

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Programa de Pós-Graduação em Manejo e
Conservação do Solo e da Água



Dissertação

**Modelagem da geração de sedimentos por
meio da MEUPS na Bacia Hidrográfica do
Arroio Santa Bárbara, Pelotas, RS**

Pamela Bilhafan Disconzi

Pelotas – RS, 2014

PAMELA BILHAFAN DISCONZI

**MODELAGEM DA GERAÇÃO DE SEDIMENTOS POR
MEIO DA MEUPS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ARROIO SANTA BÁRBARA, PELOTAS, RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção de título de Mestre em Manejo e Conservação do Solo e da Água.

Orientador: Dr^a Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra

Co-Orientador: Dr^a Rita de Cássia Fraga Damé

Co-Orientador: Dr. Marcelo Peske Hartwig

Pelotas – RS, 2014

Banca examinadora:

Professora Dr^a. Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra (Presidente)
Centro de Engenharias, UFPel

Professor Dr. Rodrigo Rizzi
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, UFPel

Professor Dr. Hugo Alexandre Soares Guedes
Centro de Engenharias, UFPel

Pesquisador Dr. Ênio Egon Sosinski
Embrapa, Clima Temperado

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Sergio e Rosimere,
a minha irmã e melhor amiga, Patricia,
e ao meu namorado, Leomar Jr,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, por sempre me dar força para superar todos os obstáculos da vida.

Aos meus pais, Sergio e Rosimere por sempre me apoiarem em tudo na minha vida, me mostrando o caminho certo. Fizeram com que eu confiasse em mim mesma, o possível e o impossível para ter a oportunidade de me especializar cada vez mais, nunca deixando faltar nada... exemplos na minha vida.

À minha irmã Patricia, que sempre esteve presente, me auxiliando e incentivando, compreendendo as minhas angústias, companheira de todas as horas, que sempre me estimulou a continuar, dando-me carinho, atenção, apoio e dizendo que tudo no final ia dar certo.

Ao meu namorado Leomar Jr, companheiro, amigo, que me mostrou este caminho e que me ensinou muitas vezes como trilhá-lo, e não mediu esforços para me ajudar a chegar até aqui, compreendendo sempre meus momentos de ausência, medo e ansiedade.

A toda a minha família que sempre me apoiou, e esteve do meu lado.

À minha orientadora Claudia Fernanda Almeida Teixeira-Gandra, pela orientação, compreensão, dedicação, carinho, puxões de orelha, mas que sempre me mostrou que tudo foi para o meu bem, pela contribuição no meu processo de formação e construção do conhecimento, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional, saiba que contigo aprendi muito, e esse aprendizado com certeza me tornou uma profissional melhor, a minha eterna gratidão.

Aos meus co-orientadores Dr. Marcelo Peske Hartwig e Dra. Rita de Cássia Fraga Damé, pelas incansáveis reuniões, pela ajuda imensurável, pela dedicação ao meu trabalho, pela amizade, o carinho, enfim por tudo o que fizeram para que este trabalho fosse concluído com os melhores resultados, o meu muito obrigado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, pelo conhecimento a mim passado, permitindo o enriquecimento da minha formação.

À Universidade Federal de Pelotas, ao Programa de Pós-Graduação de Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, pela oportunidade de realização deste Curso, e à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Às minha amigas Alessandra Tessaro e Ivana Kruger pela compreensão, companheirismo, risadas, ombro amigo de todas as horas.

E a todos que de alguma forma colaboraram para que esta etapa da minha vida fosse concluída, muitíssimo obrigado.

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Resumo

DISCONZI, Pamela Bilhafan. **Modelagem da geração de sedimentos por meio da MEUPS na Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, Pelotas, RS.** 2014. 109 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O foco atual das pesquisas relacionadas ao meio ambiente tem sido na conservação dos recursos naturais, solo e água, visando a diminuição dos impactos antrópicos, de forma a tornar o uso dos mesmos sustentáveis. Nesse contexto, a bacia hidrográfica vem sendo utilizada como região geográfica nos estudos hidrológicos, sendo considerada como uma unidade ambiental, que possibilita tratar dos componentes e da dinâmica das inter-relações necessárias ao planejamento e a gestão ambiental. Com o intuito de conservar e proteger o ambiente natural, o Código Florestal criou a Área de Preservação Permanente (APP), considerando esta uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos e proteger o solo, assegurando o bem estar das populações. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estimar o aporte de sedimentos nas microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana, pertencentes a Bacia Hidrográfica do Arroio Santa Bárbara, localizada no município de Pelotas. Para tanto foi utilizada a modificação da equação universal de perda de solo, considerando dois cenários de estudo, sendo o primeiro com as condições atuais de uso e o segundo com a simulação da implantação das Áreas de Preservação Permanente. Os resultados da análise morfométrica mostraram que, de forma geral, as microbacias Pedreira e Suzana mostraram-se mais susceptíveis a ocorrência de enchentes. Alguns fatores determinantes nos valores de perda de solo foram a declividade do terreno, o tipo e uso do solo, e a cobertura vegetal. Através do estudo pode-se concluir que houve redução nos valores de perda de solo nas quatro microbacias localizadas em Pelotas, quando foram simuladas as APPs, comparativamente ao uso atual. Em relação as quatro microbacias analisadas, a Barbuda apresentou maior percentual de extensão de escoamento superficial (63,40%) em relação a sua área de drenagem.

Palavras-chave: Características Morfométricas, Modelo Hidrossedimentológico, Erosão, Área de Preservação Permanente.

Abstract

DISCONZI, Pamela Bilhafan. **Modeling the sediment generation through the MEUPS Basin Arroyo Santa Barbara, Pelotas, Brazil**. 2014. 109 f. Thesis (Master) - Graduate Program in Management and Conservation of Soil and Water. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The current focus of the researches related to the environment has been the conservation of natural resources, soil and water, aiming to reduce human impacts, in order to make their use sustainable. In this context, the basin has been used as a geographical region in hydrological studies, being considered as an environmental unit, which enables treating the components and dynamics of the interrelationships necessary for planning and environmental management. In order to conserve and protect the natural environment, the Forest Code established the Permanent Preservation Areas (APP), considering this is a protected area or not covered by native vegetation, with the environmental function of preserving water resources and protecting soil ensuring the welfare of the people. Thus, the objective of this study was to estimate the sediment delivery in watersheds Barbuda, Granja, Pedreira and Susanna belonging to the Santa Barbara Basin, located in the municipality of Pelotas. For both the modified universal soil loss equation (MEUPS) was used, considering two study scenarios, being the first with the actual conditions of use and the second with the simulation of the deployment of Permanent Preservation Areas. When the simulated PPAs (scenario 2), the values of soil loss for the four watersheds decreased, ranging from 1.27 to 10.77% for Pedreira and Barbuda watershed, respectively. The results showed that some determining factors in the values of soil loss were the terrain slope, type and land use, and vegetation cover. Through the study it can be concluded that there was a reduction in the amount of soil loss in the four watersheds located in Pelotas, when the PPAs were simulated, compared to the current use. Regarding the four watersheds analyzed, the percentage of maximum Barbuda extension runoff (63.40%) relative to its drainage area.

Keywords: Morphometric characteristics, Runoff-erosion model, Erosion, Permanent Preservation Area.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação das microbacias que fazem parte da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS	38
Figura 2. Mapa de distribuição das classes de solo na Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	40
Figura 3. Mapa temático de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	42
Figura 4. Distribuição da rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	43
Figura 5. Tratamento das cartas topográficas e imagem de satélite para classificação de uso e cobertura do solo.	46
Figura 6. Mapa de declividade, em percentagem, da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	47
Figura 7. Procedimento de conversão de classes temáticas em coeficientes.	48
Figura 8. Fluxograma de aplicação da MEUPS (HARTWIG, 2009).	54
Figura 9. Distribuição da rede hidrográfica das quatro microbacias, pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	59
Figura 10. Mapa de distribuição das classes de solo das quatro microbacias, pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.	62
Figura 11. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Barbuda, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.	68
Figura 12. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Granja, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.	68
Figura 13. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Pedreira, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.	70
Figura 14. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Suzana, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.	71
Figura 15. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Barbuda.	90
Figura 16. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Barbuda.	90

Figura 17. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Granja.	91
Figura 18. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Granja.	91
Figura 19. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Pedreira.	92
Figura 20. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Pedreira.	92
Figura 21. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Suzana.	93
Figura 22. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Suzana.....	93
Figura 23. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Barbuda.....	94
Figura 24. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Granja.....	94
Figura 25. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Pedreira.....	95
Figura 26. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Suzana.	95
Figura 27. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) da microbacia Barbuda.	96
Figura 28. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) da microbacia Granja. 96	
Figura 29. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) da microbacia Pedreira.	97
Figura 30. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) da microbacia Suzana.	97
Figura 31. Mapa da classificação de LS da microbacia Barbuda.....	98
Figura 32. Mapa da classificação de LS da microbacia Granja.....	98
Figura 33. Mapa da classificação de LS da microbacia Pedreira.....	99
Figura 34. Mapa da classificação de LS da microbacia Suzana.	99
Figura 35. Mapa da classificação de Sa da microbacia Barbuda.....	100
Figura 36. Mapa da classificação de Sa da microbacia Granja.....	100
Figura 37. Mapa da classificação de Sa da microbacia Pedreira.....	101
Figura 38. Mapa da classificação de Sa da microbacia Suzana.	101
Figura 39. Mapa da classificação de qp ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) da microbacia Barbuda.....	102
Figura 40. Mapa da classificação de qp ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) da microbacia Granja.....	102
Figura 41. Mapa da classificação de qp ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) da microbacia Pedreira.....	103

Figura 42. Mapa da classificação de q_p ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) da microbacia Suzana.	103
Figura 43. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Barbuda.	104
Figura 44. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Granja.	104
Figura 45. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Pedreira.	105
Figura 46. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Suzana.	105
Figura 47. Mapa da classificação de T_c (min) da microbacia Barbuda.	106
Figura 48. Mapa da classificação de T_c (min) da microbacia Granja.	106
Figura 49. Mapa da classificação de T_c (min) da microbacia Pedreira.	107
Figura 50. Mapa da classificação de T_c (min) da microbacia Suzana.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fatores de uso – manejo (C) e práticas conservacionistas (P) para as áreas encontradas nas microbacias da Barragem Santa Bárbara	52
Tabela 2. Classificação do parâmetro que descreve a estrutura do solo (S_1)	53
Tabela 3. Classificação da permeabilidade do solo (P_1)	53
Tabela 4. Classificação dos valores do fator de erodibilidade do solo (K)	53
Tabela 5. Valores do evento de precipitação ocorrido no dia 07/05/2004, em Pelotas, utilizados na validação do cálculo da IDF.	55
Tabela 6. Características Morfométricas das quatro microbacias pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS	58
Tabela 7. Valores de Tempo de Concentração (T_c) das quatro microbacias relacionados às classes de solo.....	61
Tabela 8. Valores de Escoamento Superficial (Q) das microbacias, referentes às classes de solo.....	63
Tabela 9. Valores do parâmetro Curva Número (CN) das microbacias, referentes às classes de solo.....	64
Tabela 10. Valores da Vazão de Pico (q_p) das microbacias, referentes às classes de solo.....	65
Tabela 11. Valores da Erodibilidade do Solo (K) das microbacias, referentes às classes de solo.....	66
Tabela 12. Valor Total de Aporte de Sedimentos (Y) das microbacias, para as simulações 1 e 2.	67
Tabela 13. Valores gerados pela IDF para validação do cálculo de Intensidade.	85
Tabela 14. Estatística Exploratória das quatro microbacias analisadas, considerando as duas simulações.....	89
Tabela 15. Valores do fator cobertura do solo (C) para diferentes cultivos e práticas	108
Tabela 16. Combinação dos fatores cobertura do solo (C) e práticas conservacionistas (P).	109

