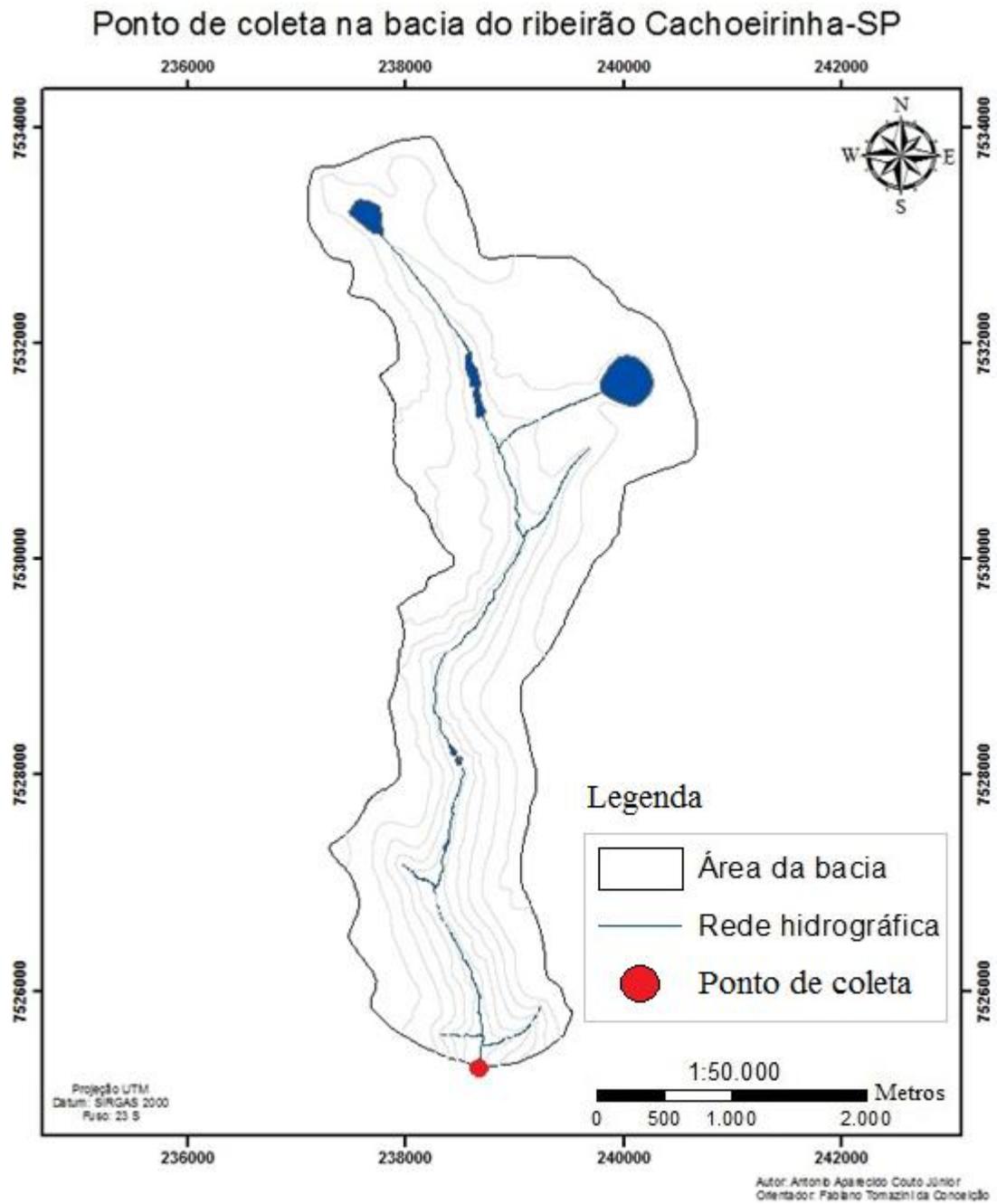


Figura 11. Localização do ponto de coleta das amostras.

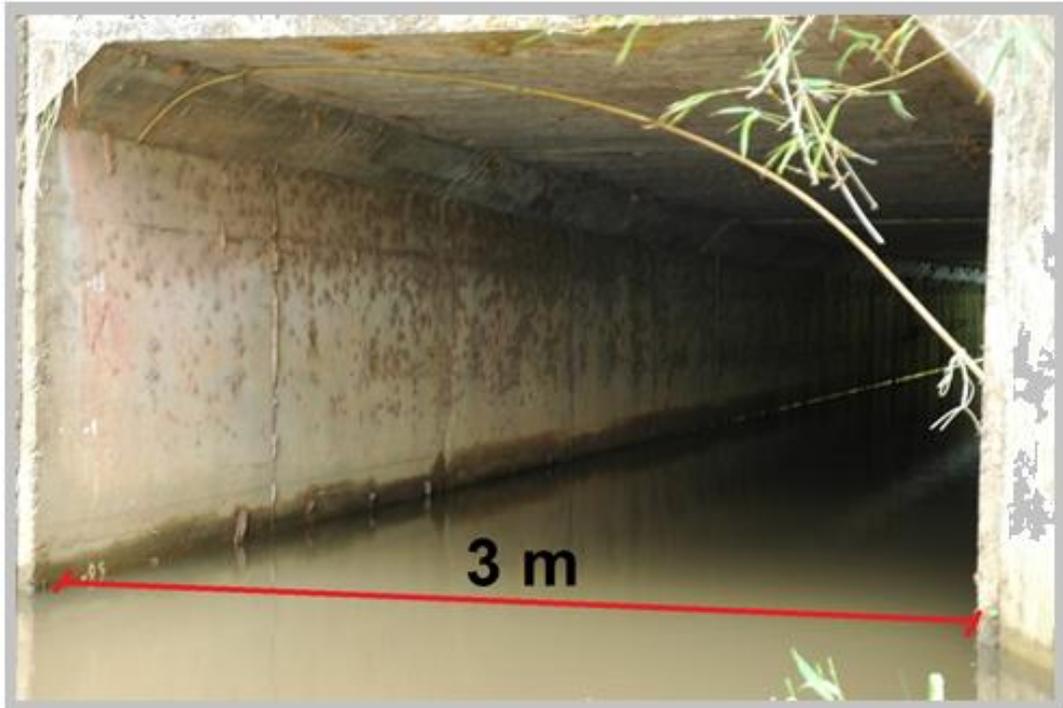


Figura 12. Secção fechada escolhida para as medições de vazão e coleta de amostras.



Figura 13. Molinete fluviométrico Newton.



Figura 14. Medição da vazão através do molinete fluviométrico Newton.

A concentração medida de sólidos totais (ST) foi obtida pela soma entre os sólidos totais dissolvidos (STD) e os sólidos totais em suspensão (STS). Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) foi obtido após a coleta de amostras em frascos de polietileno (1 L) e posterior análise no Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA). Tal análise foi realizada através da Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS (Figura 15).

Os Sólidos Totais em Suspensão (STS) foram aferidos através do Espectrofotômetro Hach DR 2800 (Figura 17). Para tanto, as amostras coletadas em campo foram transportadas para o Laboratório de Geoquímica Ambiental (LAGEA) em frascos de polietileno (1 L). As amostras foram previamente agitadas e transferidas, através de uma seringa, a tubos de ensaio (Figura 16). Em primeiro momento, foi realizada a calibragem do aparelho com amostras contendo água destilada, procedimento que confere precisão a mensuração. Após a calibragem, efetuaram-se três leituras consecutivas das amostras, sendo o valor final correspondente à média dos valores medidos.



Figura 15. Medição do STD através da Sonda Multiparâmetros YSI 556 MPS.



Figura 16. Preparo das amostras para a medição do STD.



Figura 17. Medição do STS através do Espectrofotômetro Hach DR 2800.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando os procedimentos metodológicos descritos, apresenta-se a seguir os resultados obtidos.

6.1 Hipsometria e Declividade

De acordo com o mapa altimétrico obtido (Figura 18), a bacia do Ribeirão Cachoeirinha possui seu ponto de menor altitude em 595 m e o ponto de maior altitude em 675 m, caracterizando assim, uma amplitude de 80 m.

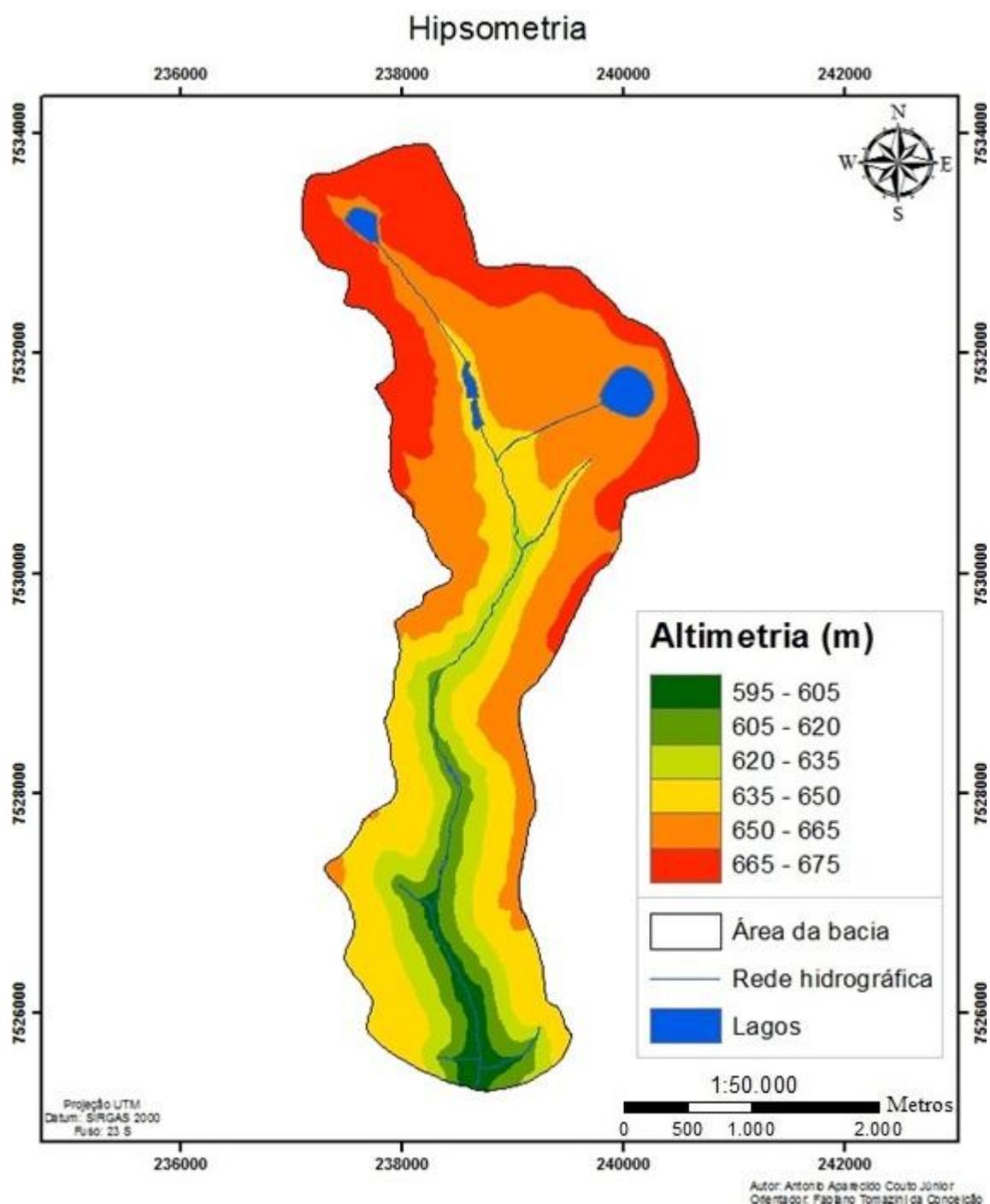


Figura 18. Hipsometria para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

A ocorrência em área das classes foi apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Classes de hipsometria.

Classes altimétricas (m)	Área (ha)	Área (%)
595 – 605	39,31	2,66
605 – 620	96,53	6,54
620 – 635	169,40	11,50
635 – 650	363,23	24,67
650 – 665	491,38	33,37
665 – 675	313,13	21,26
Total	1473	100

Em valores percentuais, 2,66% da área total da bacia possui altitudes menores que 605 m. Estas áreas situam-se no setor sul da bacia nas áreas próximas a rede hidrográfica. Com características de localização semelhante, 6,54% da área total possui entre 605 e 620 m de altitude e 11,50% apresenta altitudes entre 620 e 635 m. As altitudes intermediárias (635 a 650 m) estão concentradas no setor sul, próximas ao limite da bacia, estendendo-se até o setor central e norte. Tais altitudes ocupam 24,67% da área de estudo. As maiores altitudes (acima de 650 m) estão localizadas no setor norte e somam 54,63% da área da bacia.

A partir do Modelo Digital da Elevação (MDE) foi possível a obtenção do mapa de declividade (Figura 19).

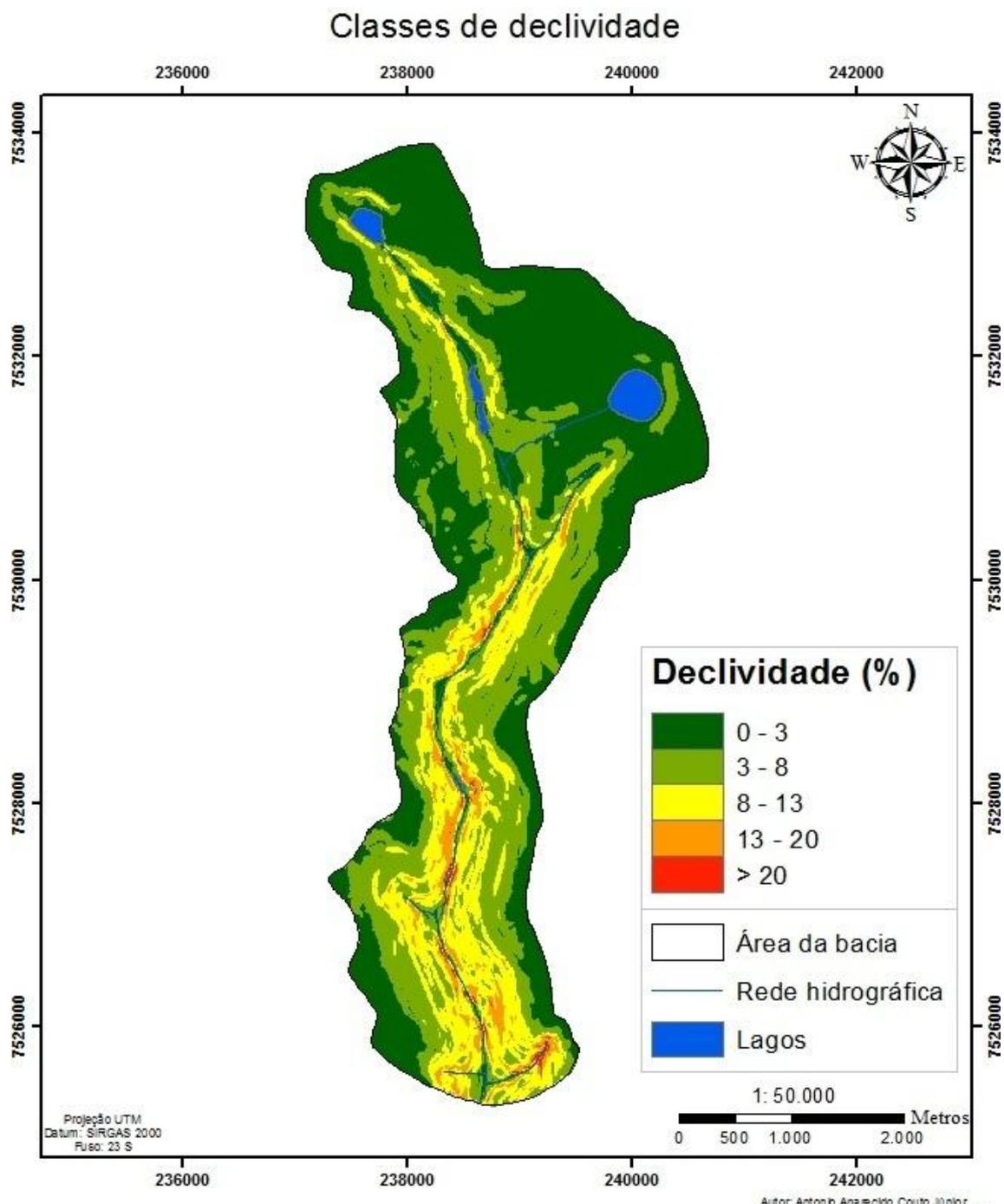


Figura 19. Mapa de classes de declividade para a área de estudo.

A ocorrência em área das classes de declividade foi sintetizada através da Tabela 12.

Tabela 12. Classes de relevo e ocorrência em área pela bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Classes	Declividade (%)	Área (ha)	Área (%)
Plano	0 - 3	665,76	45,22
Suave Ondulado	3 - 8	497,53	33,78
Ondulado	8 - 13	251,49	17,07
Ondulado	13 - 20	53,51	3,61
Forte Ondulado	> 20	4,73	0,30
Área total		1473	100

A bacia do Ribeirão Cachoeirinha apresenta relevo predominantemente plano, caracterizado por declividades menores que 3%. Este tipo de relevo permite o estabelecimento de formações lacustres, como a Lagoa Grande, situada no setor nordeste da bacia, por exemplo. As áreas de relevo suavemente ondulado (3 a 8%) estão distribuídas ao longo da bacia, caracterizadas por vertentes longas e interflúvios suaves. Os maiores gradientes de declividade (relevo ondulado) estão situados nas áreas que contornam a rede hidrográfica, com declives que variam de 8 a 13% e de 13 a 20%, sendo tais áreas correspondentes ao contato entre as formações Corumbataí e Rio Claro. A ocorrência do relevo fortemente ondulado (> 20%) esta restrita a pequenas manchas situadas nas áreas de cabeceira de drenagem e próximas ao curso d'água. Assim, é possível observar o predomínio de relevo plano em 45,22% e suavemente ondulado em 33,78% da área da bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Nesse contexto, as áreas com relevo ondulado e fortemente ondulado correspondem, somadas, a 20,98% da área de estudo.

6.2 Fatores componentes da EUPS

6.2.1 Erosividade da chuva (Fator R)

Após a aplicação dos procedimentos metodológicos previamente descritos, obteve-se o mapa do Fator R (Figura 20).

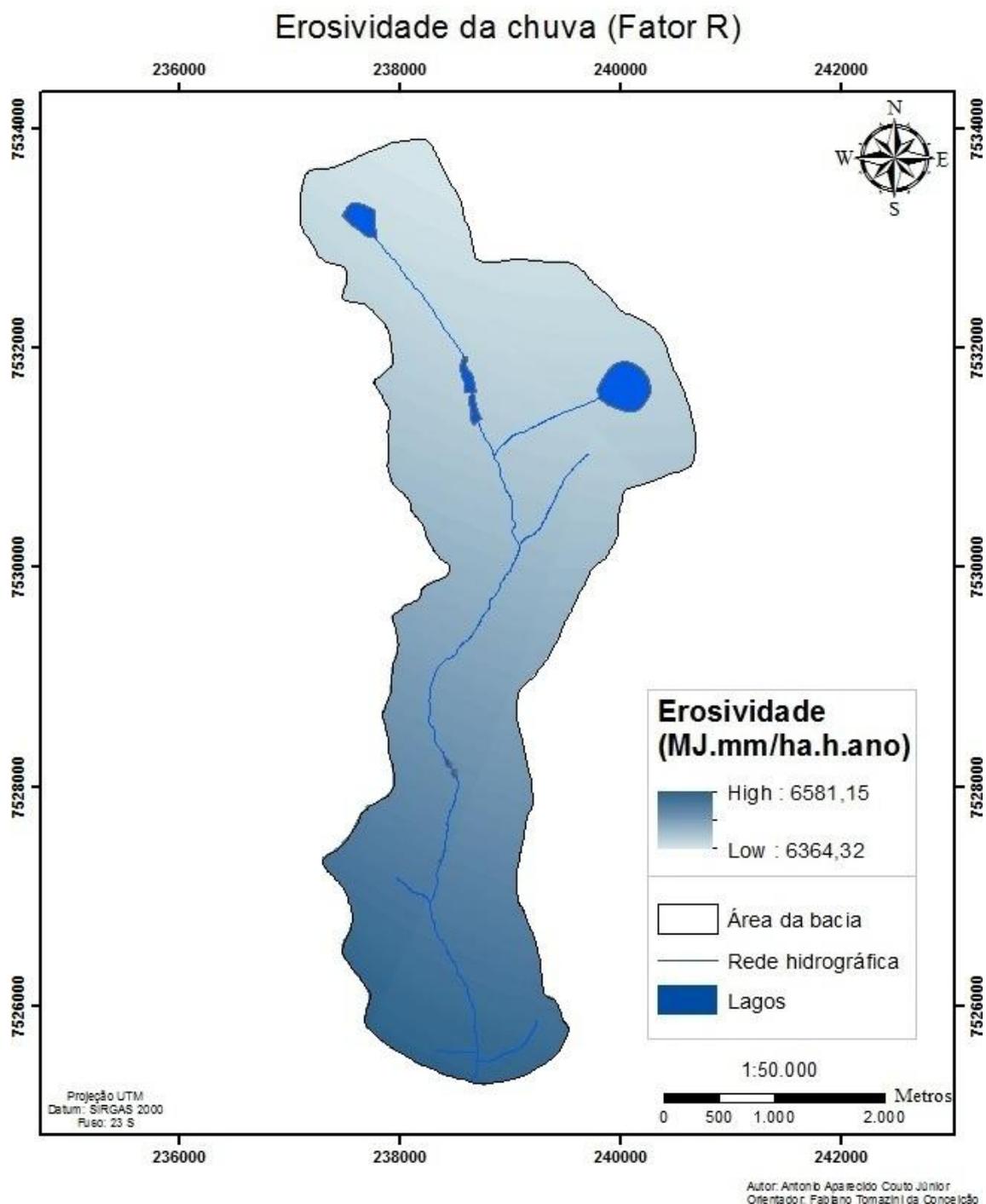


Figura 20. Erosividade da chuva (Fator R) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Os valores de erosividade obtidos variaram de 6354 a 6581 (MJ.mm/ha.h.ano), apresentando portanto, baixa amplitude. Em distribuição por área, os maiores valores situam-se no setor sul da bacia, sendo que estes vão diminuindo na medida em que se avança para a área central, atingindo seus menores índices no setor norte da área de estudo. Após a aplicação dos procedimentos metodológicos previamente descritos, obteve-se o Fator R para o

ano de 2014. Assim, o valor de erosividade obtido foi de 4166,68 (MJ.mm/ha.h.ano), sendo este, para efeito de modelagem em ambiente SIG, adotado para toda a área da bacia.

6.2.2 Erodibilidade do solo (Fator K)

A partir dos procedimentos metodológicos descritos, foi obtido o esboço fotopedológico da bacia do Ribeirão Cachoeirinha (Figura 21). Neste mapa observa-se a existência de três unidades pedológicas: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Gleissolo Háplico (GX).

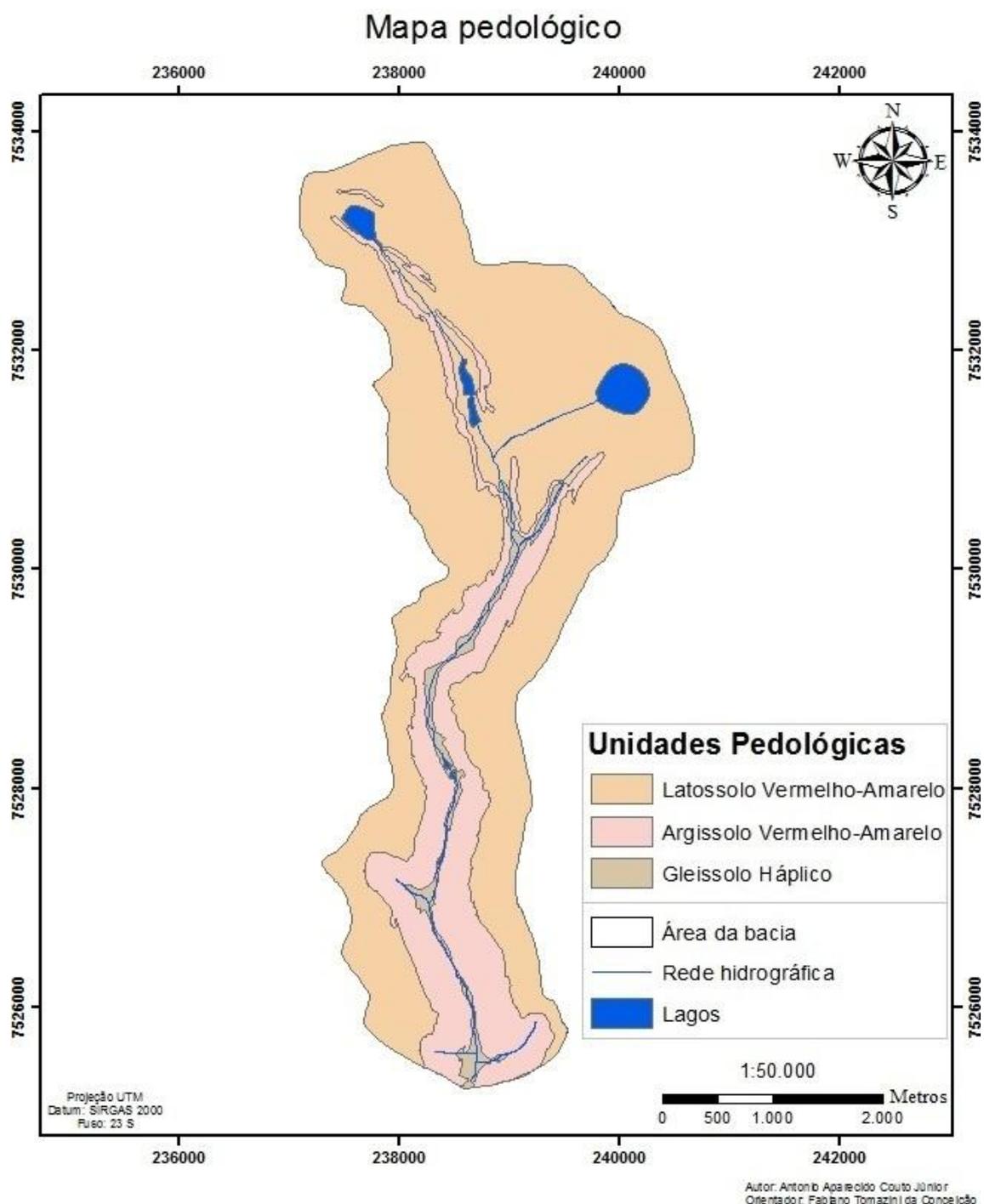


Figura 21. Unidades pedológicas presentes na bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Dentre as unidades pedológicas delimitadas, ocorre o predomínio de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), totalizando 73,56% da área de estudo (Tabela 13). Este tipo de solo está associado ao setor plano e suavemente ondulado da bacia, topografia propícia ao desenvolvimento de solos profundos e bem drenados (lixiviados). Desta forma, tais áreas possuem menor susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos.

Tabela 13. Ocorrência em área das Unidades Pedológicas.

Unidades Pedológicas	Símbolo	Área (ha)	Área (%)
Latossolo Vermelho Amarelo	LVA	1083,58	73,56
Argissolo Vermelho Amarelo	PVA	343,96	23,35
Gleissolo Háptico	GX	45,46	3,09
Área Total		1473	100

Nos setores onde o relevo apresenta-se ondulado, junto ao canal, ocorre o predomínio de Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), correspondendo a 23,35% da área da bacia. Este tipo de solo possui o horizonte B rico em argila, fator que favorece a retenção de água por longos períodos de tempo. Especificamente na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, tal fato explica a concentração de áreas destinadas à citricultura e a cana-de-açúcar, culturas favorecidas por este tipo de solo. Contudo, sua ocorrência em áreas de elevada declividade e a retenção de água no horizonte B o tornam suscetível à erosão. A saturação em eventos extremos de precipitação favorece ao carreamento dos horizontes superiores (horizonte A e horizonte E), tornando visíveis as feições erosivas ao longo das vertentes da área de estudo.