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 GERAL	18
2.2 ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	19
3.2 EROÇÃO	22
3.2.1 Modelos Hidrossedimentológicos.....	25
3.2.1.1 Precipitação Pluvial	29
3.2.1.2 Escoamento superficial	31
3.2.1.3 Hidrograma Unitário	33
3.3 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL NO QUE TANGE À ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APPs)	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	37
4.1.1 Localização	37
4.1.2 Relevo	39
4.1.3 Cobertura Vegetal	39
4.1.4 Solos	39
4.1.5 Imagem de Satélite e Cartas Topográficas	41
4.1.6 Uso e Cobertura do Solo.....	41
4.1.7 Rede Hidrográfica das Microbacias.....	42
4.2 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.....	43
4.2.1 Área.....	43
4.2.2 Fator de Forma (kf)	43
4.2.3 Coeficiente de Compacidade (kc)	44
4.2.4 Densidade de Drenagem (Dd)	44
4.2.5 Declividade e Altitude.....	44
4.2.6 Amplitude Altimétrica (AA)	45
4.2.7 Índice de Sinuosidade (Is).....	45
4.2.8 Extensão média do escoamento superficial (Es)	45
4.3 GEORREFERENCIAMENTO	46
4.4 GERAÇÃO DOS PLANOS E INFORMAÇÃO (PIs).....	46
4.5 IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES (APPs)	48
4.6 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	48
4.7 APLICAÇÃO DO MODELO MEUPS.....	49
4.7.1 Volume de Escoamento Superficial Total (Q)	49
4.7.2 Vazão de Pico (qp).....	51
4.7.3 Fator Topográfico (LS)	51
4.7.4 Fatores de uso e cobertura do solo (C) e de práticas conservacionistas (P)	52
4.7.5 Erodibilidade do Solo (K).....	52
4.7.6 Determinação do Aporte de Sedimentos.....	54
4.8 GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO	54
4.9 VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	55

4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	57
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DAS MICROBACIAS	58
5.2 VALIDAÇÃO DA METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA IDF	62
5.3 FATORES DA MODIFICAÇÃO DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO	62
5.4 APORTE DE SEDIMENTOS DAS MICROBACIAS	66
6 CONCLUSÕES	72
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
8. APÊNDICE.....	85
9. ANEXO.....	108

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a pesquisa no campo ambiental tem levado em consideração a necessidade da conservação do solo e da água, visando a diminuição dos impactos antrópicos, de forma a tornar o uso dos recursos naturais sustentável. Com relação aos recursos hídricos, a bacia hidrográfica vem sendo utilizada como unidade principal nos estudos hidrológicos, possibilitando estudar os seus diferentes componentes e suas inter-relações, com foco no planejamento e na gestão ambiental. No Brasil, a Lei Federal nº 9.433 de 1997 estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, que institui a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

No entanto, para preservar e restaurar os ecossistemas, em função das atividades desenvolvidas na unidade de estudo, é necessário desenvolver metodologias adequadas que possibilitem um melhor conhecimento sobre o comportamento, os efeitos e consequências dos componentes do sistema.

Neste sentido a erosão acelerada do solo constitui-se um problema global de degradação das terras agrícolas. Entre os diferentes tipos de erosão, há a erosão hídrica, sendo esta uma das principais preocupações relacionadas ao manejo de solos tropicais, tendo o escoamento superficial como responsável pelo transporte e deposição de sedimentos (SILVA et al., 2008). Além disso, as bacias hidrográficas desprovidas de cobertura vegetal são aquelas que sofrem as maiores modificações, impactando o meio ambiente, em função do aumento do volume de escoamento superficial.

Com o intuito de conservar e proteger o ambiente natural, o Código Florestal estabelece a Área de Preservação Permanente (APP), considerando esta uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

No entanto, as pesquisas experimentais na área de erosão hídrica são, em geral, caras e morosas. Em contrapartida, tem-se, atualmente, a utilização de modelos que permitem estimar a perda de solo em localidades e condições que não são totalmente consideradas representativas, quando realizadas a campo. A Modificação da Equação Universal de Perda de Solo (MEUPS) é uma ferramenta que pode ser utilizada para análise da degradação ambiental, principalmente na

estima a perda de solo, que prevê o aporte de sedimentos, em pequenas e médias bacias hidrográficas, em determinado exutório. Associado ao modelo MEUPS, as técnicas de geoprocessamento, utilizando Sistemas de Tratamento de Imagens e Sistemas de Informação Geográficas (SIG), têm contribuído para a análise integrada do meio ambiente (ARAÚJO JUNIOR, 1997).

Desta forma, com os avanços tecnológicos disponíveis em termos de modelagem hidrossedimentológica associada às técnicas de geoprocessamento e SIG, é possível estimar o aporte de sedimentos em quatro microbacias localizadas na Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas, de acordo com o seu uso e ocupação atual.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Estimar o aporte de sedimentos nas microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas, RS, utilizando a modificação da equação universal de perda de solo, considerando as condições atuais de uso do solo e com a simulação da implantação das Áreas de Preservação Permanentes.

2.2 Específicos

Determinar as características morfométricas das quatro microbacias que compõem a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara.

Estimar o valor do parâmetro Curva Número do método do Soil Conservation Service para as microbacias.

Estimar o volume de escoamento superficial, a vazão de pico e a erodibilidade do solo nas quatro microbacias.

Determinar os demais componentes da Modificação da Equação Universal de Perda de Solo (fator uso e manejo das culturas; o fator topográfico e o fator práticas conservacionistas) para a estimativa dos valores de perda de solo.

Validar a metodologia de estimativa de perda de solo obtida pela Modificação da Equação Universal de Perda de Solo, utilizando a relação intensidade-duração-frequência da localidade de Pelotas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Bacia Hidrográfica

A Bacia hidrográfica é definida como um espaço que compreende toda a área de captação natural da água da precipitação, limitada pelos seus divisores topográficos, proporcionando escoamento superficial para o canal principal e seus tributários, sendo a saída considerada o seu exutório (SILVA et al., 2012). As bacias hidrográficas se configuram como uma das principais unidades de gerenciamento territorial e são áreas importantes para a conservação dos recursos naturais, sendo modeladas pelas condições geológicas e climáticas locais (SILVA et al., 2010a).

Dependendo do foco do estudo, as bacias hidrográficas podem ser divididas em microbacias, sendo conceituadas por Cecílio e Reis (2006), como aquelas de área reduzida, não havendo, entretanto, consenso quanto a área máxima, cujos valores podem variar de 10 a 20.000 ha ou 0,1 km² a 200 km².

A delimitação da área a partir de microbacias facilita a compreensão das peculiaridades das regiões de estudo, do ponto de vista de monitoramento, garantindo melhor visualização da realidade hidrológica, o que contribui para a definição de parâmetros, com vistas à ampliação da rede amostral. Gomes e Lobão (2009) ressaltam que a importância da delimitação de bacias hidrográficas recai principalmente na questão do direcionamento do estudo proposto e, ainda, de sua escala de trabalho.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica varia em função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros), suas características climáticas e também sua cobertura vegetal. Com a finalidade de compreender as inter-relações existentes entre os processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar as características morfométricas da bacia em termos quantitativos, tais como área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem, declividade, altitude, etc. (LEITE, ALMEIDA e SILVA, 2012).

Uma das características importantes de uma bacia hidrográfica é a declividade dos terrenos, pois é considerada determinante na velocidade com que ocorre o escoamento superficial. Quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido

será o escoamento superficial, menor o tempo de concentração e maiores os picos de enchentes (FAXINA et al., 2012).

Para Granell-Pérez (2001), as configurações espaciais dos canais fluviais na rede de drenagem representam, além do processo de dissecação e esculturação do relevo, a evolução morfométrica da região estudada. Desse modo, as variáveis relacionadas ao comprimento, altura, largura, volume, inclinação, densidade, frequências, entre outras, são utilizadas para os estudos geomorfológicos, geológicos, pedológicos, agrônômicos e geotécnicos na avaliação de vulnerabilidade do meio ambiente.

Os atributos verificados em bacias hidrográficas relativos à composição dos parâmetros morfométricos, segundo Cherem (2008) são área, perímetro e comprimento da bacia; extensão dos canais fluviais; comprimento vetorial (comprimento do vale) dos canais fluviais; número de canais fluviais; declividade da bacia; declividade dos canais e altimetria.

Nesse sentido, Faxina et al. (2012), com o objetivo de determinar e analisar as características morfométricas e hidrológicas, bem como as alterações oriundas da urbanização sem planejamento, em uma pequena bacia hidrográfica localizada no município de Jaú no estado de São Paulo, simularam três cenários, com análise de dados digitais e com visitas a campo. O primeiro cenário foi baseado na bacia em suas condições naturais, o segundo foi estabelecido conforme a situação atual e o terceiro foi elaborado a partir da tendência histórica do modelo de urbanização e impermeabilização do solo nas áreas de expansão urbana, previstas no plano diretor. Os resultados obtidos permitiram concluir que durante o processo de urbanização da bacia hidrográfica do Córrego dos Pires ocorreram alterações nos seus limites, com a modificação do traçado do divisor de águas e, conseqüentemente, em sua área total. Concluíram, ainda, que o estudo das bacias hidrográficas em processo de urbanização pode contribuir para o desenvolvimento de ferramentas para nortear o planejamento da expansão urbana de cidades, em relação ao manejo das águas pluviais.

Elesbon et al. (2011) objetivaram gerar o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Braço Norte do rio São Mateus, a partir dos dados remotos da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), visando obter as características fisiográficas da referida bacia. Foi gerado o MDEHC para a região em estudo, obtendo as seguintes características

morfométricas: área de drenagem, perímetro, forma da bacia (kc, kf), hierarquização dos cursos d'água, densidade de drenagem, densidade de confluências, declividade média da bacia, altitude média e declividades do curso de água principal. Após a análise dos resultados obtidos, concluíram que as operações espaciais de vizinhança e conectividade apresentaram ótimos resultados na obtenção das características físicas da bacia, de forma rápida, confiável e com reprodutibilidade científica garantida.

Oliveira e Borsato (2011) caracterizaram morfometricamente a Bacia Hidrográfica do Córrego Marumbizinho – Jandaia do Sul/PR, obtendo como resultado de densidade de drenagem $2,07 \text{ km km}^{-2}$, mostrando que a bacia apresenta uma média capacidade de drenagem, um valor de coeficiente de compacidade de 1,28 e fator de forma de 0,35, ambos mostrando que a bacia hidrográfica não apresenta propensão a enchentes. Concluíram, ainda, que a área apresenta declividades acentuadas principalmente no entorno das nascentes, que associadas aos elevados índices pluviométricos da região e à área urbana, favorecem os processos de movimento de massa nas encostas e deposição de materiais nos fundos do vale. A bacia é importante para a cidade, haja vista ser a principal fonte de captação d'água para o abastecimento urbano. Dessa maneira o uso do solo deve ser planejado, a fim de não comprometer a qualidade da água e o regime fluvial da bacia hidrográfica.