A ocorrência de Gleissolo Háptico (GX) está restrita as áreas de fundo de vale, próximas às margens do Ribeirão Cachoeirinha, ocupando 3,09 % da área de estudo. Este tipo de solo é composto por sedimentos inconsolidados, sendo estes de composição argilosa, arenosa ou argilo-arenosa. Nesse sentido, tem como principal característica a coloração acinzentada em razão do ambiente redutor decorrente da saturação por água durante longos períodos.

A partir das unidades pedológicas delimitadas, foram associados os valores de erodibilidade (K) para cada unidade pedológica, resultando no mapa do Fator K (Figura 22).

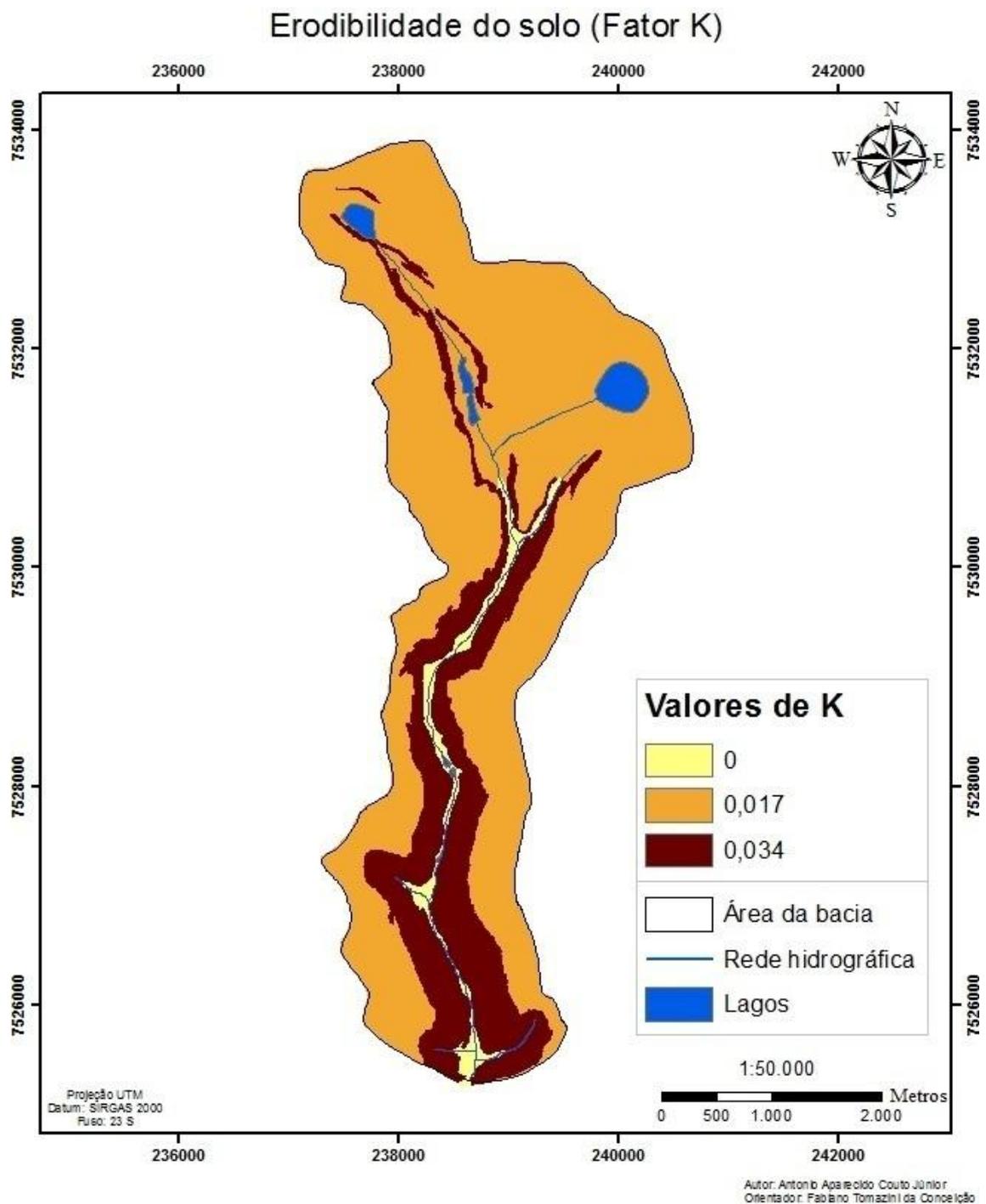


Figura 22. Valores de K associados a cada unidade pedológica da bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

O Fator K assume os valores de 0,017 para Latossolo Vermelho-Amarelo, 0,034 para Argissolo Vermelho-Amarelo e 0 (zero) para Gleissolo Háplico.

6.2.3 Fator Topográfico (Fator LS)

Obtido através da proposta de Moore e Burch (1986), o Fator Topográfico (LS) apresentou valores (adimensionais) que variam entre 0,03 e 184,076 (Figura 23).

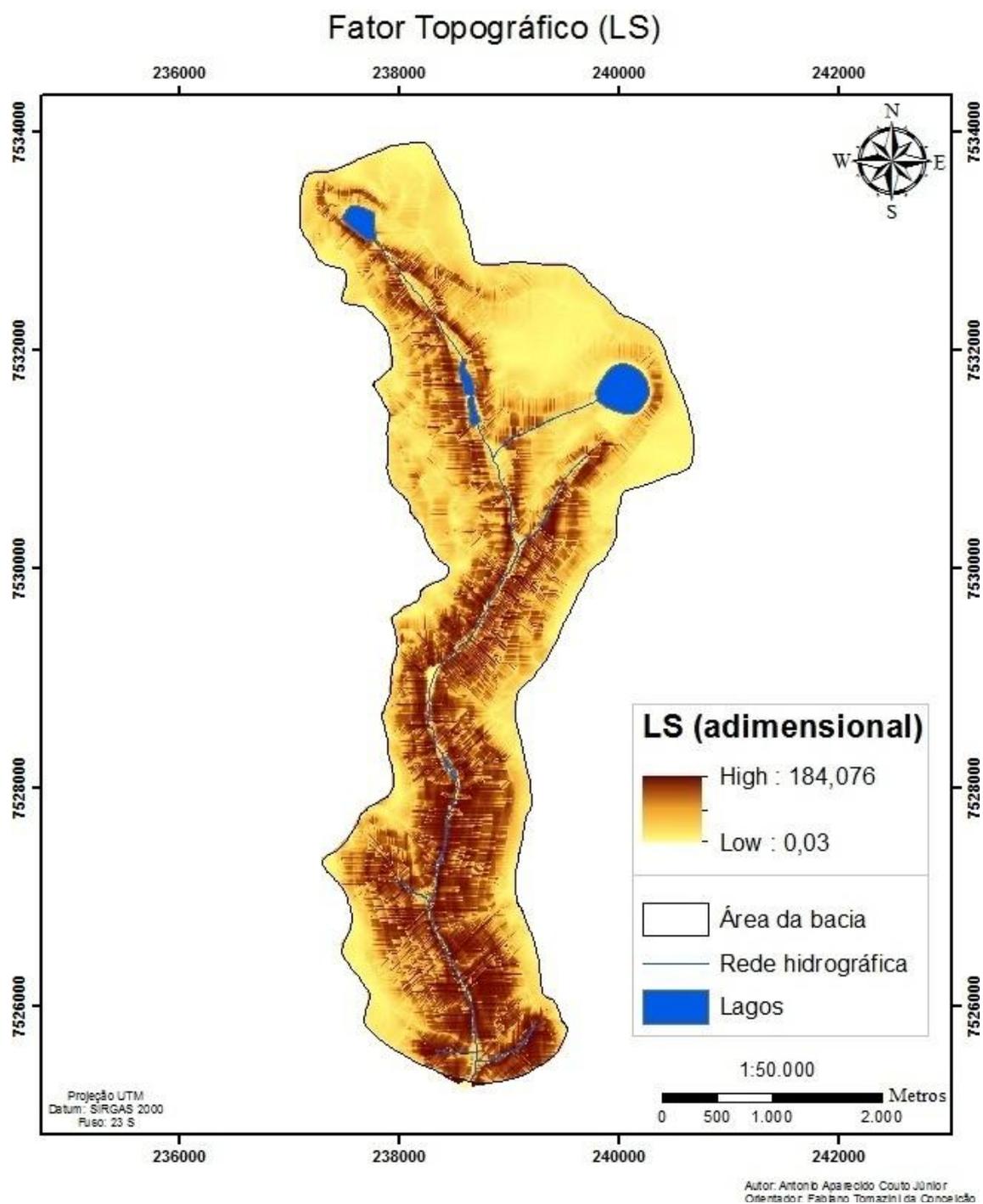


Figura 23. Fator Topográfico (LS) para bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Os maiores valores de LS situam-se em áreas onde há convergência de fluxo, bem como maiores gradientes de declividade. Essas áreas estão distribuídas ao longo da bacia, próximas a rede de drenagem. Esses valores diminuem no setor norte, onde as declividades apresentam valores menores e a convergência de fluxo é reduzida.

6.2.4 Uso e manejo da terra (Fator C)

Para a composição das bandas da imagem orbital Ikonos - PAN/MS (ano de 2013) foi utilizada a composição falsa cor (Figura 24), sendo esta a composição mais utilizada em mapeamentos de uso da terra e cobertura vegetal natural.

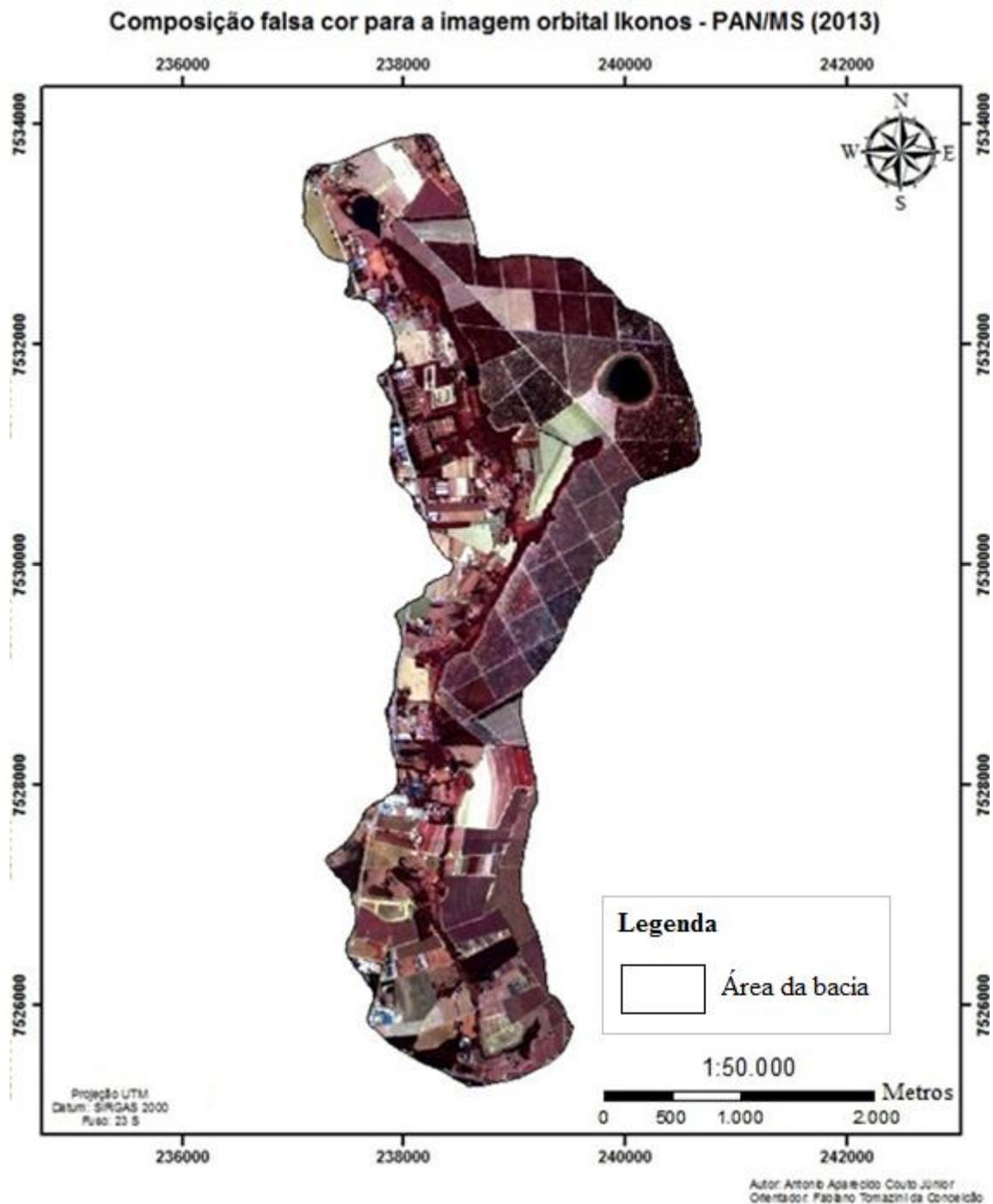


Figura 24. Composição falsa cor (IKONOS – PAN/MS) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Após os procedimentos metodológicos anteriormente descritos, foram definidas as classes de uso da terra e cobertura vegetal natural. Nesse sentido, vale ressaltar que foram realizadas visitas a campo no ano de 2015 com a finalidade de validar e atualizar o mapeamento realizado em ambiente SIG. Após a delimitação das classes de uso da terra e cobertura vegetal natural, foram atribuídos, conforme Donzeli et al. (1992), Pinto (1996), Formaggio et al. (1996) e Tôsto (2010), os valores de C (Tabela 8) para cada classe. Desta

forma, obteve-se o mapa do Fator C (Figura 25). A ocorrência em área das classes de uso foi apresentada na Tabela 14.

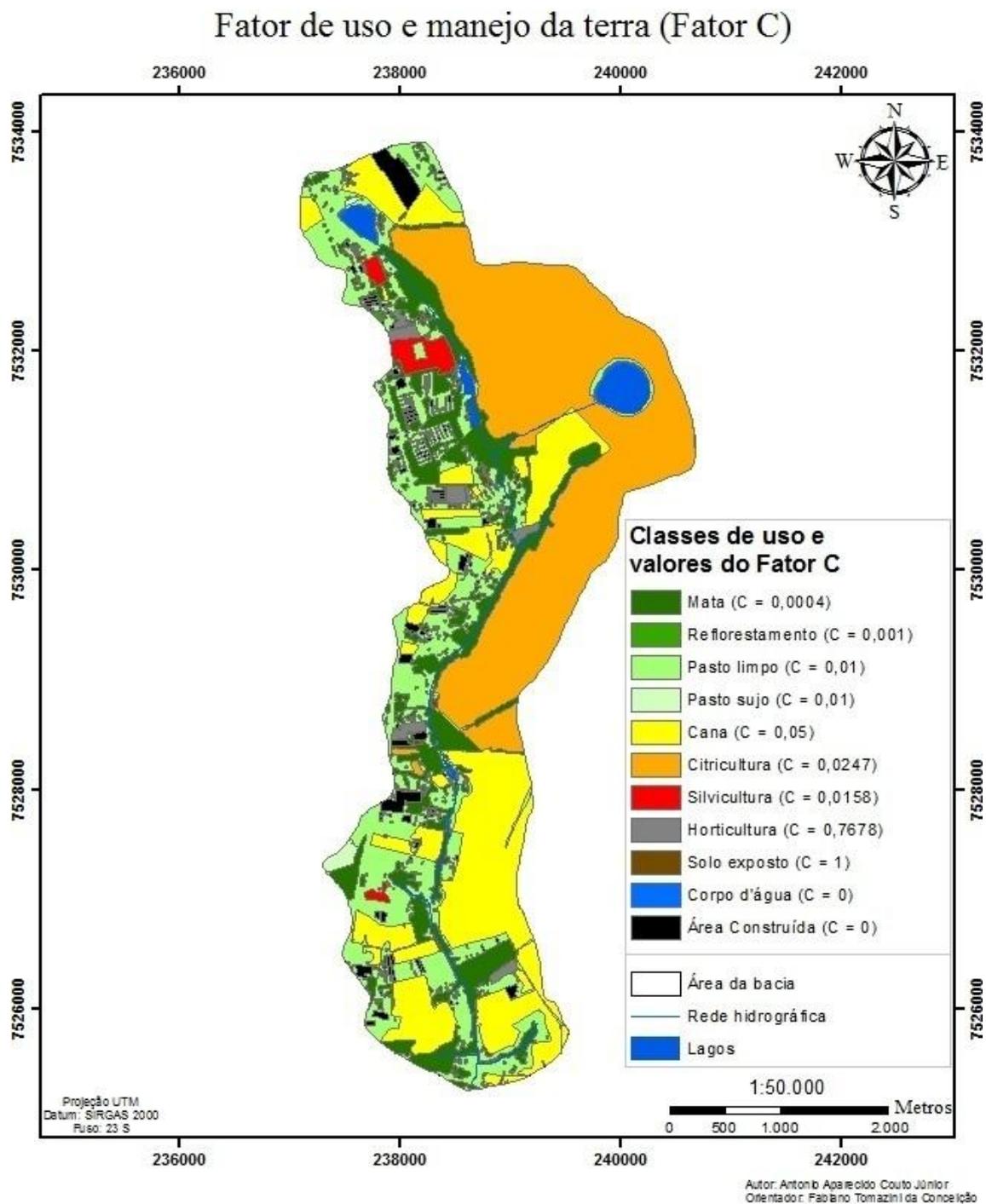


Figura 25. Fator C para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Tabela 14. Ocorrência em área das classes de uso da terra do Fator C.

Classes	Fator C	Área (ha)	Área (%)
Mata Natural	0,0004	241	16,37
Reflorestamento	0,001	4	0,03
Silvicultura	0,0158	19	1,32
Pasto limpo	0,01	325	22,09
Pasto sujo	0,01	5	0,38
Cana-de-açúcar	0,05	255	17,34
Citricultura	0,0247	469	32,0
Horticultura	0,7678	16	1,06
Solo exposto (para plantio de cana)	1	61	4,14
Solo exposto	1	6	0,44
Corpos d'água	0	30	1,99
Área construída	0	43	2,84
Total		1473	100

De acordo com o mapa do gerado (Figura 25), observa-se que a bacia é composta, em sua maior parte, por áreas de citricultura (Fator C = 0,0247). Especificamente, tais áreas são destinadas ao cultivo de laranja e estão localizadas no setor central e leste da bacia. A cobertura de mata natural (Fator C = 0,0004) possui áreas melhores preservadas no setor norte da bacia e em áreas de cabeceira do Ribeirão Cachoeirinha.

As áreas destinadas a silvicultura (Fator C = 0,0158) correspondem a pequenos talhões em pontos isolados no setor norte e oeste da bacia. Este tipo de uso está restrito ao cultivo de pinus e eucalipto, cuja finalidade está direcionada a demanda comercial. O cultivo da cana-de-açúcar (Fator C = 0,05) é caracterizado por diversos talhões espalhados ao longo da área de estudo, ocorrendo maior concentração no setor sul e leste da bacia. A importância econômica da cana-de-açúcar, sobretudo no estado de São Paulo, explica o fato da mesma apresentar a segunda maior área de cultivo da bacia.

As áreas horticolas (C = 0,7678) estão restritas a pequenos talhões concentrados em propriedades particulares, geralmente destinados ao consumo interno e ao pequeno comércio. As áreas de pasto sujo e pasto limpo (C = 0,01) encontram-se espacializadas de forma difusa ao longo da bacia, fato que denota a relevância da pecuária como atividade econômica na região. As áreas de solo exposto (C = 1) correspondem a talhões – preparo do solo para o plantio de cana - e pequenas manchas distribuídas ao longo da bacia, tais áreas são desprovidas de qualquer cobertura vegetal, favorecendo assim a potencialização de processos erosivos e consequentes perdas de solo.

6.2.5 Práticas Conservacionistas (Fator P)

Após a reclassificação do mapa de declividade, obteve-se o Fator P, representado pelo mapa (Figura 26).

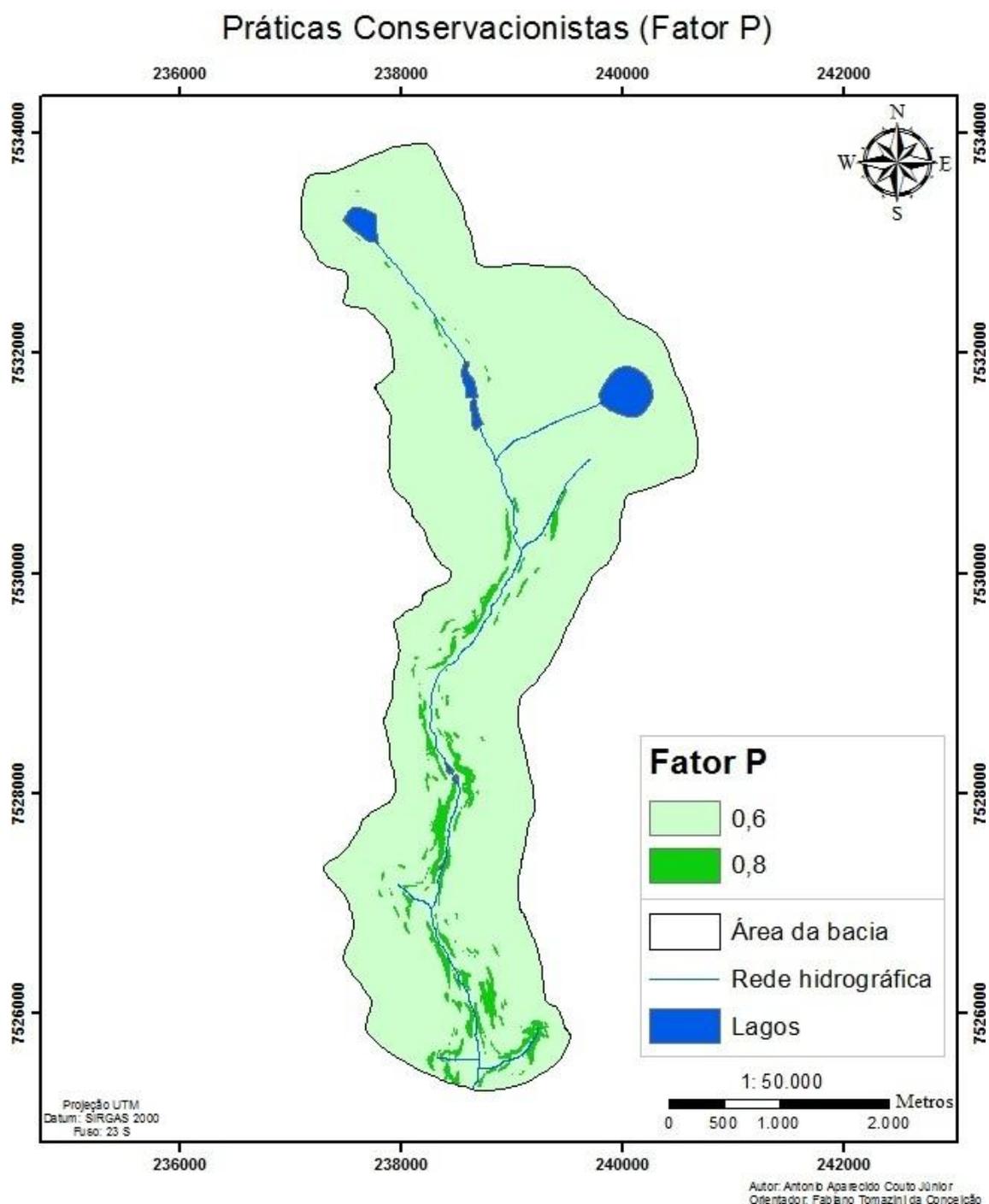


Figura 26. Práticas Conservacionistas (Fator P) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

A partir do mapa (Figura 26), observa-se que os maiores valores de P (0,8) situam-se em áreas de maior declividade e os menores valores (0,6) associam-se as áreas planas.

6.3 Integração dos fatores contemplados pela EUPS

6.3.1 Potencial Natural de Erosão (PNE)

A integração entre Erosividade da chuva (Fator R), Erodibilidade do Solo (Fator K) e o Fator Topográfico (LS) resultou no Potencial Natural de Erosão (PNE). O mapa resultante apresentou um conjunto de valores, pixel a pixel, que variam entre 0 e 1500 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Nesse sentido, o PNE da bacia indicou o valor médio de 91,2 t.ha⁻¹.ano⁻¹. A reclassificação dos valores do PNE resultou em um mapa qualitativo (Figura 27).

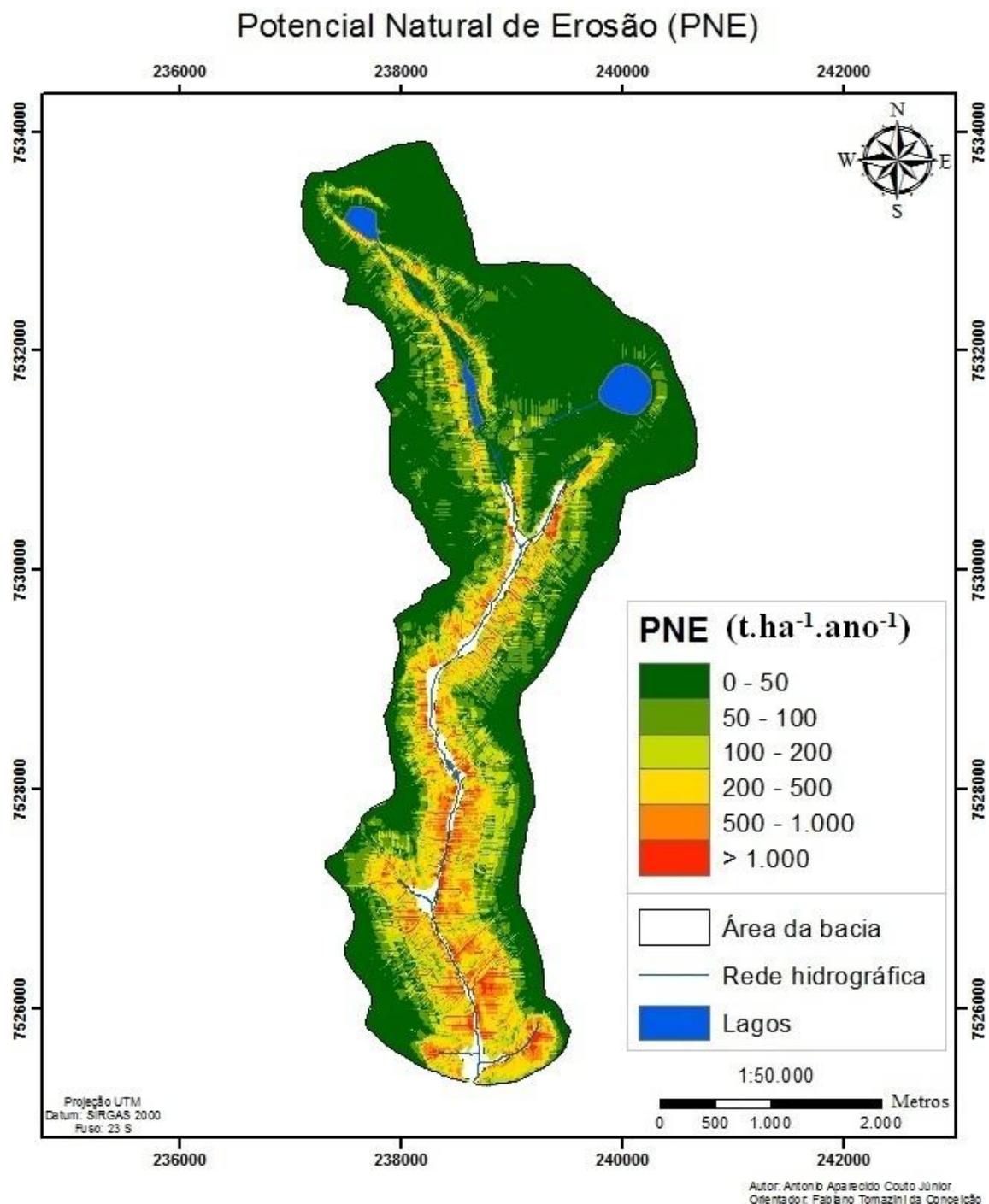


Figura 27. Potencial Natural de Erosão (PNE) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

De acordo com a Figura 27, ocorre o predomínio do PNE muito baixo (0 – 50 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e baixo (50 – 100 t.ha⁻¹.ano⁻¹) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Tais áreas apresentam relevo plano associado à ocorrência de Latossolo Vermelho-Amarelo. As baixas declividades associadas a um solo profundo e bem drenado atenuam o efeito erosivo das precipitações, resultando em baixos valores para o PNE.