Tonello et al. (2006) estudaram a morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no Município de Guanhães/MG. A área de drenagem encontrada foi de $6,981 \text{ km}^2$ e o perímetro de $14,864 \text{ km}$. Os valores de coeficiente de compacidade, fator de forma e densidade de drenagem foram de 1,575; 0,409 e $1,049 \text{ km km}^{-2}$, respectivamente, representando que a área estudada possui forma alongada, com baixa densidade de drenagem, relevo forte-ondulado e declividade média de 33,9%. Esses parâmetros possuem grande influência sobre o escoamento superficial e, conseqüentemente, sobre o processo de erosão, que resulta em perda de solo, água, matéria orgânica, nutrientes e microfauna, que podem vir a provocar o assoreamento e eutrofização dos corpos d'água. Pôde-se então constatar, que a morfometria diferenciada entre as sub-bacias evidencia a necessidade de um manejo específico em cada uma delas.

3.2 Erosão

A erosão é o processo de desprendimento, arraste e deposição de partículas de solo, que ocasiona a perda da sua capacidade produtiva, o assoreamento, além da eutrofização e a perda da qualidade das águas superficiais. O início da erosão se dá na incidência das precipitações sobre o terreno, em que parte é interceptada pela vegetação, enquanto o restante atinge a superfície do solo, umedecendo os agregados e reduzindo as suas forças de coesão. Com a continuidade das precipitações ocorre a desintegração dos agregados em partículas menores, obstruindo os poros do solo, provocando conseqüentemente, o selamento superficial. Além disso, o impacto da gota de chuva proporciona compactação, que associada ao selamento, reduz a taxa de infiltração da água. Quando a intensidade da precipitação passa a ser maior do que a taxa de infiltração, inicia-se o transporte das partículas desagregadas pelo escoamento superficial (SPERANDIO et al., 2012).

A erosão dos solos, por via hídrica, e conseqüentemente, a produção de sedimentos, tem sido objeto de preocupação crescente em todas as situações relativas à gestão dos recursos naturais. O solo é um recurso natural praticamente não renovável, assim a necessidade de avaliar a sua perda e degradação é tanto mais premente, quanto mais intensa e generalizada é a sua ocupação (PARANHOS e PAIVA, 2008). A erosão tem chamado atenção dos pesquisadores, pois interfere diretamente na produtividade agrícola e na conservação do meio ambiente. O transporte de sedimentos pela água é regido pela relação entre a capacidade de carregamento do escoamento e a força necessária para deslocar as partículas sólidas disponíveis em seu curso. As partículas finas e leves, como as argilas e siltes, necessitam de menor energia do que as partículas de areia para serem transportadas. Escoamentos muito velozes e turbulentos possuem grande capacidade de carregamento de sedimentos, sendo pouco seletivos, ou seja, deslocam sedimentos finos e grossos. À medida que a velocidade do escoamento diminui, o transporte de sedimentos se torna mais seletivo (PRATES e ROCHA, 2011).

Nos locais sob a ação de processo erosivo, além da remoção do solo, verifica-se a perda da capacidade produtiva, devido à remoção dos horizontes superficiais de solos mais férteis, a deformação dos habitats da microfauna edáfica e

o transporte de sedimentos e nutrientes pelo escoamento superficial, sendo depositados na rede de drenagem da bacia hidrográfica, e verificando-se ainda, um efeito negativo à paisagem local. Consequentemente, a deposição no leito de drenagem proporciona o assoreamento e a eutrofização dos rios e lagos, com a perda da qualidade das águas (SPERANDIO et al., 2012).

De acordo com Sperandio et al. (2012), a intensidade dos processos erosivos é condicionada pela quantidade, intensidade e duração da precipitação, declividade, tipo de solo e da cobertura vegetal. Compreender os fatores que integram o processo de erosão e quantificar as perdas de solo são atividades de grande importância, pois servem como base na elaboração de medidas, que visem maximizar o uso dos recursos hídricos disponíveis e evitar os efeitos negativos decorrentes da produção, transporte e deposição de sedimentos.

Fundamentalmente, a capacidade que as precipitações têm de causar erosão do solo (erosividade das precipitações), depende da intensidade com que ocorrem e da energia cinética do impacto das gotas sobre a superfície do solo. Wischmeier e Smith (1978) estabeleceram que o produto da energia cinética total pela intensidade máxima da precipitação em 30 min (EI30) é a relação que melhor expressa o potencial da precipitação em causar erosão, considerando as fases de impacto das gotas, a desagregação do solo, a turbulência do fluxo e o transporte das partículas (CABRAL et al., 2007).

Segundo Santos (2009), a necessidade de investigar os efeitos dos impactos antrópicos sobre a produção de água e de sedimentos, como também de informações sobre os processos hidrológicos e a dificuldade em obtenção de recursos para a coleta dos mesmos, tem estimulado o uso cada vez mais frequente da modelagem hidrossedimentológica. Um fato a ser considerado é que geralmente as pesquisas são realizadas em bacias hidrográficas experimentais, de pequena à média dimensão, onde é assumida uma certa homogeneidade. Além disso, os dados provenientes destas bacias são coletados de forma pontual e, geralmente, utilizados como representativos das mesmas, o que na maioria das vezes não condiz com a realidade. Entretanto, o aumento da escala leva a uma maior heterogeneidade, e processos antes desconsiderados, passam a ser predominantes.

De acordo com Schultz, Siefert e Santos (2013), técnicas experimentais de estimativa da produção de sedimentos não consideram a variabilidade espacial e temporal do processo, dificultando a sua aplicação em larga escala. Esta dificuldade

em quantificar os processos erosivos para grandes bacias impulsiona o desenvolvimento de modelos de simulação, que visem representar matematicamente a produção e transporte de sedimento. Alves e Azevedo (2013) estimaram a erosividade das chuvas, o fator R da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), para os solos da bacia hidrográfica do riacho Namorado, São João do Cariri/PB. O método empregado para estimar o R baseou-se nas equações descritas na literatura especializada, com ajustamento para as condições locais. O resultado do valor anual da erosividade encontrado para a área foi de $78,07 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, calculado para a média de uma série histórica (1911-2010) de precipitação pluvial, e que corresponde a uma perda de solo de $7,95 \text{ t mm ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo classificada como uma área de erosividade fraca. Os autores concluíram que o índice de erosividade apresenta boa correlação com o coeficiente de precipitação, permitindo um bom ajustamento da equação para o cálculo da erosividade da chuva, evidenciando maiores valores nos meses que coincidem com o trimestre mais chuvoso.

Panachuki et al. (2011) avaliaram as perdas de solo e de água e estimaram a taxa de infiltração estável de água no solo em diferentes sistemas de manejo, sob chuva simulada. O experimento foi desenvolvido em área experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, cultivada com soja (*Glycine max* L. Merrill), em Dourados/MS e o solo foi classificado como Latossolo Vermelho. As avaliações de campo foram conduzidas sobre resíduos vegetais, após a colheita da cultura da soja, com três sistemas de manejo do solo: semeadura direta, preparo com grade aradora e com escarificador, associados a três níveis de cobertura do solo com resíduo vegetal: 0,0; 2,0; e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$. Para caracterizar a área experimental foram feitas análises de densidade do solo, macroporosidade, estabilidade de agregados, umidade inicial, percentual de cobertura e rugosidade superficial do solo. Por meio do uso de simulador de chuvas portátil, as parcelas receberam aplicação de precipitações de 60 mm h^{-1} . Em cada tratamento foram aplicadas sete chuvas com duração de 60 min, separadas por um período de tempo de uma semana. As perdas de solo variaram de 1,40 a $116,30 \times 10^{-3} \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, enquanto as de água, de 1,60 a $106,94 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Os autores concluíram que as maiores perdas de solo e de água foram observadas nos tratamentos sob semeadura direta sem resíduo vegetal, enquanto nesse mesmo sistema de cultivo, com a presença dos resíduos, ocorreu a maior eficiência no controle da erosão hídrica. Nos tratamentos do preparo com grade

aradora, observaram maiores perdas de solo e de água comparativamente ao preparo com escarificador.

Bagatini et al. (2011) avaliaram a erosão hídrica pluvial do solo em área originalmente de campo nativo, nos seus segundo e terceiro anos de cultivo com culturas anuais em fileira, nos métodos de preparo do solo reduzido e sem preparo e nos tipos de adubação mineral e orgânica, além de uma condição sem adubação. O estudo foi desenvolvido em Eldorado do Sul/RS, nos verões de 2007/2008 e 2008/2009, com chuva simulada em um Argissolo Vermelho distrófico típico, com textura franco-arenosa, na camada superficial e declividade média de $0,13 \text{ m m}^{-1}$. Foram realizados dois testes de perda de solo em cada ciclo da cultura: o primeiro, logo após o preparo do solo e a semeadura das culturas; e o segundo, cerca de 90 dias mais tarde. As chuvas foram aplicadas com o simulador de braços rotativos, na intensidade planejada de 64 mm h^{-1} e com duração de 1,5 h, cada uma. Os resultados evidenciaram que a mudança no tipo de uso do solo, excluída a condição sem adubação, não ocasionou perdas relevantes de solo e água por erosão hídrica. A mobilização do solo pela escarificação, na maior parte dos casos, favoreceu a infiltração e a retenção superficial da água da chuva e, em decorrência, reduziu o escoamento, ao mesmo tempo em que satisfatoriamente controlou a erosão. Por sua vez, a ausência de mobilização do solo na semeadura direta, também na maior parte dos casos, induziu a formação de maior escoamento, porém controlou melhor a erosão. Comparadas à condição sem adubação, a adubação mineral e a adubação orgânica contribuíram para reduzir o escoamento e a erosão nos dois métodos de preparo do solo.

Através dos trabalhos citados anteriormente verifica-se a importância da utilização de modelos na estimativa da perda de solo, já que para que este seja verificado a campo, há a necessidade de considerar grandes áreas e uma demanda de tempo, causando morosidade na geração dos resultados, sendo mais célere a utilização de modelos hidrossedimentológicos.

3.2.1 Modelos Hidrossedimentológicos

Na avaliação dos processos erosivos, atenção especial deve ser dada à análise dos fatores que acarretam a degradação rápida dos solos para melhor compreendê-los. Segundo Pinto e Garcia (2005), devem ser levantados e analisados

em conjunto a geometria das vertentes (declividade, extensão e arquitetura do perfil), a litologia, a cobertura pedológica, a precipitação pluvial, a cobertura vegetal, além de outras intervenções antropogênicas, distinguindo os fatores mais relevantes para desencadear a erosão acelerada.

A utilização de modelos matemáticos capazes de representar os processos físicos de um sistema, gerando informações não comumente disponíveis, é de grande importância, sendo o sistema entendido como “qualquer componente que responde, através de uma saída, a uma entrada”. Diante disto, existem os modelos matemáticos capazes de simular os processos hidrossedimentológicos através da formulação de diversas equações que configuram o fluxo de água e dos sedimentos em uma bacia hidrográfica. A utilidade de um modelo deve estar na sua capacidade de sintetizar informações hidrológicas necessárias em uma tomada de decisão, dentro do escopo do gerenciamento e planejamento de recursos hídricos. Estas informações tratam, entre outros aspectos, da estimativa do escoamento superficial, da vazão líquida do canal principal e da produção de sedimentos associados a um ou mais eventos de precipitação, com vistas ao planejamento conservacionista (CARVALHO NETO, SRINIVASAN e RUFINO, 2011).