Os setores da bacia onde o PNE apresenta-se alto ($200 - 500 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), muito alto ($500 - 1000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) e altíssimo ($> 1000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) estão restritos as áreas de declividades elevadas associadas à ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo. O relevo fortemente ondulado associado à elevada erodibilidade deste tipo de solo contribui para a ocorrência de processos erosivos, resultando em elevados valores do PNE. Os valores intermediários ($100 - 200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) estão situados em área de declividades médias associadas à ocorrência de Argissolo Vermelho-amarelo. A elevada erodibilidade do argissolo associada ao relevo ondulado resultaram em valores medianos para o PNE.

As áreas de fundo de vale, por terem o valor do Fator K igual a zero, foram desconsideradas. Assim, os valores do PNE para tais áreas são nulos e foram desconsiderados. As classes do PNE e suas respectivas áreas de ocorrência estão dispostas na Tabela 15.

Tabela 15. Ocorrência em área das classes do PNE para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Classes de Potencial Natural de Erosão (PNE)			
	PNE ($\text{t.ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)	Área (ha)	Área (%)
Muito baixo	0 – 50	831,1	56,46
Baixo	50 – 100	222,9	15,13
Médio	100 – 200	149,2	10,12
Alto	200 – 500	176,2	11,96
Muito alto	500 - 1000	67,6	4,57
Extremamente alto	> 1000	26,1	1,76
Total		1473	100

A partir da tabela é possível inferir que os menores valores do PNE correspondem, somados, a 71,59% da área da bacia. Os valores médios ocupam 10,12% e os valores altos correspondem a 18,29% da área de estudo.

6.3.2 Uso e Manejo Permissível (UMP)

O uso e manejo permissível (UMP) foi extraído através da integração dos valores do potencial natural de erosão (PNE) com as práticas conservacionistas (Fator P) e as perdas toleráveis para cada tipo de solo (T). Os valores obtidos variaram entre 0,00016 e 18,2 (valores adimensionais). Posteriormente, tais valores foram reclassificados qualitativamente

conforme a proposta de Donzelli (et al 1992). Desta forma, o produto cartográfico (Figura 28) apresentou 7 classes.

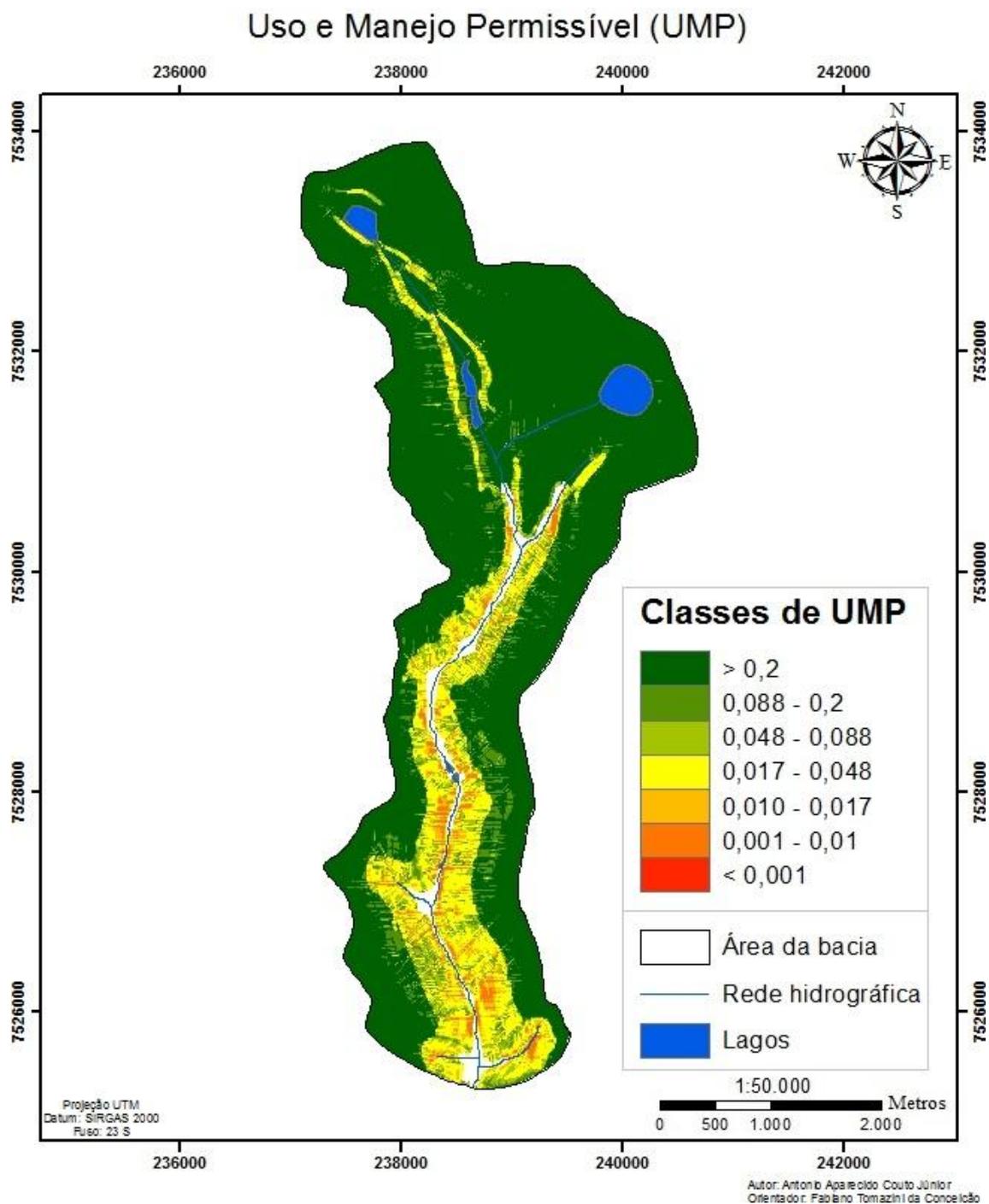


Figura 28. Uso e Manejo Permissível (UMP) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

As classes “extremamente baixas” ($> 0,2$) e “muito baixas” ($0,088 - 0,2$) estão situadas em setores da bacia onde o relevo encontra-se plano e suavemente ondulado (com declividades de até 8%). Associadas à alta tolerância de perda do Latossolo Vermelho-

Amarelo, tais áreas podem ser consideradas produtivas, apresentando baixa restrição ao cultivo agrícola. Os valores baixos (0,048 – 0,088) e médios (0,017 – 0,048) estão situados em áreas de relevo ondulado (declividades entre 8 e 20%), associadas a ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo.

As classes “alto” (0,010 - 0,017) e “muito alto” (< 0,010) correspondem a áreas onde o relevo é fortemente ondulado (acima de 20 % de declividade) associadas à ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo. Esses setores da bacia apresentam forte restrição ao cultivo agrícola e alta susceptibilidade a ocorrência de processos erosivos. Tais processos erosivos podem ser atenuados através da aplicação de práticas de manejo e preservação da cobertura vegetal natural, composta predominantemente por cerrado. A distribuição espacial das classes de UMP foi apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Classes de UMP e Grau de risco a erosão para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Classes	Grau de risco	Área (ha)	Área (%)
< 0,010	Muito alto	18,43	1,24
0,010 – 0,017	Alto	28,89	1,95
0,017 – 0,048	Médio	151,30	10,26
0,048 – 0,088	Baixo	86,74	5,88
0,088 – 0,2	Muito baixo	62,10	4,20
> 0,2	Extremamente baixo	1125,54	73,39
Área deposicional	Nulo	45,51	3,09
Total		1473	100

Assim, observa-se o predomínio de áreas com grau de risco a erosão “extremamente baixa” em 73,39% da bacia do Ribeirão Cachoeirinha. Os setores onde esses índices se apresentam “muito baixo” e “baixo” correspondem, somados, a 10,08%. Nesse contexto, o grau de risco a erosão apresenta-se “alto” em 1,95% e “muito alto” em 1,24% da área de estudo.

6.3.3 Perda de solo por erosão laminar hídrica (A)

A perda de solo (A) consiste no produto final dos fatores que compõem a EUPS. Após a integração desses fatores, obteve-se a taxa de perda de solo de 1,40 t.ha⁻¹.ano⁻¹. Destaca-se que as informações de perda apresentadas no mapa (Figura 29) representam apenas a variabilidade espacial do potencial de perda, mas não indicam a intensidade de perda para a

área, ou seja, o quanto de solo está sendo transportado acima do limite naturalmente tolerável.

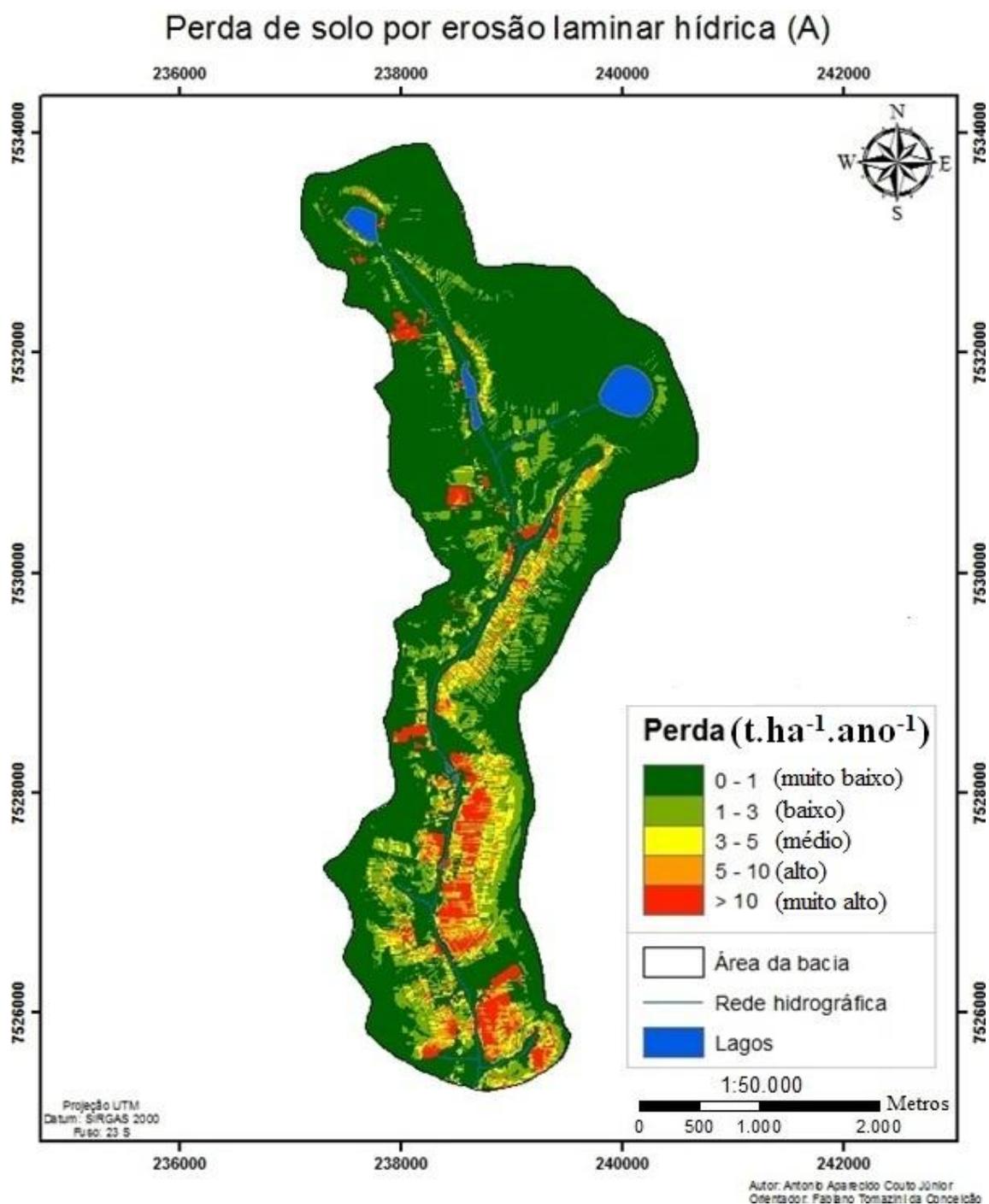


Figura 29. Perde de solo por erosão laminar hídrica (A) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Observa-se que os maiores valores estão situados em áreas de maior declividade associadas à ocorrência de coberturas pedológicas menos desenvolvidas (Argissolo

Vermelho-Amarelo), bem como em áreas desprovidas de cobertura vegetal (solo exposto). As áreas de solo exposto são caracterizadas por manchas difusas em áreas de pastagem sem manejo.

As áreas utilizadas para a citricultura (setor nordeste) apresentam alto índice apenas em áreas de baixa vertente associadas à presença de Argissolo Vermelho-Amarelo. Tal índice de perda justifica-se pela alta erodibilidade desse tipo de solo, bem como as elevadas declividades que contornam a rede hidrográfica. Em áreas de relevo plano associado à ocorrência Latossolo Vermelho-Amarelo a citricultura apresenta valores médios de perda de solo.

Os setores da bacia destinados ao cultivo da cana-de-açúcar (setor sul e leste) apresentaram altos valores de perda de solo, sobretudo em vertentes declivosas associadas à ocorrência de Argissolo Vermelho-Amarelo. Esses valores resultam da baixa proteção que a cana-de-açúcar proporciona ao solo em relação aos efeitos erosivos da chuva, bem como o preparo do solo demandado por este tipo de cultura. Nesse sentido, destaca-se a existência de talhões de solo exposto, geralmente destinados a cultivo da cana-de-açúcar, mas que estão em fase de preparo para o plantio.

Os menores valores encontram-se em áreas onde o solo apresenta baixa erodibilidade e cobertura vegetal preservada, fatores que atenuam os efeitos erosivos da chuva e, conseqüentemente, na reduzem os índices de erosão hídrica. Na bacia hidrográfica estudada, essa situação pode ser exemplificada através da observação de áreas onde ocorre a associação entre mata ciliar e pastagem (com manejo) ou relevo plano e cobertura pedológica desenvolvida (Latosolo Vermelho-Amarelo).

Os valores médios de perda são atribuídos a um conjunto de variáveis que se atenuam, como vertentes com acentuado declive e cobertura vegetal preservada ou ausência de vegetação e baixa erodibilidade do solo, por exemplo.

6.3.4 Perda de solo (A) para o ano de 2014

A partir da análise estatística dos dados de precipitação do posto pluviométrico da Fazenda São José (Posto D4-016 - DAEE), que se encontra dentro do limite da bacia hidrográfica em estudo, observou-se que a precipitação mensal acumulada para o período de 1983 - 2013 foi de 1556,1 mm por ano. Para o ano de 2014, no entanto, a precipitação mensal acumulada foi de 922,5 mm. Desta forma, o ano de 2014 apresentou redução de 41,1% em relação ao volume histórico de precipitação. Tal diferença evidencia-se, sobretudo, nos meses

de janeiro, fevereiro e março, persistindo também para o período compreendido entre abril e agosto, meses comumente mais secos. Sendo assim, o ano de 2014 pode ser caracterizado como atípico em termos climáticos. A análise comparativa dos dados de precipitação pode ser exemplificada através da Figura 30.

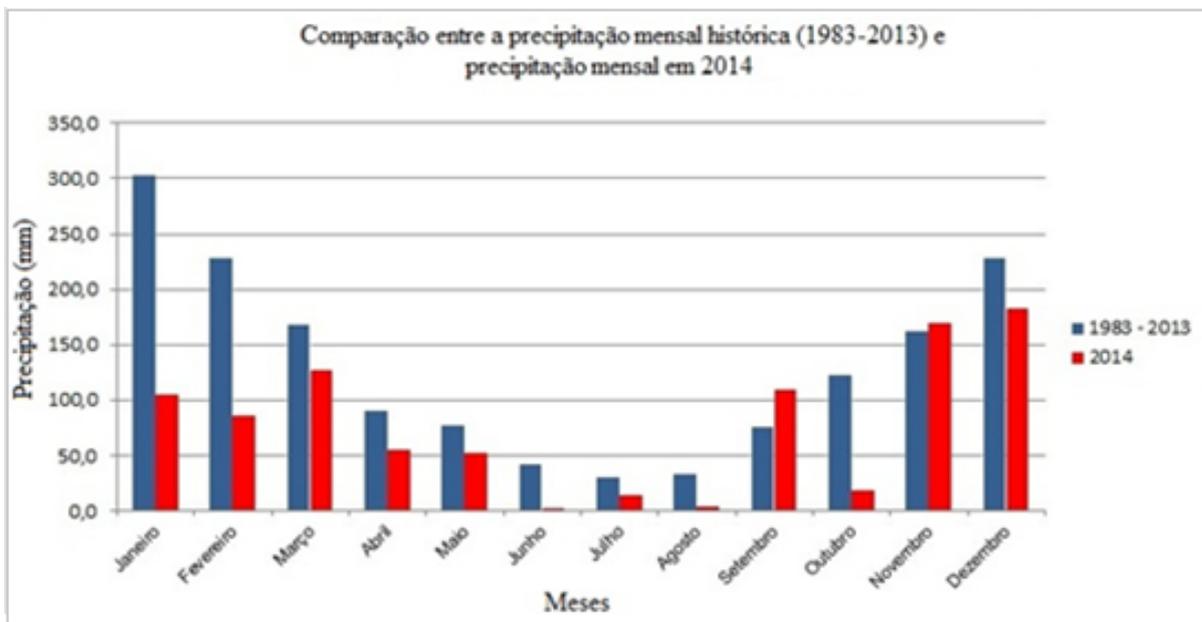


Figura 30. Comparação entre a média histórica e a média mensal de precipitação em 2014.

No âmbito da EUPS, a variação do volume de precipitação implica em alterações no Fator R (Erosividade da chuva). Sendo assim, fez-se necessário o cálculo da perda de solo (A) para o ano de 2014, uma vez que os outros fatores contemplados pela equação permaneceram inalterados. A ocorrência em área das classes e os respectivos graus de perda de solo estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17. Ocorrência em área das classes e respectivos graus de perda de solo.

Perda de solo ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	Grau de perda	Área (ha)	Área (%)
0 - 1	Muito baixo	1054,23	71,57
1 - 3	Baixo	212,11	14,40
3 - 5	Médio	70,70	4,80
5 - 10	Alto	63,49	4,31
> 10	Muito alto	72,47	4,92
Total		1473	100

A Tabela 17 indica o predomínio do grau de perda “Muito baixo” em 71,57% da área da bacia, sendo este “Baixo” em 14,40 % e “Médio” em 4,80% da área de estudo. Nesse sentido, os maiores valores (Alto e Muito alto) aparecem em 9,23% da bacia.

Após a integração dos fatores contemplados pelo modelo, obteve-se a perda de solo para o ano de 2014 (Figura 31), com a taxa de $0,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

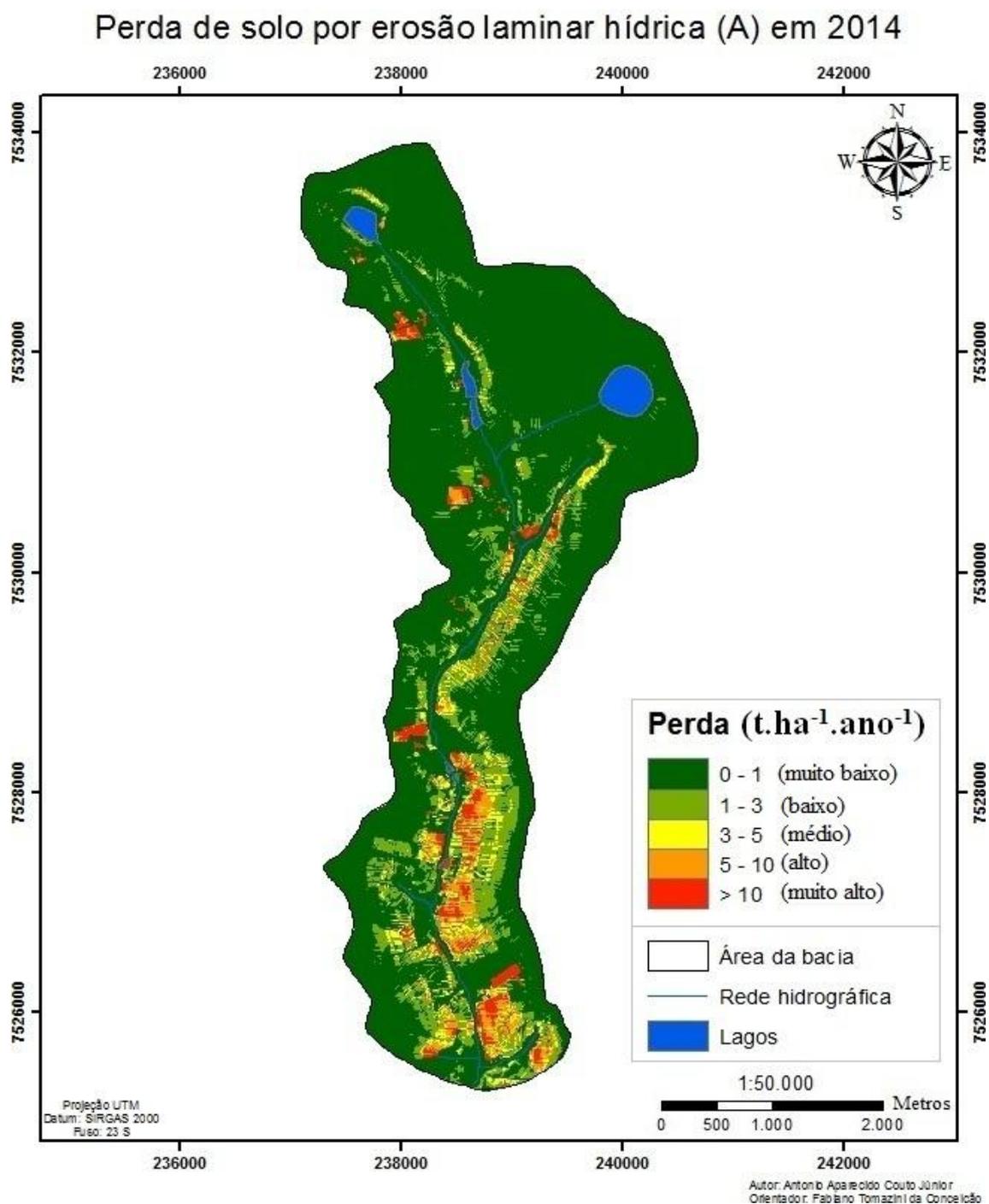


Figura 31. Perda de solo por erosão laminar hídrica (A) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha em 2014.

Em termos comparativos, a perda de solo para o ano de 2014 foi 35,7 % menor em relação àquela cujo Fator R (Erosividade da chuva) foi calculado com base na média histórica de precipitações. Tal diferença pode ser explicada pelo período de estiagem ocorrido no ano de 2014, visto que a redução do percentual de perda apresenta-se diretamente proporcional a redução do volume de precipitações.

6.4 Transporte de Sedimentos

Os dados referentes à altura da coluna d'água apresentaram variações em decorrência da alternância dos índices de precipitação inerentes as diferentes épocas do ano (Figura 31). Observou-se, apesar dos índices pluviométricos inferiores em relação à média histórica, a concentração das chuvas nos meses de janeiro, fevereiro e março. Tal concentração diminuiu nos meses de junho, julho e agosto, voltando a aumentar a partir do mês de setembro, excetuando-se outubro, até dezembro.

Os dados relativos à largura do canal, altura da coluna d'água e vazão, coletados em campo para o cálculo do transporte de sedimentos, foram organizados na Tabela 18.

Tabela 18. Dados de profundidade, velocidade e vazão para o ponto de amostragem.

Data	Largura (m)	Profundidade (cm)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
06/jan	3	23	0,84	0,58
13/jan	3	13	0,44	0,17
20/jan	3	14	0,45	0,19
27/jan	3	23	0,72	0,50
03/fev	3	21	0,54	0,34
10/fev	3	17	0,36	0,18
17/fev	3	27	0,50	0,41
24/fev	3	17	0,36	0,18
01/mar	3	17	0,36	0,18
10/mar	3	25	0,62	0,46
17/mar	3	25	0,53	0,39
24/mar	3	28	0,62	0,52
31/mar	3	24	0,50	0,36
07/abr	3	18	0,27	0,15
14/abr	3	31	0,56	0,52
23/abr	3	30	0,50	0,45
28/abr	3	30	0,54	0,49
05/mai	3	23	0,28	0,19
12/mai	3	22	0,29	0,19

*Continua

***Continuação**

Data	Largura (m)	Profundidade (cm)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
19/mai	3	23	0,32	0,22
26/mai	3	32	0,58	0,55
09/jun	3	27	0,44	0,35
16/jun	3	25	0,42	0,32
23/jun	3	28	0,44	0,37
27/jun	3	24	0,37	0,27
30/jun	3	24	0,37	0,27
07/jul	3	28	0,39	0,32
14/jul	3	25	0,42	0,32
21/jul	3	25	0,44	0,33
28/jul	3	28	0,47	0,40
04/ago	3	23	0,37	0,26
11/ago	3	23	0,35	0,24
18/ago	3	27	0,36	0,29
25/ago	3	22	0,22	0,15
01/set	3	28	0,34	0,28
02/set	3	27	0,36	0,29
08/set	3	23	0,36	0,25
15/set	3	21	0,29	0,18
22/set	3	30	0,54	0,49
06/out	3	28	0,39	0,32
20/out	3	24	0,23	0,17
27/out	3	45	0,68	0,91
03/nov	3	46	0,61	0,84
10/nov	3	40	0,50	0,60
26/nov	3	67	1,33	2,67
01/dez	3	37	0,44	0,49
08/dez	3	50	0,60	0,90
10/dez	3	67	1,29	2,59
15/dez	3	54	0,75	1,21
22/dez	3	56	0,87	1,47
23/dez	3	70	2,52	5,29

Nesse contexto, a profundidade oscilou entre 13 e 70 cm para as amostras coletadas nos dias 13 de janeiro e 23 de dezembro, respectivamente. Tais valores apresentarem, portanto, uma amplitude de 81,4% entre um período seco e um período chuvoso. Nesse sentido, a vazão está diretamente relacionada com o regime pluviométrico (Figura 32).

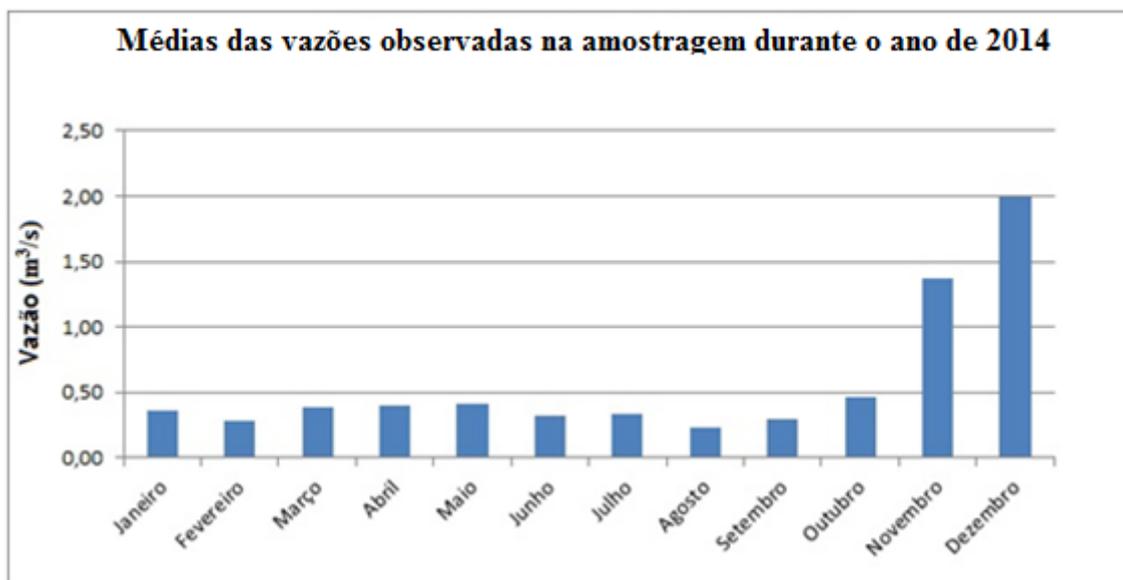


Figura 32. Variação das vazões observadas nas amostragens em 2014.