Simular cenários de uso e ocupação do solo torna possível analisar a influência das diferentes coberturas de solo (campo, cultivo, mata, reflorestamento, urbanização, etc) sobre os processos hidrossedimentológicos, e verificar qual a melhor medida a ser tomada para a solução de um determinado problema. Estudos nesse sentido podem ser realizados de forma rápida e sem custo elevado, se houver disponibilidade dos dados básicos de entrada, tornando esta uma das principais vantagens da modelagem como uma ferramenta útil na área hidrológica (CARVALHO NETO, SRINIVASAN e RUFINO, 2011).

Atualmente, percebe-se uma tendência em adaptar os modelos hidrossedimentológicos, principalmente os norte-americanos, às condições de solo, cultura agrícola e temperatura existentes no Brasil. Por outro lado, o uso desses modelos internacionais, em geral ajustados para solos de clima temperado, demanda muito tempo, em vista da necessidade de obtenção de muitos dados de entrada e de adaptação de informações, tais como unidades de grandezas, condições de aplicação e de medidas (SILVA et al., 2010b).

Dentre as muitas equações que buscam exprimir a ação dos principais fatores que influenciam as perdas de solo pela erosão hídrica, tratando do tema de modo

mais dinâmico, por superar parcialmente as restrições climáticas e geográficas e cuja aplicação é generalizada, é a chamada 'Equação Universal de Perda de Solo' – EUPS (ALCÂNTARA e SOUZA, 2010).

A EUPS, apesar de ser uma formulação empírica, ainda é a de maior referência no Brasil, para a estimativa de perda de solo (SILVA et al., 2010b). Pinto e Garcia (2005) consideram que o modelo EUPS se presta à análise conjunta dos fatores condicionantes da erosão para estimativa de perda de solo pela ação do escoamento das águas pluviais em superfície, com ênfase nos processos de erosão laminar.

A EUPS apresenta como componentes o fator de erosividade da chuva (R), que expressa a erosão potencial, ou poder erosivo da precipitação média anual da região, o fator de erodibilidade (K) do solo, que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva, o fator topográfico (L), que representa o comprimento do declive, o fator topográfico (S), definido como a declividade do terreno ou o grau de declive, o fator que expressa o uso e manejo do solo e da cultura (C) e o fator de práticas conservacionistas (P).

Como a EUPS estima as perdas anuais de solo, numa determinada área, assegurando apenas um determinado uso de solo, não levando, portanto, em consideração que em uma microbacia existem áreas de carreamento e áreas de deposição, geralmente sua aplicação resulta no volume de solo perdido menor do que o estimado pelo modelo. Assim, a equação não identifica as áreas de deposição, as quais seriam responsáveis pela retenção de parte dos sedimentos, o que segundo Hartwig (2009), é considerado uma limitação.

Paes et al. (2010) visando auxiliar o planejamento do uso do solo nas bacias hidrográficas que compõem o município de Santa Rita do Sapucaí/MG, realizaram a espacialização do potencial natural de erosão e da predisposição à perda de solo através da sistematização dos fatores componentes da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Para tanto, utilizaram técnicas de geoprocessamento, aplicadas no SIG Idrisi 15.0, em interface com o software USLE-2D, cujos resultados obtidos foram que 22% da área de estudo apresentou um potencial natural de erosão fraco ($0 - 400 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); 8% moderado ($400 - 800 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$); 13% forte ($800 - 1600 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 57% muito forte ($> 1600 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Já com relação à perda de solo constataram que a bacia possui 45% de sua área com perda baixa ($0 - 10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 21% moderada ($10 - 50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), 13% alta ($50 - 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e 21% muito

alta ($> 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Os autores concluíram que a área de estudo apresentou características naturais favoráveis à perda de solo, principalmente nas áreas de relevo íngreme, associada a presença de solos classificados como Argissolos.

A Modificação da Equação Universal de Perda de Solo (MEUPS) é uma variação do modelo EUPS, cuja principal diferença é que, enquanto a EUPS estima a erosão para um período (anual), a MEUPS calcula o aporte de sedimentos gerado por eventos chuvosos isolados (ALCÂNTARA e SOUZA, 2010).

A MEUPS apresenta-se como um modelo de ampla aplicação, já que não apresenta muitos parâmetros e estes não exigem grande conhecimento sobre as condições das bacias estudadas, sendo alterado de forma a adaptar-se a regiões com características distintas das bacias utilizadas no seu desenvolvimento. De acordo com Williams (1975), os componentes do referido modelo são o volume de escoamento superficial total, a vazão de pico do hidrograma resultante, a erodibilidade do solo, e os fatores uso e manejo das culturas, topográfico e práticas conservacionistas.

Outra vantagem do modelo é que por utilizar um fator de escoamento superficial em lugar do fator de erodibilidade da chuva da equação universal, é capaz de captar 82% da variação do aporte de sedimentos, enquanto a EUPS obtém apenas 47% de eficiência, isto é, a MEUPS apresenta maior precisão nos seus resultados quando comparada com a EUPS (SILVA et al., 2010b).

Como forma de avaliar o efeito do fator topográfico no modelo, Simões e Fernandez (2013) compararam diferentes algoritmos usados no cálculo do fator e avaliaram o efeito de fontes de informação geográfica na distribuição espacial, utilizando como área de estudo a Bacia Hidrográfica do Rio Pônsul. Os autores destacaram que existem limitações, principalmente em áreas de relevo complexo ou de grande extensão, concluindo que o valor do fator topográfico varia conforme o tipo de algoritmo aplicado e a qualidade da informação geográfica base para o cálculo.

Farinasso et al. (2006) aplicaram a EUPS para identificar qualitativamente áreas susceptíveis a erosão laminar na região do Alto Parnaíba (PI-MA) e classificaram as perdas de solo em muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, cujos valores foram $0 - 1$, $2 - 5$, $6 - 10$, $11 - 20$ e $\geq 21 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente. Concluíram que as áreas com estimativa superiores a $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ estão localizadas nos divisores das bacias hidrográficas que compõem a região do Alto

Parnaíba, nas encostas entre os grandes planaltos da região do Alto Parnaíba e na região de Gilbuéis, onde existem extensas áreas de solo exposto. Em contraposição, as áreas com menores perdas de solos estão localizadas nos Planaltos da bacia sedimentar do Piauí-Maranhão, onde predominam os Latossolos e os valores altos de erosão nas regiões onde ocorrem solos litólicos e areias quartzosas.

Arekhi, Shabani e Rostamizad (2012) avaliaram a aplicabilidade da MEUPS para o Kengir, bacia hidrográfica do lyvan, Irã, onde há dificuldade em modelar a estimativa de erosão do solo e produção de sedimentos, na escala de bacia hidrográfica, além dos problemas de irregularidade e descontinuidade na coleta de dados de escoamento superficial e sedimentos. Os autores encontraram um alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,99$), na estimativa da produção de sedimentos, indicando simulações adequadas com a aplicação do modelo MEUPS. Os desvios percentuais entre as medidas de produção de sedimentos e as observações variaram de 2,30 a 25,24%, cujos resultados obtidos podem ser considerados adequados em estudos que envolvem erosão em bacias hidrográficas. Os autores acrescentam que outros estudos de erosão do solo e modelos de produção de sedimentos devem ser considerados para a estimativa precisa da resposta do sistema, onde ainda existe pouca informação.

3.2.1.1 Precipitação Pluvial

A precipitação é, sem dúvida, a principal causa da erosão, sendo evidente que quanto maior sua quantidade, intensidade e frequência, maior será o efeito no fenômeno. Fatores como declividade e vegetação interferem no processo, ou seja, se o terreno tem pouca declividade e baixa velocidade de escoamento, a água da chuva irá escoar menos e menor será o processo erosivo e, quando há vegetação, o impacto da gota será atenuado, porque o solo estará mais protegido. Segundo Sangoi (2007) ocorre a proteção pela cobertura porque as raízes das culturas propiciam sustentação mecânica ao solo, tornando-o menos erodível e quando mortas, formam canais internos no solo, onde a água pode penetrar, diminuindo o volume de água escoado na superfície.

A precipitação deve ser caracterizada pela duração, intensidade e frequência com que ocorre, sendo determinantes para que ocorra a saturação do solo, o início do escoamento superficial, o volume e a velocidade (ZOLIN, 2010). A caracterização

das precipitações intensas é imprescindível para solucionar problemas de interesse da engenharia, sendo de modo especial o controle do escoamento superficial, em áreas urbanas e rurais.

O uso de técnicas e modelos hidrológicos permite a caracterização e a quantificação do escoamento superficial, originado de precipitações intensas utilizando-se, para tanto, hidrógrafas, que correlacionam a variação da descarga com o tempo ou se dispondo de modelos matemáticos, empíricos ou paramétricos, ou mesmo modelos conceituais e determinísticos, que empregam métodos hidrológicos e hidráulicos. As precipitações pluviais de maior intensidade e com grande frequência elevam o risco de ocorrência da erosão. Essas características são mais significativas quando associadas às condições de relevo movimentado, características físico-hídricas do solo adversas, e uso e manejo inadequados (SANTOS, GRIEBELER e OLIVEIRA, 2010). Nesse contexto, a precipitação efetiva pode ser conceituada como sendo aquela parcela da precipitação total, que contribui para o escoamento superficial na área de interesse (SAMPAIO et al., 2000).

Uma vez conhecida as equações que relacionam a intensidade (I), sua duração (D) e sua frequência de ocorrência (F) ou período de retorno (Tr) - (IDF) para uma determinada localidade é possível, quando não se dispõe de dados observados de vazão, transformar a precipitação em vazão de escoamento superficial. A transformação precipitação-vazão pode ser utilizada em projetos agrícolas de obras hidráulicas, com o intuito de explorar ao máximo as informações relativas à precipitação (IDF), bem como o sistema físico (bacia hidrográfica) para a obtenção da vazão de projeto. Transformar a precipitação em vazão é justificável porque os registros pluviográficos não são tão facilmente disponíveis; o que existe em abundância são dados pluviométricos (DAMÉ, TEIXEIRA e TERRA, 2008).

Teixeira, Damé e Rosskoff (2011) verificaram a existência ou não de ganho de informação, em termos de relação IDF , ao serem utilizadas séries de duração parcial, a partir dos dados de precipitação máxima diária desagregada, em durações preestabelecidas. Quanto à série de duração parcial, foi utilizado o valor-base preestabelecido de 55 mm, constituindo então 279 valores. Posteriormente à constituição das séries de precipitação, foi avaliada a independência e a estacionaridade dos seus valores. Pela metodologia do teste “ t ” de Student, constataram que não houve ganho de informação, em termos de relação IDF ,

quando utilizada a série de duração parcial, com o valor-base preestabelecido de precipitação, comparativamente à série de registros históricos.

Já Santos et al. (2009) propuseram em seu estudo, a obtenção e a espacialização das relações IDF para o estado do Mato Grosso do Sul. Utilizaram, então, a metodologia da desagregação da chuva de 24 h e de dados pluviométricos consistidos de 109 estações disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas. As equações de precipitações intensas apresentaram bom ajuste, com coeficientes de determinação acima de 0,99 para todas as localidades estudadas. Os parâmetros ajustados apresentaram alta variabilidade, resultando em grandes diferenças nos valores de precipitações intensas esperadas para as diferentes localidades. A espacialização permitiu boa visualização das diferenças, evidenciando maiores intensidades esperadas na região centro-norte e as menores intensidades nas regiões sudeste e sudoeste do Estado.