Assim, dado o ano atípico, observam-se os maiores valores estão concentrados nos meses de novembro e dezembro.

A concentração de sólidos totais dissolvidos (STD), sólidos totais em suspensão (STS) e sólidos totais (ST) foram quantificadas e os resultados são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Concentração de sólidos (STD, STS e ST) para a bacia do Ribeirão Cachoeirinha.

Data	STD (mg/L)	STS (mg/L)	ST (mg/L)
06/jan	9,00	15,00	24,00
13/jan	8,00	14,00	22,00
20/jan	9,00	25,00	34,00
27/jan	8,00	40,00	48,00
03/fev	8,00	9,00	17,00
10/fev	8,00	5,00	13,00
17/fev	8,00	67,00	75,00
24/fev	8,00	73,00	81,00
01/mar	9,00	8,00	17,00
10/mar	9,00	45,00	54,00
17/mar	9,00	10,00	19,00
24/mar	9,00	32,00	41,00
31/mar	8,00	32,00	40,00
07/abr	8,00	5,00	13,00
14/abr	8,00	10,00	18,00
23/abr	9,00	48,00	57,00
28/abr	8,00	6,00	14,00
05/mai	8,00	3,00	11,00
12/mai	8,00	12,00	20,00

*Continua

*Continuação

Data	STD (mg/L)	STS (mg/L)	ST (mg/L)
19/mai	9,00	5,00	13,00
26/mai	9,00	27,00	36,00
09/jun	8,00	45,00	53,00
16/jun	9,00	5,00	14,00
23/jun	8,00	7,00	15,00
30/jun	8,00	6,00	14,00
07/jul	8,00	6,00	14,00
14/jul	9,00	4,00	13,00
21/jul	8,00	3,00	11,00
28/jul	8,00	4,00	12,00
04/ago	8,00	4,00	12,00
11/ago	9,00	5,00	14,00
18/ago	8,00	6,00	14,00
25/ago	8,00	3,00	11,00
01/set	10,00	13,00	23,00
02/set	8,00	6,00	14,00
08/set	9,00	6,00	15,00
15/set	9,00	4,00	14,00
22/set	10,00	5,00	15,00
06/out	9,00	6,00	15,00
20/out	10,00	5,00	15,00
27/out	10,00	6,00	16,00
03/nov	9,00	8,00	17,00
10/nov	10,00	4,00	14,00
26/nov	10,00	16,00	26,00
01/dez	10,00	4,00	14,00
08/dez	8,00	4,00	12,00
10/dez	9,00	14,00	25,00
15/dez	10,00	11,00	21,00
22/dez	9,00	10,00	19,00
23/dez	10,00	35,00	45,00

A observação dos resultados apresentados na Tabela 19 permite inferir que a concentração de sólidos totais em suspensão (STS) é maior no período compreendido entre janeiro e março e entre novembro e dezembro. Embora o ano de 2014 tenha sido atípico em razão do baixo volume de precipitações, os maiores valores de precipitação acumulada estão relacionados aos meses anteriormente citados.

A maior concentração dos sólidos totais em suspensão (STS) ocorre durante o período com maior volume de precipitações (nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro) e em

meses em que as amostragens foram realizadas imediatamente após eventos isolados (abril e maio). Nesse período, a concentração de sólidos totais em suspensão corresponde a 65% do total registrado durante o ano, apresentando-se maior em relação à concentração de sólidos totais dissolvidos (STD). Contudo, no período seco esta proporção se inverte, predominando assim, a maior concentração de sólidos totais dissolvidos. Tal dinâmica pode ser observada através da Figura 33.

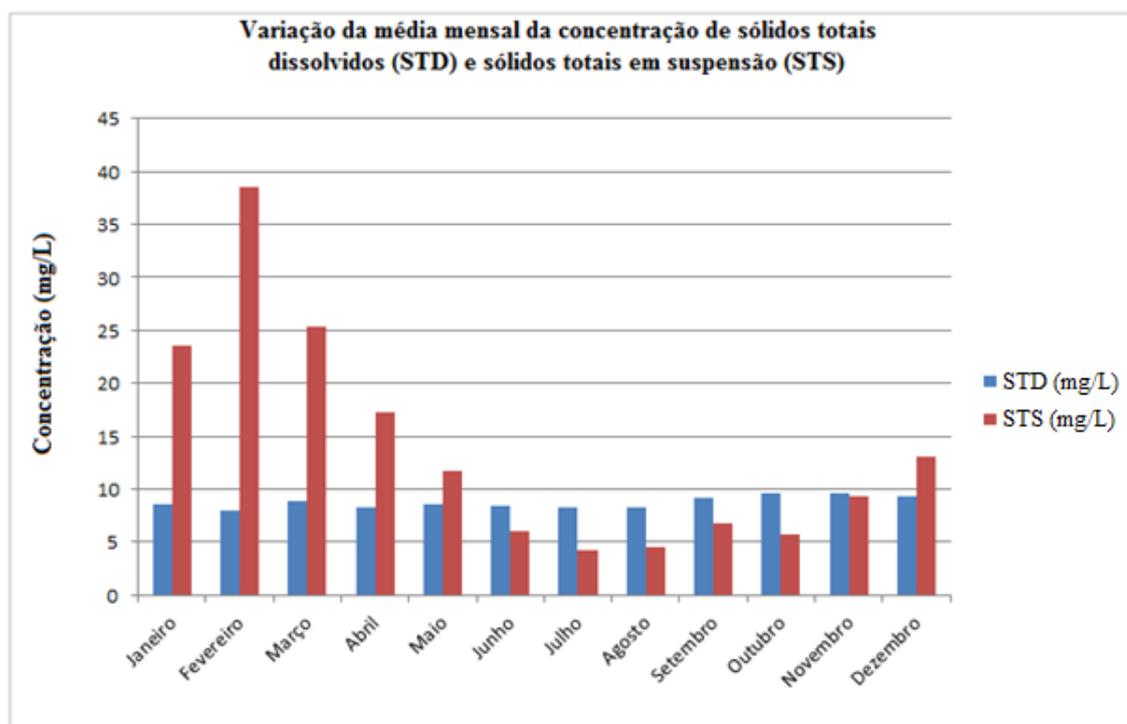


Figura 33. Variação da média mensal de STD e STS.

A partir dos resultados obtidos é possível inferir que o período chuvoso causa o aumento da vazão e, conseqüentemente, da velocidade do fluxo do canal, permitindo assim o transporte de maior quantidade de material em suspensão. Em períodos de estiagem a velocidade do fluxo diminui, levando esses sedimentos a se depositarem no fundo do canal ou serem transportados por arrasto.

Em relação à quantificação do transporte de sedimentos através do método simplificado de Colby (1957), os resultados obtidos foram apresentados na Tabela 20. Os resultados obtidos mostraram o predomínio do transporte de sedimentos por arrasto durante o período analisado, sendo este tipo de transporte condizente com os sedimentos encontrados no exutório da bacia, que compõem um material arenoso. Tal material é proveniente da

Formação Rio Claro, dado o contexto geológico e geomorfológico no qual a bacia está inserida.

Tabela 20. Transporte de sedimentos durante o ano de 2014.

Data	Colby (kg/dia)	Total Descarga Sólida (kg/dia)	Total (kg/dia)	Total (t/dia)
06/jan	10000	10753	1120	11,20
13/jan	1900	2110	330	0,33
20/jan	2780	3192	560	0,56
27/jan	11700	13411	2053	2,05
03/fev	2600	2865	501	0,50
10/fev	700	779	205	0,20
17/fev	7350	9705	2636	2,64
24/fev	3350	4498	1274	1,27
01/mar	900	1026	267	0,27
10/mar	8900	10693	2152	2,15
17/mar	2680	3020	646	0,65
24/mar	7540	8984	1850	1,85
31/mar	4500	5503	1254	1,25
07/abr	360	423	164	0,16
14/abr	3150	3598	807	0,81
23/abr	6110	7991	2234	2,23
28/abr	2190	2442	588	0,59
05/mai	300	349	181	0,18
12/mai	730	929	331	0,33
19/mai	550	645	265	0,26
23/mai	23900	29245	6052	6,05
26/mai	6020	7310	1720	1,72
09/jun	4320	5697	1622	1,62
16/jun	1060	1196	381	0,38
23/jun	1450	1672	476	0,48
30/jun	870	1010	326	0,33
07/jul	1000	1168	393	0,39
14/jul	947	1056	354	0,35
21/jul	908	993	310	0,31
28/jul	1256	1393	410	0,41
04/ago	693	782	267	0,27
11/ago	684	787	288	0,29
18/ago	831	981	349	0,35
25/ago	176	214	141	0,14
01/set	1162	1479	561	0,56
02/set	831	981	349	0,35
08/set	810	938	321	0,32
15/set	384	447	205	0,21
22/set	1988	2198	630	0,63
06/out	1003	1171	421	0,42

*Continua

*Continuação

Data	Colby (kg/dia)	Total Descarga Sólida (kg/dia)	Total (kg/dia)	Total (t/dia)
20/out	270	342	215	0,21
27/out	4678	5150	1260	1,26
03/nov	4240	4819	1231	1,23
10/nov	1162	1371	732	0,73
26/nov	42438	46124	5990	5,99
01/dez	1218	1388	596	0,60
08/dez	2841	3152	933	0,93
10/dez	36834	39962	5138	5,14
15/dez	8330	9477	2190	2,19
22/dez	11571	12839	2409	2,41
23/dez	293133	26499	20575	20,58
Média	10496	5976	1497	14,97

A partir dos resultados expostos (Tabela 20) é possível observar a variação da quantidade de material transportado no decorrer do ano, variando de 0,16 (t/dia) em períodos de estiagem até 20,58 (t/dia) em períodos chuvosos.

O transporte medido nas amostragens encontra-se ilustrado na Figura 34.

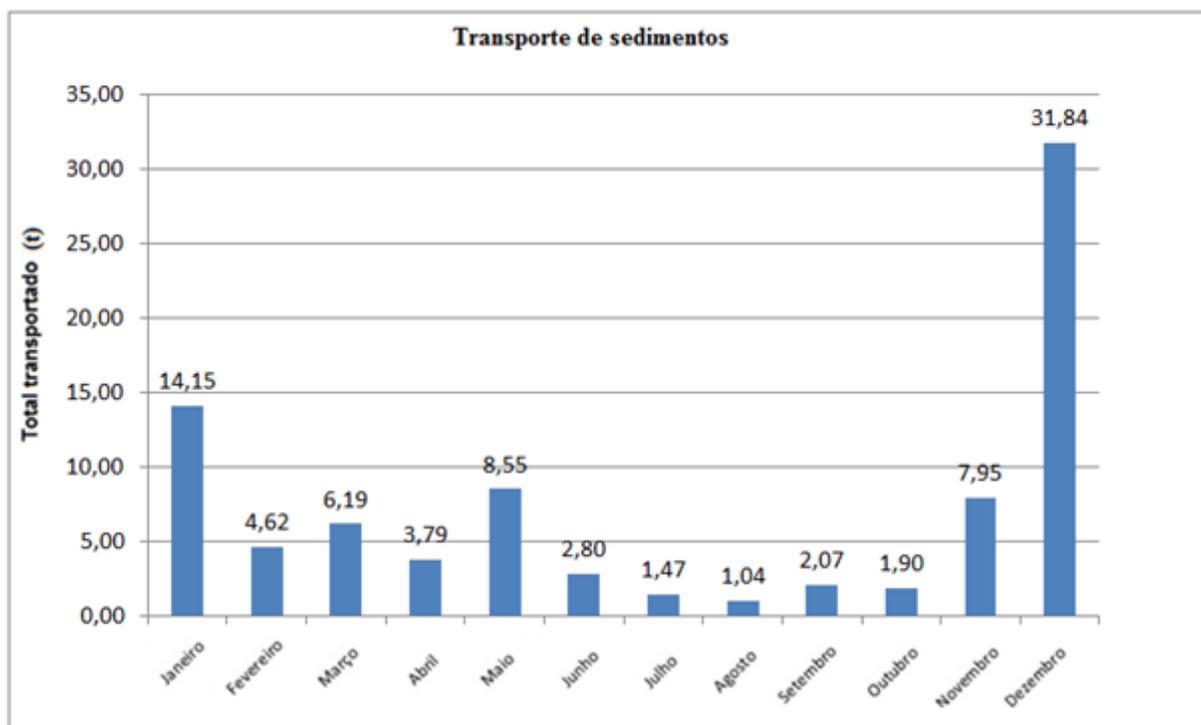


Figura 34. Total de sólidos transportados na soma das amostragens realizadas durante o ano de 2014

O total de sedimentos transportado por mês denota significativa diferença entre meses chuvosos e secos. Nesse sentido, destacam-se os índices de transporte nos meses de fevereiro (4,62 t) e março (6,19 t) abaixo do valor apresentado em maio (8,55 t). Tais índices podem ser

explicados pelo baixo volume de precipitações registrados nesses meses, bem como a ocorrência de eventos pluviométricos isolados no mês de maio. Nos meses de novembro (7,95 t) e dezembro (31,84 t) o volume de precipitações aumentou, elevando assim o volume de material transportado pelo canal fluvial.

Se os valores de transporte obtidos para cada dia forem multiplicados por 365 dias, então se tem o total de 546 toneladas de sedimentos transportados no ano de 2014. Dividindo-se o valor total transportado pela área da bacia (1473 ha), estima-se a remoção de $0,37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, sendo este valor correspondente 41,1 % em relação ao total de sedimentos produzidos em toda a bacia do Ribeirão Cachoerinha ($0,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$). Dessa forma, para o ano de 2014, 58,9 % do total de sedimentos produzidos não chegaram ao curso d'água, ficando assim retidos em áreas com declividades suaves, porções salientes do terreno ou em planícies, sendo este percentual referente à Taxa de Entrega de Sedimentos (TES), conforme indicado em Walling (2008).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A EUPS, amplamente aplicada para estimativa de erosão laminar hídrica em bacias hidrográficas, mostrou-se adequada para os objetivos propostos na presente pesquisa. Assim, a extração e a integração dos fatores contemplados pelo modelo em ambiente SIG exigiu a utilização de critérios que conferiram maior acurácia ao produto cartográfico final, uma vez que o acúmulo de erros pode gerar resultados finais que não refletem os processos naturais inerentes aos sistemas ambientais.