Moruzzi e Oliveira (2009) com o objetivo de obter a equação IDF para o município de Rio Claro/SP, analisaram os dados pluviométricos disponíveis nos quatro postos localizados na área do município. Preliminarmente, foram obtidas as séries de máximas alturas médias para precipitação de 1 dia ($h_{\text{dia máx.}}$). Posteriormente, foram verificados os ajustes de distribuições teóricas de probabilidade aplicando os métodos de Foster e Gumbel, obtendo as precipitações $h_{\text{dia máx}}$ para diferentes períodos de recorrência (2, 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos). O Método das Relações das Durações foi utilizado para desagregação da chuva de 1 dia. A equação de precipitação intensa foi obtida por meio do ajuste, empregando a regressão não linear dos dados por meio do algoritmo de Marquardt. Finalmente, os resultados foram comparados com a IDF de Piracicaba, indicando que a equação pode ser utilizada na quantificação de precipitações intensas em projetos de engenharia no município de Rio Claro.

3.2.1.2 Escoamento superficial

O escoamento superficial, direto ou deflúvio, é a fase do ciclo hidrológico diretamente associada à erosão hídrica. Apesar do impacto das gotas de precipitação desempenhar papel importante na desagregação das partículas do solo, é o escoamento superficial que promove o transporte das partículas. Dependendo da carga de sedimento e do volume e velocidade do escoamento,

poderá haver deposição no leito dos corpos d'água. Muitas práticas de controle da erosão, como implantação de Áreas de Preservação Permanentes, cobertura vegetal, entre outras são, na verdade, práticas de controle da velocidade e do volume de escoamento superficial (AVANZI et al., 2008).

Dadas as dificuldades encontradas para se determinar o potencial máximo entre a precipitação e o escoamento, o Soil Conservation Service (SCS) (1972) adotou um parâmetro denominado Curva Número (CN), obtido em função da cobertura do solo pela vegetação, tipo de preparo e classe de solo (AQUINO et al., 2008). Reys, Rizzi e Araki (2010) afirmam que o CN consiste de um número adimensional, que varia de 0 a 100, em função das tipologias de recobrimento e das características do solo. Para superfícies impermeáveis ou com lâmina de água superficial, o CN é igual a 100, e para superfícies naturais, com capacidade de armazenamento de água, o CN é menor do que 100.

O método da Curva Número (CN) do SCS tem sido utilizado por mais de 50 anos para estimar o escoamento superficial, a partir de eventos de precipitação. O CN baseia-se em dados da relação entre intensidade da precipitação, condições da superfície do solo, volume de escoamento, condições hidrológicas, grupo hidrológico do solo e condições de umidade antecedentes (MACHADO, 2002). A partir do referido parâmetro, é possível estimar o máximo potencial de retenção de água de uma determinada área de drenagem, em um dado momento (BESKOW et al., 2009).

Para a determinação do CN, o método proposto pelo SCS divide os tipos de solo em quatro grandes grupos hidrológicos (USBR, 1977): GRUPO A – Potencial mínimo de escoamento superficial e alta taxa de infiltração; incluem solos arenosos profundos com pouco silte e argila, e também muito permeáveis; apresentando taxa de infiltração de 8 a 12 mm h⁻¹; GRUPO B - A maior parte dos solos arenosos, menos profundos ou menos compactos do que o grupo A, porém com uma infiltração média superior e menos permeáveis que o anterior; apresentando taxa de infiltração de 4 a 8 mm h⁻¹; GRUPO C - Solos pouco profundos, que geram escoamento superficial acima da média e com infiltração inferior à média, com porcentagem considerável de argila; possuindo taxa de infiltração de aproximadamente 1 a 4 mm h⁻¹; GRUPO D - Solos pouco profundos, com infiltração muito baixa, gerando muito escoamento superficial, contendo mais argila do tipo 2:1.

Entretanto, o parâmetro CN foi obtido inicialmente para os solos e clima dos Estados Unidos, cujas características são diferentes das encontradas nos solos

brasileiros. A partir do trabalho pioneiro (SCS, 1972) de estimativa do parâmetro CN, muitos trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de obter a classificação hidrológica dos solos de cada região de estudo. No caso específico do Brasil, encontram-se os trabalhos de Lombardi Neto et al. (1989) e de Sartori et al. (2005ab), realizados em bacias experimentais, seguindo a metodologia de obtenção proposta por SCS (1972). No entanto, em situações da prática usual em engenharia não é possível, normalmente, a utilização de bacias experimentais para a obtenção do valor de CN, para a área em estudo. Nestes casos, é necessário buscar alternativas na estimativa deste parâmetro para a área de interesse. Diante desta realidade, Damé et al. (2011) com o objetivo de calibrar o parâmetro CN para uma dada área de estudo, tanto para as condições atual quanto futura de impermeabilização da bacia hidrográfica, utilizaram a relação entre a lâmina total precipitada e o valor de coeficiente de escoamento (C), do método Racional, previamente estabelecido para áreas rural e urbanas. Os autores consideraram o valor de CN calibrado quando a relação entre a lâmina escoada e a precipitada foi de 0,40 para bacias rurais e 0,60 para bacias urbanas.

3.2.1.3 Hidrograma Unitário

O hidrograma unitário é considerado o hidrograma de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica quando, sobre ela cai uma precipitação efetiva de valor unitário, em um determinado intervalo de tempo. Assim, este modelo baseia-se em que a precipitação efetiva tem intensidade constante e distribui-se uniformemente por toda a bacia hidrográfica. Segundo Pinto (2009) baseia-se ainda em dois postulados: o da Proporcionalidade, cujos hidrogramas resultantes de precipitações com a mesma duração, mas diferentes quantidades terão o mesmo tempo base e ordenadas proporcionais às alturas de precipitação correspondentes e, o da Sobreposição, em que o hidrograma resultante de uma sequência de períodos de precipitação, contínuos ou isolados, terá as ordenadas iguais à soma correspondentes dos hidrogramas respectivos à cada um dos períodos referidos, considerados isolados. Ainda segundo o mesmo autor, considera-se que as características da bacia hidrográfica permanecem inalteradas, sob a ação da precipitação. No entanto, como não é comum encontrar-se naturalmente a uniformidade exigida para a correta aplicação deste método, este é indicado para

bacias de pequenas dimensões (até 25 a 100 km²), pelo fato de ser mais provável que estas apresentem as condições necessárias para assegurar algum rigor dos resultados. Além disso, os dados hidrológicos devem ser cuidadosamente selecionados para que se verifique os pressupostos, com a maior aproximação possível.

Marques Filho, Ferreira e Miranda (2009) construíram um algoritmo computacional iterativo para a identificação do hidrograma unitário médio e para o cálculo das precipitações efetivas, adequadas à cada evento precipitação-escoamento. Para tanto foi utilizada a bacia hidrográfica do igarapé Bolívia, situada no interior da Reserva Florestal Ducke, comparando os resultados com estudos similares em pequenas bacias da Amazônia Central. Através dos resultados concluíram que o hidrograma unitário médio para o igarapé Bolívia foi obtido utilizando quarenta e três eventos de precipitação-escoamento observados na bacia. A grande dispersão entre as curvas que representam os hidrogramas unitários, calculados a partir de hidrogramas com picos isolados, indica a necessidade de um grande número de eventos para gerar um hidrograma médio representativo. Em contraste aos eventos complexos, em que uma pequena quantidade ou mesmo um único evento distribuído ao longo do tempo, já foi suficiente para gerar um hidrograma unitário médio para a bacia.

3.3 Legislação Ambiental no que tange à Áreas de Preservação Permanentes (APPs)

Com o objetivo de disciplinar e limitar as interferências antrópicas sobre o meio ambiente, o artigo 2º do Código Florestal Brasileiro – a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 – contempla a criação das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Nessas áreas não se pode promover a retirada da cobertura vegetal original, permitindo, assim, que ela possa exercer, em plenitude, suas funções ambientais. Mais recentemente, tendo em vista os compromissos assumidos pelo Brasil perante a Declaração do Rio de Janeiro de 1992 e a necessidade de regulamentar aquele artigo, entrou em vigor, no dia 13 de maio de 2002, a Resolução nº 303, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Essa resolução estabelece

parâmetros, definições e limites referentes às APPs e adota, ainda, implicitamente, a bacia hidrográfica como unidade de sua aplicação (HARTWIG, 2009).

A APP é a área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Segundo a legislação brasileira, as APPs devem ser consideradas em zonas rurais e urbanas, cujas faixas marginais de qualquer curso d'água natural com largura mínima de 30 m, para os cursos d'água de menos de 10 m de largura; 50 m, para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 m de largura; 100 m, para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 m; 200 m, para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 m; e 500 m para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 m (BRASIL, 2012).

Castro et al. (2013) com o objetivo de verificar alterações qualitativas e quantitativas nas APPs de um trecho de 20 km do Rio das Mortes no Município de Nova Xavantina/MT, utilizaram o Google Earth, fotografias aéreas de pequeno formato e o software GEPATH. Adicionalmente, realizaram uma visita em campo para a verificação e distinção quanto ao uso do solo, analisando 457,02 ha de APPs, sendo que 15,6% encontravam-se alteradas e subdivididas em 45 fragmentos. Através dos resultados observaram que a introdução de pastagens para o gado bovino foi a principal causa das alterações, sendo que entre os 19 pontos visitados, 7 eram pastagens novas, 6 em regeneração inicial, 4 em regeneração média e 2 ocupados por moradias. Constataram, também, que os processos erosivos são comandados pelos seguintes fatores naturais: volume d'água que atinge o terreno, cobertura vegetal, tipo de solo/rocha, lençol freático e relevo. Neste sentido, a longo prazo, a entrada de animais e a proximidade da cidade podem potencializar significativamente os fatores erosivos.

Carvalho (2011) analisou uma Área de Proteção de Manancial, a APP do Córrego Quinze, o qual possui um ponto de captação da Companhia de Água e Esgoto de Brasília, que atende ao bairro Vale do Amanhecer. Foi utilizado um Sistema de Informações Geográficas e imagens de Sensoriamento Remoto para a integração das informações. Através dos resultados constatou que apesar da microbacia manter considerável conservação da cobertura natural, 10,16% dos solos

das APPs estão com uso irregular e que 2,85% estão com uso acima do potencial, configurando certa instabilidade no solo, favorecendo a erosão.

A Lei Federal nº 12.651, de maio de 2012, que revoga o Código Florestal, estabelece novos parâmetros de conservação para as propriedades rurais, em especial, as propriedades com agricultura familiar. Assim, Ribeiro et al. (2013) buscaram refletir acerca de dados levantados e sobre o estado da arte das propriedades rurais de base familiar, na região centro oeste e sul do estado do Paraná, confrontando as informações das duas legislações federais, a recente Lei Federal nº 12.651/2012, e a Lei Federal nº 4.771/1965, conduzindo a análise em especial às APPs. Os resultados totalizaram 274 mapas, mais de 2.700 ha de áreas, em que o déficit de APP pela lei Federal nº 4.771/1965 seria de pouco mais de 80 ha. Contudo, diante da nova lei ambiental (nº 12.651/2012), as propriedades devem recuperar menos de um hectare (0,55 ha), evidenciando o retrocesso ocorrido com a aprovação da legislação atual. Fica evidente que diante dos dados apresentados, as mudanças legais ocorridas na lei ambiental federal, não propiciam a conservação e recuperação dos recursos naturais, e em especial, as APPs nas propriedades rurais. Os discursos existentes acerca das propriedades rurais de base familiar, como sendo os principais agentes causadores de impactos e degradação ambiental, na verdade são os principais beneficiários e agentes causadores das mudanças em pontos específicos da lei.

Assim pode-se verificar que a aplicação desta nova lei terá maiores obstáculos para ser implantada e que essa parece não se mostrar adequada para a preservação dos leitos dos rios.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

4.1.1 Localização

A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara (Fig. 1), localizada entre as coordenadas geodésicas 31°37'52" a 31°47'16" S e 52°20'20" a 52°27'20" W, na porção sudoeste do município de Pelotas-RS, sendo dividida em quatro microbacias, microbacia da Granja, da Pedreira, da Suzana e da Barbuda. Essas microbacias são responsáveis pela drenagem de uma área de aproximadamente 110,57 km² (SILVA, 2009), sendo a delimitação das mesmas realizada por Santos (2004).

As áreas das quatro microbacias estudadas apresentam valores de 11,34, 13,91, 18,59 e 33,97 km², para a Barbuda, Granja, Suzana e Pedreira, representando, respectivamente, 14,5; 17,9; 23,9 e 43,7% da área total (77,81 km²), da bacia hidrográfica da Barragem Santa Bárbara.

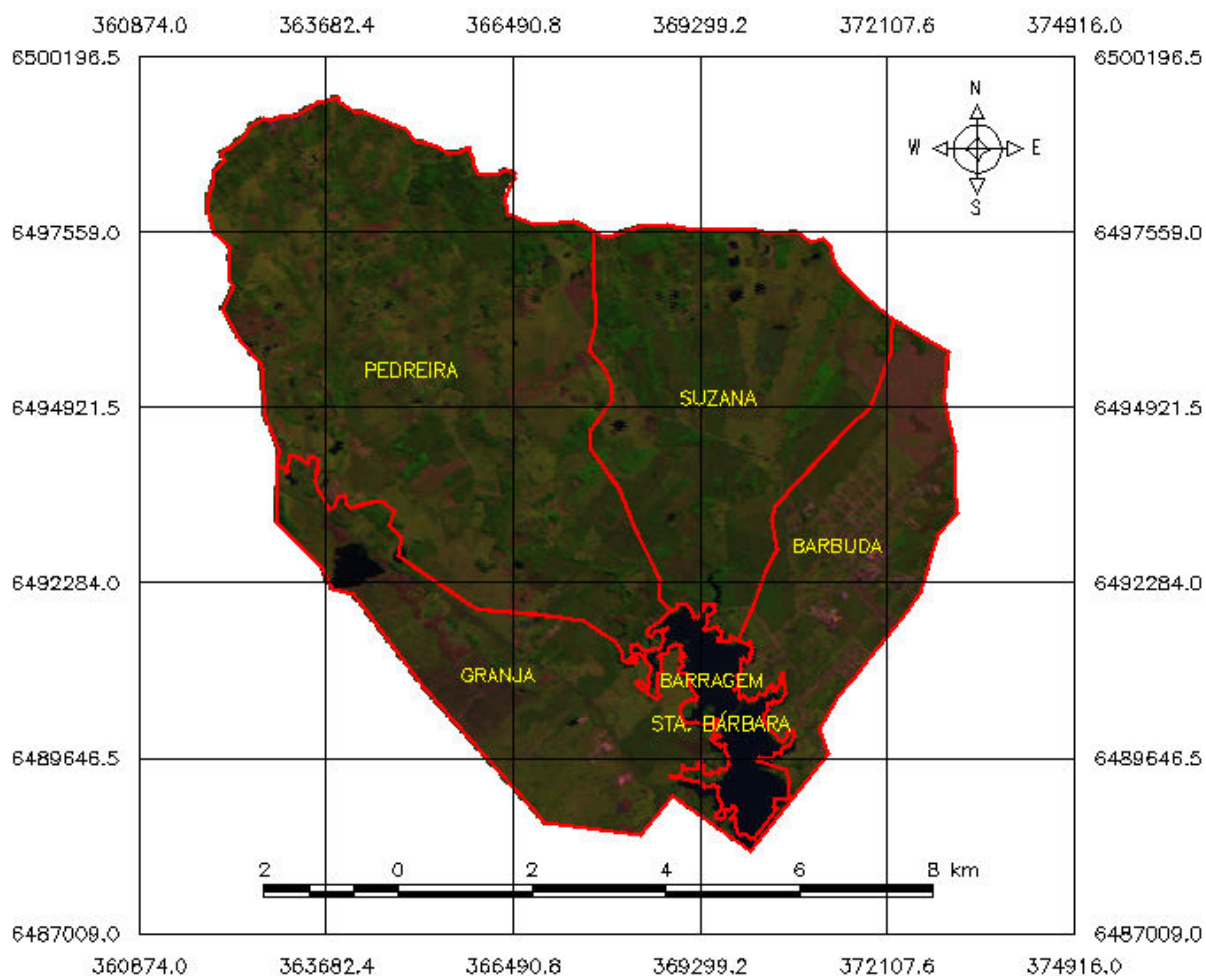


Figura 1. Delimitação das microbacias que fazem parte da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS

Na região sul, no estado do Rio Grande do Sul, os valores médios de precipitação mensal revelam que não é possível definir com clareza os meses do ano correspondentes às estações seca e chuvosa, oscilando entre 115,28 e 153,36 mm, para os meses de novembro e setembro, respectivamente (TEIXEIRA et al., 2013).

A área do Canal São Gonçalo, assim como o município de Pelotas é caracterizada por um clima subtropical úmido com invernos frios e verões quentes, sendo sua média anual de temperatura igual a 17,6°C, além de possuir uma precipitação pluvial média anual de 1.249 mm (SIMON et al., 2003).

4.1.2 Relevo

A área de estudo apresenta atributos peculiares quanto ao relevo, por situar-se na interface de dois domínios morfoestruturais gaúchos o Escudo Cristalino Sul-Riograndense – mais precisamente na unidade geomorfológica do Planalto Rebaixado Marginal – e os Depósitos Sedimentares do Quaternário, entre as unidades geomorfológicas da Planície Alúvio-Coluvionar e Planície Lagunar. No primeiro domínio existe o predomínio de litologias mais resistentes como o Granodiorito Equigranular, enquanto que no segundo ocorre a Formação Graxaim, que abrange o conjunto de Arcózios, predominante na Planície Costeira Interna (SIMON e CUNHA, 2008).

4.1.3 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal original resulta da localização da bacia em uma área de transição entre a serra e o litoral, com áreas de banhado, campos, pastagens, além da mata subtropical arbustiva. No entanto, a atual configuração espacial da área evidencia um intenso processo de apropriação dos recursos naturais por parte das atividades agrícolas (sendo o arroz irrigado o principal gênero agrícola implantado nas zonas antes ocupadas por pastagens e por vegetação rasteira) e urbano-industriais (SIMON e CUNHA, 2008).

4.1.4 Solos

Segundo Cunha e Silveira (1996), os solos presentes na Bacia Hidrográfica da Barragem Santa Bárbara são classificados como Argissolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Bruno-Acinzentado (PVd1), Planossolo e Argissolo Bruno-Acinzentado (PLe1), Planossolo e Gleissolo (PLe3), Planossolo e Gleissolo (PLe4) e Gleissolo, Organossolo e Neossolo (HGe1) (Fig. 2).

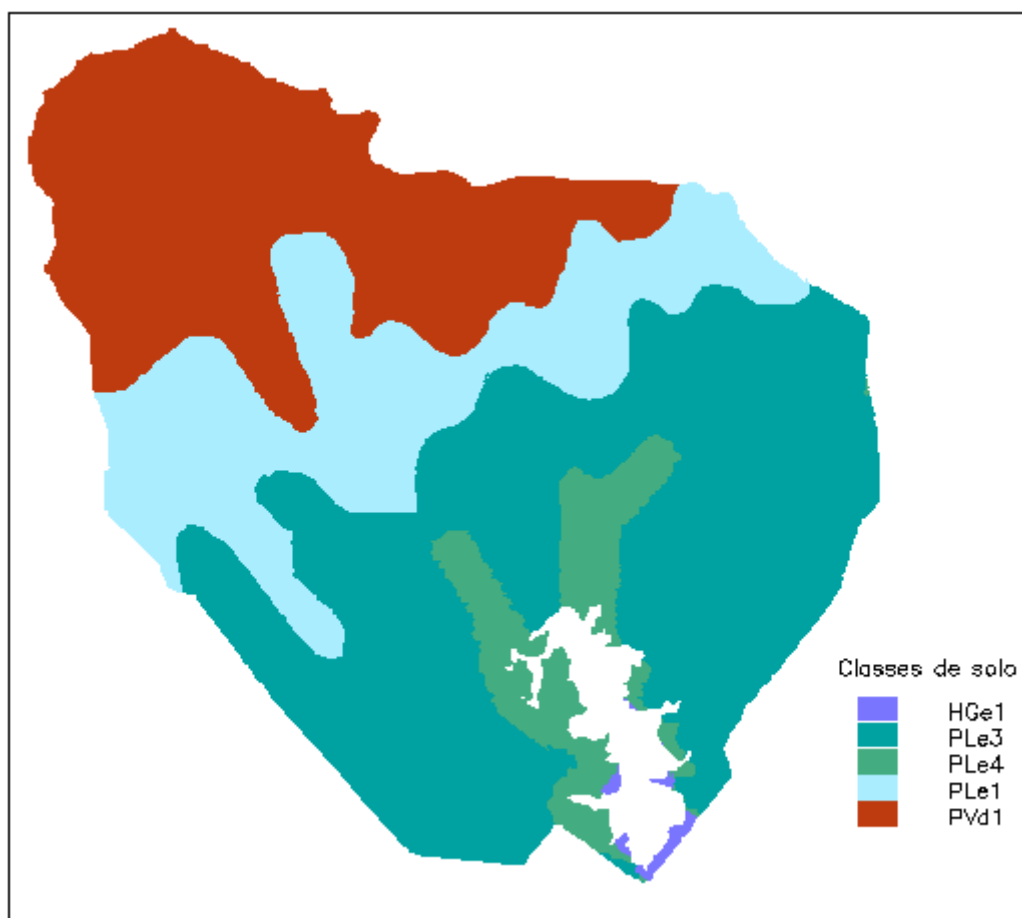


Figura 2. Mapa de distribuição das classes de solo na Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

Os solos classificados como PVd1 apresentam como material de origem granitos anatóticos e magmatitos homogêneos, com topografia ondulada, 3-15% de declividade e drenagem profunda ou muito profunda. Apresenta textura média (franco-arenoso, tendo, nas partes baixas, textura franco-argilo-arenoso), estrutura fraca (blocos subangulares e de angulares pequenos a médios). Os solos PLe1 possuem como material de origem argilas cascalhentas e areias arcóscas e siltes, com topografia suavemente ondulada (0-3%) e drenagem padrão. Apresentam textura média (franco-arenoso) e estrutura fraca (maciça). Os PLe3 possuem como material de origem argilas e areias levemente cascalhentas, com mesorrelevo formado por antigas depressões de drenagens obstruídas por sedimentos silteosos, sendo considerados profundos, com drenagem imperfeita. Apresentam textura média (franco-arenoso, às vezes franco ou areia franca) e estrutura pobre (maciça). Os solos PLe4, cujo material de origem são argilas e siltes arcóscos e areias, com macrorrelevo plano, mas mesorrelevo relativamente acentuado, possuem drenagem

efetiva por depressões fósseis da Planície Alta. Apresentam textura relativamente arenosa e com grande quantidade de cascalho. E por último, os HGe1, possuem material de origem sedimentos argilosos aluviais e turfas recentes, são planos e têm meso e microrrelevo pouco diferenciado, muito profundos e mal drenados. Apresentam boa estrutura (blocos subangulares desagregados) e com boa consistência (firme).