A quantificação da perda de solo, através da EUPS, indicou, para 2014, a taxa de $0,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Em razão da predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo e da topografia pouco movimentada, a erosividade da chuva (Fator R) e o uso da terra (Fator C) são os fatores que mais influenciam nas taxas de perda de solo para a área de estudo. Nesse sentido, o predomínio da cultura da cana-de-açúcar, a existência de extensa área de pastagem e a presença de manchas de solo exposto contribuiu tanto para a ocorrência quanto para a intensificação dos processos erosivos laminares, sendo estes os setores da bacia que apresentaram as maiores taxas de perda de solo.

A quantificação do transporte de sedimentos permitiu o conhecimento da dinâmica fluvial do Ribeirão Cachoeirinha. Nesse sentido, indicou, para o ano de 2014, a taxa de transporte de $0,37 \text{ t ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo a maior parte deste material transportado, em razão das características físicas da bacia, em suspensão durante os períodos com maiores índices de precipitação. Assim, o material transportado corresponde a 41,1 % em relação ao total produzido para o mesmo ano, sendo a diferença depositada ao longo das vertentes. Tal fato denota a influência dos processos de erosão e transporte tanto na topografia do canal fluvial quanto na evolução dos aspectos geomorfológicos da bacia.

No âmbito da modelagem ambiental, salienta-se que a utilização de modelos preditivos de perda de solo, como a EUPS, está associada utilização de bases cartográficas consistentes. Nesse sentido, a falta de documentos cartográficos atualizados ou com alto nível de detalhe pode comprometer a qualidade das informações derivadas. Assim, as informações temáticas que compõem o modelo devem possuir o mesmo padrão de detalhe, evitando que a estimativa de perda de solo mostre resultados não condizentes com a realidade. Especificamente sobre a EUPS, salienta-se que a aplicação deste modelo em uma bacia hidrográfica pode superestimar o volume de solo perdido, pois se trata de um modelo preditivo implementado em ambiente computacional e, como tal, não consegue contemplar a

totalidade dos processos geomorfológicos que ocorrem em uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, trata-se de um modelo simples cuja precisão aumenta quando são realizadas visitas a campo para coleta de dados e instalação de parcelas experimentais, procedimentos que tornam os valores das estimativas de perda de solo mais próximos dos valores reais. Contudo, a implementação da equação em ambiente computacional é relativamente rápida e não demanda elevados investimentos financeiros, fatores que tornam o modelo viável para fins de planejamento agrícola e ambiental, sobretudo para tomadas de decisão por órgãos do setor público.

Por fim, a quantificação da produção de sedimentos através da EUPS, bem como a quantificação do transporte de sedimentos através do método simplificado de Colby (1957) ambos possibilitaram o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica da área de estudo. Dessa forma, os resultados desta pesquisa podem dar suporte a implementação de medidas preventivas ou mitigadoras de processos erosivos em bacias hidrográficas, pois permite a identificação de áreas prioritárias e, conseqüentemente, a definição de diretrizes de planejamento e gestão do meio físico.

8. BIBLIOGRAFIA

ADDIS, H.K.; KLIK, A. Predicting the spatial distribution of soil erodibility factor using USLE nomograph in an agricultural watershed, Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research** 3, p. 282–290, 2015.

AMARAL, A. Z; AUDI, R. **Fotopedologia**. In: Elementos de pedologia. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo e Editora Polígono, 459 p, 1972.

ANDREOZZI, S. L. **Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica**. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

ANDERSON, J. R.; HARDY, E. E.; ROACH, J. T.; WITMER, R. E. **A land use and land cover classification system for use with remote sensor data**. U.S. Gov. Print. Off. Washington, D.C, 1976.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PAMPALONE, V. A new version of the USLE-MM for predicting bare plot soil loss at the Sparacia (South Italy) experimental site. **Hydrological Processes**, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 6ª Ed. São Paulo: Ícone, 365p, 2010.

BJÖRNBERG, A.J.S.; LANDIM, P.M.B.; MEIRELLES, G.M.F. Restos de plantas modernas em níveis elevados na região de Rio Claro - São Paulo. **Boletim Escola Engenharia de São Carlos**, Universidade de São Paulo. Geologia 11: 37- 57, 1964 a.

BJÖRNBERG, A.J.S.; MACIEL, A.C.; GANDOLFI, N. Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro - São Paulo. **Boletim Escola Engenharia de São Carlos**, Universidade de São Paulo. Geologia 11: 21-36, 1964 b.

BLOISE, G. L. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; REATTO, A; GUIMARÃES, R. F.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. (2001). Avaliação da Suscetibilidade Natural à Erosão dos Solos da Bacia do Olaria-DF. Planaltina: EMBRAPA Cerrados. 1 CD-ROM. (Embrapa Cerrados. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 14).

BONOTTO, D.M.; MANCINI, L.H. Estudo hidroquímico e isotópico dos aquíferos de Rio Claro (SP). **Geochimica Brasil**, v.6, 153-167, 1992.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. Cap. 24, p 915- 943, In Tucci, C. E. M. (org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre-RS. Editora da Universidade: ABRH, 1997, Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4. 943p. 1995.

BROWNING, G.M.; PARISH, C.L.; GLASS, J. A. Method for determining the use of limitations of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa. **Journal of American Society of Agronomy**, Madison, Wisc, 39: 65 - 73, 1947.

CABEDA, M.S.V. **Computation of storm EI Values**. West Lafayette: Purdue University, 6p, 1976. (unpublished).

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª Edição. Ed. Interciências. Rio de Janeiro, 2008.

CEMIN, G.; PÉRICO, E.; SCHNEIDER, V.E.; FINOTTI, A.R. Determinação da perda de solos por erosão laminar na bacia hidrográfica do arroio Marrecas, RS, Brasil. **Scientia Plena**, v. 9, n. 1, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. E. Blücher, São Paulo, 1999.

COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Transactions, American Geophysical Union**. V.38, n.5, p.708-719, 1957.

DEMATTE, A.J. Discriminação de unidades de paisagem para fins de levantamentos pedológicos por meio da resposta espectral orbital. **Acta Scientiarum. Agronomy** (Online), v.32, n.3, p.555-561, 2010.

DESMET, P.J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil Water Conservation**, 51:427- 433, 1996.

DE SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) na bacia do Córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, 2013.

DEVATHA, C. P.; DESHPANDE, V.; RENUKAPRASAD, M. S. Estimation of Soil loss Using USLE Model for Kulhan Watershed, Chattisgarh-A Case Study. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1429-1436, 2015.

DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para o planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. Campinas, **Documentos IAC**, v. 29, p.91-119, 1992.

DOS SANTOS, M L.; DE MORAIS, E. S. Produção de sedimentos em bacia hidrográfica de pequena ordem: uso de modelos matemáticos, bacia do Ribeirão Maringá, Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Brasília: CNPS, 412p, 1999.

ESRI. Georeferencing toolbar tools. In: _____. ArcGIS 10.2. Desktop help.

Disponível em: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//009t000000mp000000>

Acesso em: 09 de dez 2014.

FORMAGGIO, A.R.; EPIHANIO, J.C.E.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B.

Comportamento espectral (450-2450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.467-474, 1996.

FREIRE, R.; TAVARES, C.R.G.; SOARES, P.F.; ABREU, M.H.M. Correlação entre condição da superfície do solo agrícola e o coeficiente de absorção acústica. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9, n. 4, p. 708-721, 2014.

HOLEMAN, J.N. The sediment yield of major rivers of the world. **Water Resources Research**, v.4, n.4, p. 737-747, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro, 128p, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. São Paulo: IBGE, 2007. 2ª Ed.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo) - IGC/SP. Folha: **SF-23-Y-A-I-4-NE-B**. Escala 1:10.000, 2010.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo) - IGC/SP. Folha: **SF-23-Y-A-I-4-NE-D**. Escala 1:10.000, 2010.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo) - IGC/SP. Folha: **SF-23-Y-A-I-4-NE-F**. Escala 1:10.000, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - bacia do Peixe - Paranapanema. São Paulo, **IPT- Relatório Técnico** n.23.739, 1986.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil**. 1977. Dissertação (Master of Science) - Purdue University, West Lafayette, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da Chuva: Sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, Campinas, 51(2):189-196, 1992.

LOWE, W.H. Landscape-Scale Spatial Population Dynamics in Human-Impacted Stream Systems. **Environmental Management**, v. 30, n.2, p.225-233, 2002.

MARCOMIN, F.E. **Análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pinheiros (Municípios de Orleans e São Rudgero, SC) com base na caracterização e diagnóstico dos elementos da paisagem e da perda de solo por erosão laminar**. São Carlos. 155p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, 2002.

McCOOL, D.K.; BROWN, L.C.; FOSTER, G.R.; MUTCHLER, C.K.; MEYER, L.D. Revised slope length factor for Universal Soil Loss Equation. **American Society of Agricultural Engineers**, 32:1571-1576, 1989.

MINOTTI, R.T. **Abordagens qualitativa e quantitativa das micro-bacias hidrográficas e áreas alagadas de um compartimento do médio MogiSuperior-SP a partir da perda de solo por erosão**. Tese de Doutorado a ser apresentada na Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo – PPG-SEA, 2006.

MORGAN, K.M.; NALEPA, R. Aplicación of aerial photograph end computer analisys to the USLE for area wide erosion studies. **Journal of Soil and Water Conservation**. 37 (6): 374-59, 1982.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, p. 1294-1298, 1986.

MOORE, I.D.; WILSON, J.P. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**, 47(5), 423-428, 1992.

NOGUEIRA, F. P. **Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: proposta metodológica**. 2000. 84f. Tese (Doutorado em Geociência e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2000.

OLIVEIRA, J. B.; PRADO, H. **Levantamento Pedológico Semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. II Memorial Descritivo, Campinas: Instituto Agrônômico, 118p, 1984.

OURSO, R.T.; FRENZEL, S.A. Identification of linear and threshold responses in streams along a gradient of urbanization in Anchorage, Alaska, **Hidrobiologia**, v.50, n.1, p. 117 – 131, 2003.

PAIVA, J.B.D.; BELING, F.A.; ROSA, L.H. **WinTSR - Cálculo do Transporte de Sedimentos**. HDS-CT-UFSM, 2002. (software não publicado).

PENTEADO-ORELLANA, M.M. Estudo geomorfológico do sítio urbano de Rio Claro (SP). **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, p. 23-56, 1981.

PERINOTTO, J.A.; LINO, I. C. **Geologia, recursos naturais e passivos ambientais**. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Mar/2012.

Disponível em: <<http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas/geologia.php>> Acesso em: Jul/2015.

PINTO, S. A. F. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo. 1983**. (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1983.

PINTO, S. A. F. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão de solos**: contribuição metodológica. 1991. 147 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PINTO, S.A.F. **Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo**. 1996, 136 f. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1996.

PRADO, H.; OLIVEIRA, J.B.; ALMEIDA, C.L.A. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de São Carlos**. 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; SUGUAI, M. R. V. B.; BUBA, O; KISHI, R. T; MARONE, E; LAUTERT, L. F; **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: CEHPAR – Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza, 372p, 2001.

SCAPIN, J.; PAIVA, J.B.D.; BELING, F.A. Avaliação de métodos de cálculo do transporte de sedimentos em um pequeno rio urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.12, n.4, p. 05-21, 2007.

SCOPEL, I. **Avaliação da Erosão com Auxílio de Sensoriamento Remoto e da Equação Universal de Perdas de Solo a Nordeste de Cornélio Procópio (PR)**. 177f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 1988.

SILVA, A.M. Potencial natural de erosão no Município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, v.8, p.5-14, 2008.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**, Campinas, n.16, p.71-104, 1976.

SPAROVEK, G.; WEILL, M.A.M. Estudo da Erosão na Microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) – I – Estimativa das Taxas de Perdas de Solo e Estudo de Sensibilidade dos Fatores do Modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 801-814, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/34.pdf>> Acesso em: 03/04/2012

TOMAZONI, J.C.; GUIMARÃES, E. A Sistematização dos Fatores da EUPS em SIG para Quantificação da Erosão Laminar na Bacia do Rio Jirau. RBC - **Revista Brasileira de Cartografia** N° 57/03, 2005.

TÔSTO, S. G.; PEREIRA, L. C.; TOSTO, K. L. Zoneamento da erosão do solo como instrumento de planejamento ambiental. In: Giovanni Seabra. (Org.). **Terra: qualidade de vida, mobilidade e segurança nas cidades**. 1ed. João Pessoa, PB: v. 2, p. 902-920, UFPB, 2013.

TROPPEMAIR, H. **Sistemas/Geossistemas/Geossistemas Paulistas/Ecologia da Paisagem**, Rio Claro, Rio Claro: edição do autor. 130p, 2004.

TUCCI, C. M. I. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Vol. 4: Editora da Universidade/Edusp/ABRH, Porto Alegre, 2000.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas no estudo integrado de Bacias Hidrográficas. in FERREIRA, M.E.E; CRUZ, M.C.P. Solos Altamente Suscetíveis a Erosão. FCAVUNESP/ Jaboticabal – **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 223-242.

VESTENA, L.R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. 268f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), 2008.

WALLING, D. E. The changing sediment loads of the world's rivers. **Annals of Warsaw of Life Sciences – SGGW**. Land Reclamation, v.39, p.3-20, 2008.

WALSH, C.J. Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. **Hidrobiologia**, v.43, n.1, p. 107-114, 2000.

WARD, J.V. Riverine Landscapes: Biodiversity Patterns, Disturbance Regimes, and Aquatic Conservation. **Biological Conservation**, v.83, n.3, p269-278, 1998.

WILSON, J.P. Estimating the topographic factor in for the watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 41, p.179-184, 1986.

WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.23, p.246-249, 1959.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n.357, 58p, 1978.

WYSOCKA-CZUBASZEK, A.; CZUBASZEK, R. Quantification of water erosion rates on the Narew River valley-sides using Universal Soil Loss Equation. **Polish Journal of Soil Science**, v. 47, n. 1, p. 1, 2015.

ZAINE, M. P.; PERINOTTO, J. A J. **Patrimônios naturais e história geológica da região de Rio Claro – SP**. Câmara Municipal de Rio Claro. Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 1996.

ZINGG, A.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss and runoff. **Agricultural Engineerings**. St. Joseph, Michigan, 21: 59 - 64, 1950.