4.1.5 Imagem de Satélite e Cartas Topográficas

A imagem adquirida para o estudo na Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara foi obtida no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), a partir do satélite Landsat 5 sensor TM, do ano de 2010 (mês de setembro), com resolução espacial de 30 m, cujas bandas utilizadas foram as 3, 4 e 5.

A aquisição das cartas topográficas do ano de 1977 foi realizada através de solicitação à Agência da Lagoa Mirim/UFPel, em Pelotas.

4.1.6 Uso e Cobertura do Solo

O procedimento para geração de Plano de Informação (PI) de uso e ocupação do solo foi, inicialmente, uma classificação da imagem de satélite, para identificação preliminar das classes presentes. Posteriormente foi realizada uma classificação supervisionada selecionando-se somente os alvos de interesse, divididos em seis classes de uso e cobertura: campo, cultivo, hidrografia, mata, reflorestamento e urbanização, onde foram consideradas como urbanização também as estradas pavimentadas.

A Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara foi disposta a partir de seis classes de uso e cobertura do solo, com o seguinte arranjo: 51,47% de campo; 7,95% de cultivo; 4,23% de hidrografia; 18,95% de mata, 6,52% de reflorestamento e 10,88% de urbanização (Fig. 3).

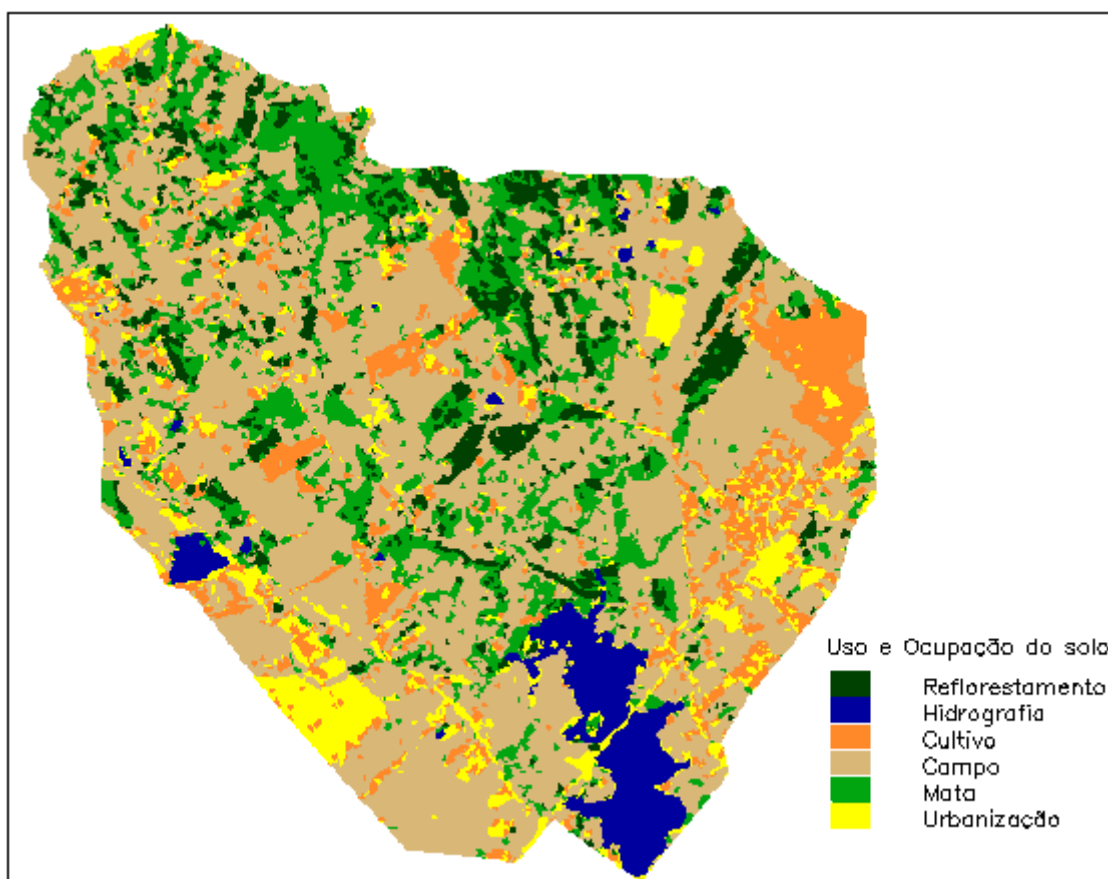


Figura 3. Mapa temático de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

4.1.7 Rede Hidrográfica das Microbacias

A rede hidrográfica foi gerada em um plano de informação vetorial, mediante a identificação dos talvegues obtidos nas cartas topográficas. Após o seu traçado foi utilizada a imagem de satélite para verificação do posicionamento dos canais de drenagem para possíveis ajustes (Fig. 4). Este PI, referente a rede de drenagem foi utilizado para a caracterização fisiográfica das microbacias e na locação das APPs, em torno da rede hidrográfica.

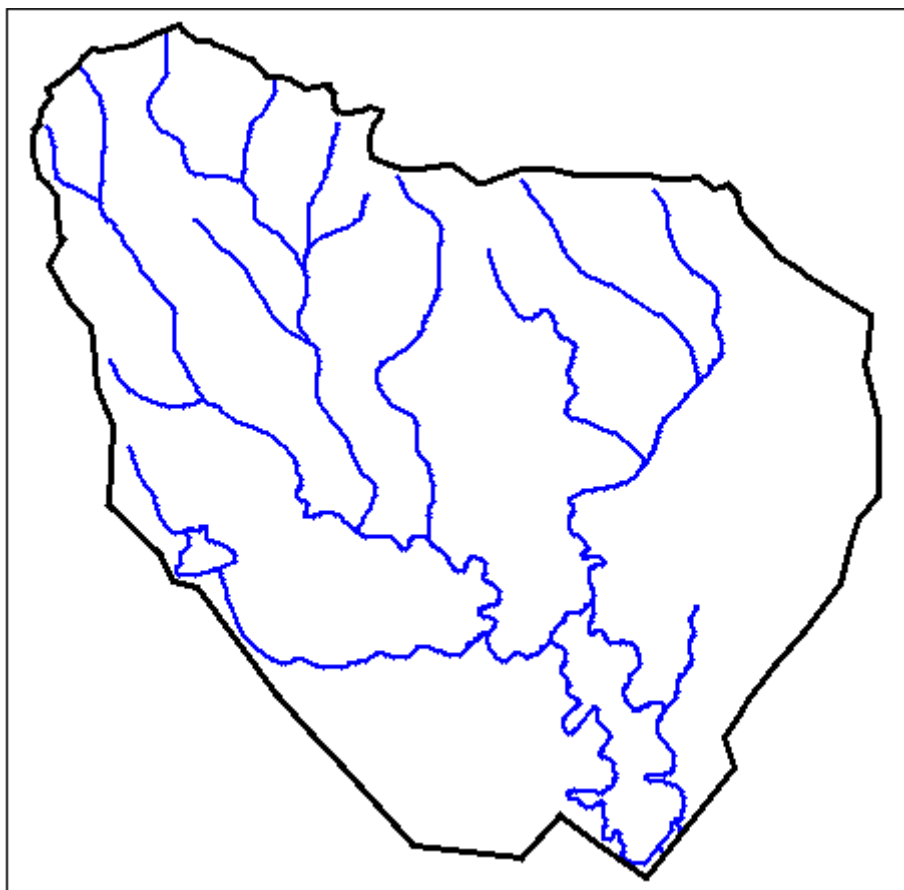


Figura 4. Distribuição da rede hidrográfica da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

4.2 Características Morfométricas

4.2.1 Área

As áreas das microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana foram calculadas através do software Spring.

4.2.2 Fator de Forma (kf)

Para o cálculo de kf foi utilizada a equação 1, segundo Teodoro et al. (2007).

$$kf = \frac{A}{T^2} \quad (1)$$

em que:

k_f – fator de forma (adimensional);

A – área de drenagem (m^2);

T – comprimento do eixo da bacia (m).

4.2.3 Coeficiente de Compacidade (k_c)

O k_c foi determinado pela equação 2 (TEODORO et al., 2007):

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

em que:

k_c – coeficiente de compacidade (adimensional);

P – perímetro da bacia (m);

A – área de drenagem (m^2).

4.2.4 Densidade de Drenagem (D_d)

A D_d , em $km\ km^{-2}$, foi determinada através da equação 3 (CARDOSO, 2006).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (3)$$

em que:

L_t – comprimento total de todos os canais (km);

A – área de drenagem (km^2).

4.2.5 Declividade e Altitude

A declividade das microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana, assim como as suas altitudes, foram determinadas utilizando o software Spring.

4.2.6 Amplitude Altimétrica (AA)

De acordo com Castro e Carvalho (2009), a AA foi determinada a partir da aplicação da equação 4:

$$AA = \text{Ponto mais elevado} - \text{Ponto menos elevado} \quad (4)$$

4.2.7 Índice de Sinuosidade (Is)

O Is foi calculado pela equação 5 (CABRAL et al., 2008):

$$Is = \frac{L}{Dv} \quad (5)$$

em que:

Is – índice de sinuosidade (adimensional);

L – comprimento do canal principal (m);

Dv – distância vetorial do canal principal (m).

4.2.8 Extensão média do escoamento superficial (Es)

A Es foi calculada de acordo com Olszewski et al. (2011), a partir da equação 6:

$$Es = \frac{A}{4 \sum L_t} \quad (6)$$

em que:

Es – extensão média do escoamento (km);

A – área de drenagem (km²);

L_t – comprimento total de todos os canais (km).

4.3 Georreferenciamento

O modelo da terra (datum) utilizado foi o Córrego Alegre e o sistema de coordenadas, o Universal Transverso de Mercator (UTM), fuso 22S.

Com as cartas no formato digital e devidamente georreferenciadas foi realizado o registro da imagem de satélite adquirida para o trabalho. A imagem passou, então, por um processo de registro, com base nas cartas topográficas, o que consiste em reorganizar os pixels da imagem em relação ao sistema de coordenadas e a projeção cartográfica adotada.

O georreferenciamento da imagem foi realizado a partir do software SPRING (Registro de Imagem), em que foram identificados alvos de fácil visualização nas cartas topográficas e na imagem trabalhada (pontos de controle), atribuindo-se ao alvo da imagem, as mesmas coordenadas da carta topográfica (Fig. 5). Após estes procedimentos, a imagem foi transformada em plano de informação (PIs) e armazenada.

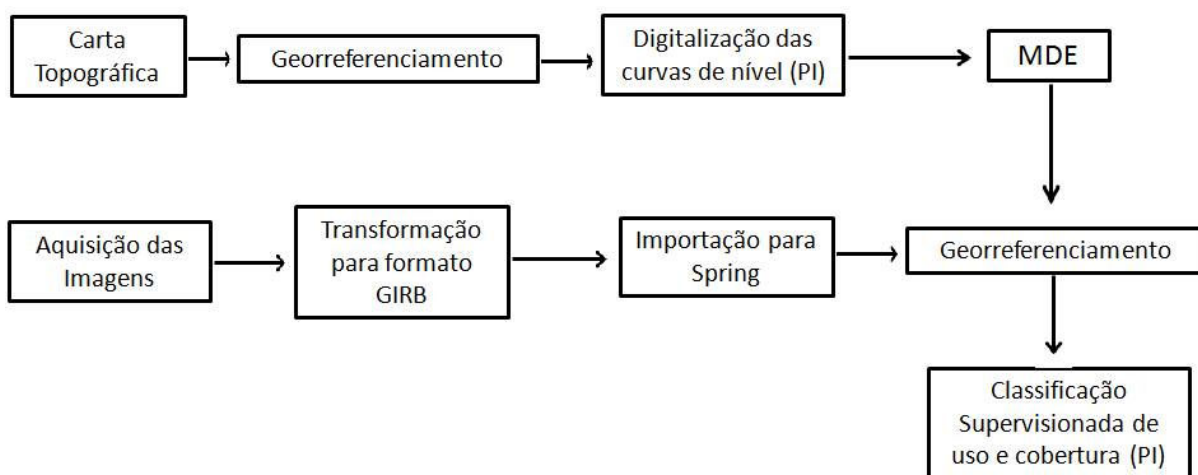


Figura 5. Tratamento das cartas topográficas e imagem de satélite para classificação de uso e cobertura do solo.

4.4 Geração dos Planos de Informação (PIs)

Foram criados PIs contendo informações individualizadas das microbacias como uso e cobertura do solo, limites das bacias, rede de drenagem, solos, declividade e os fatores da MEUPS (volume de escoamento superficial, vazão de pico, erodibilidade do solo, uso e manejo das culturas, relevo e práticas

conservacionistas). Cada um desses PIs funcionam como um mapa independente, gerados a partir da classificação das imagens georreferenciadas anteriormente.

O primeiro PI gerado foi referente aos limites (divisor de águas) das microbacias, os quais foram identificados sobre as cartas topográficas planimétricas, sendo, posteriormente, digitalizadas para a composição do PI.

O próximo passo foi a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), a partir da digitalização das curvas de nível da área na escala 1:50.000, com suas respectivas altitudes, gerando o PI Modelo Digital de Elevação do Terreno. Com este modelo foi gerado um mapa de declividade, pixel a pixel, pelo software SPRING, com uma resolução de 30 x 30 m, e subdividido em 4 classes, sendo este o PI de declividade da microbacia (Fig. 6).

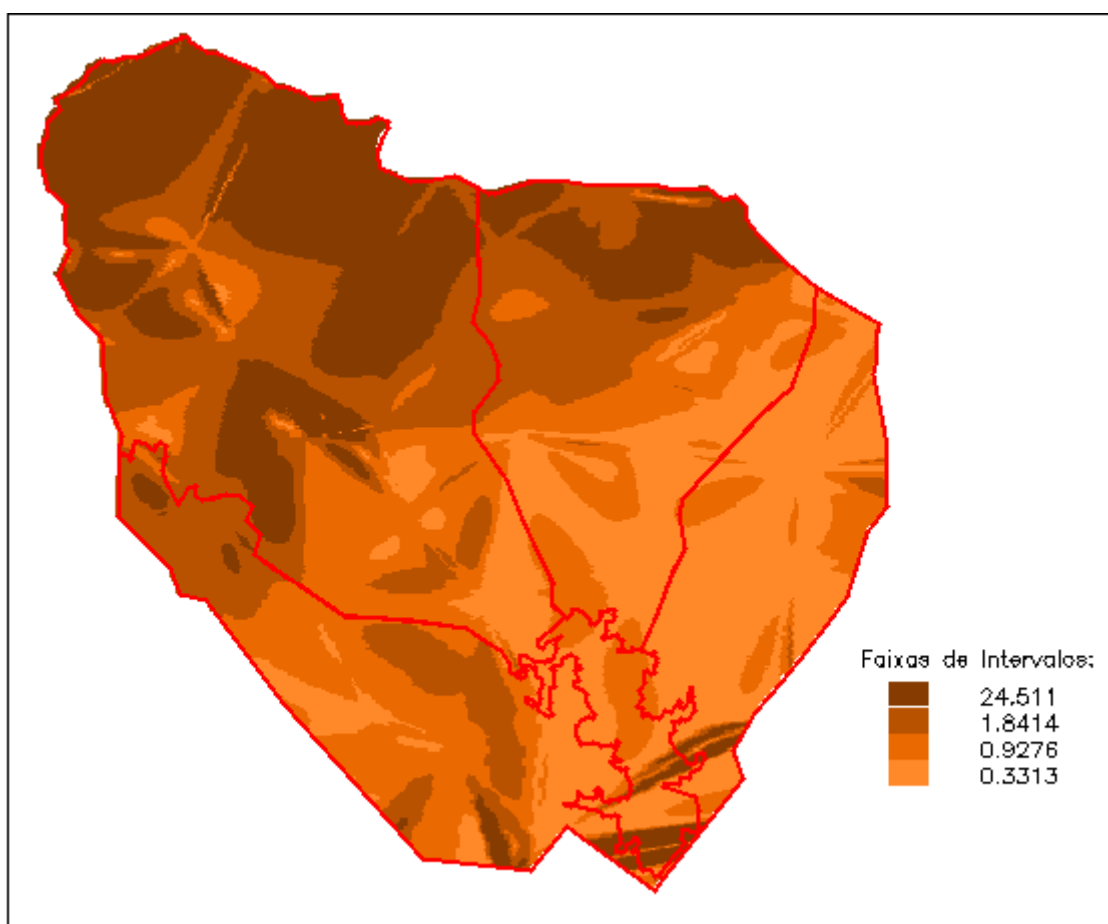


Figura 6. Mapa de declividade, em percentagem, da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

Os PIs gerados foram posteriormente utilizados na modelagem dos processos de erosão e sedimentação, tanto para as microbacias como também para a geração dos cenários de simulação.

4.5 Identificação das Áreas de Preservação Permanentes (APPs)

De acordo com o Código Florestal, os cursos d'água com até 10 m de largura, devem apresentar uma faixa de mata ciliar em cada lado, com uma largura de no mínimo 30 m. Foi criado, então, um PI contendo dados somente de APPs em torno da rede hidrográfica, através da criação de “buffers” de 30 m. Este procedimento tem por finalidade gerar dados para a simulação de efeitos das APPs sobre a degradação ambiental do avanço urbano e rural na bacia.

4.6 Modelagem Matemática

Para a modelagem matemática foi utilizada a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), do software SPRING. Este procedimento foi adotado porque o modelo MEUPS não está disponível na interface da maioria dos softwares, que trabalham com os processos de erosão e sedimentação.

Para que o modelo fosse inserido no SPRING foi necessário que todos os PIs gerados anteriormente fossem transformados em planos numéricos de informação, para o cruzamento das informações, pois esses estavam na forma de imagens, temáticos e cadastrais, ou seja, na forma vetorial ou raster. Os PIs foram substituídos pelos coeficientes relacionados ao modelo aplicado (Fig. 7).

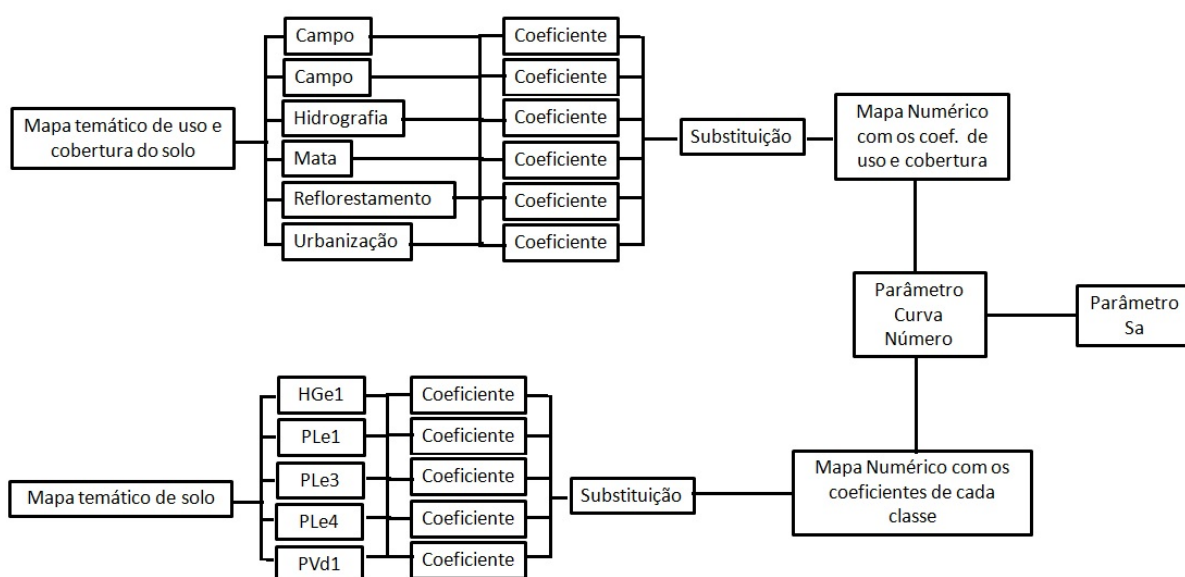


Figura 7. Procedimento de conversão de classes temáticas em coeficientes.

4.7 Aplicação do Modelo MEUPS

A equação (7) do modelo MEUPS é descrita, segundo Williams (1975), como:

$$Y = 89,6 \times (Q \times qp)^{0,56} \times K \times C \times LS \times P \quad (7)$$

em que:

Y - aporte de sedimentos em um determinado exutório da bacia, após um evento de precipitação (Mg);

Q - volume de escoamento superficial total (m³);

qp - vazão de pico do hidrograma resultante (m³ s⁻¹);

K - erodibilidade do solo (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹);

C - fator uso e manejo das culturas (adimensional);

LS - fator topográfico (declividade e comprimento de vertente) (adimensional);

P - fator práticas conservacionistas (adimensional).

4.7.1 Volume de Escoamento Superficial Total (Q)

Para a aplicação do modelo hidrológico de transformação precipitação-vazão foi utilizado o software IPHS-1 (UFRGS, 2013), em que para a separação do escoamento base do superficial foi selecionado o modelo SCS, existente no IPHS-1. O IPHS-1 foi ajustado através da análise dos valores obtidos para o tempo de concentração de cada microbacia.

4.7.1.1 Tempo de Concentração (Tc)

As equações 8 e 9 foram utilizadas de acordo com a área de cada uma das microbacias estudadas, ou seja, para bacias menores do que 2 km² foi utilizada a equação de Kirpich (Eq. 8) (ARAÚJO, 2011) e para bacias maiores do que 2 km², a equação de Watt e Chow (Eq. 9) (DINGMAN, 2002).

$$tc = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (8)$$

em que:

t_c – tempo de concentração (min);

L – comprimento do curso d'água principal (km);

H – diferença da altitude ao longo do canal principal (m).

$$t_c = 7,68 \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79} \quad (9)$$

em que:

L - comprimento do curso d'água principal (km);

S – declividade ($m\ m^{-1}$).

4.7.1.2 Intensidade de Precipitação (I)

Em relação às precipitações intensas na área de estudo, as mesmas foram determinadas com base na equação de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) do município de Pelotas (TEIXEIRA et al., 2011) (Eq. 10), com duração do tempo de concentração necessária para cada microbacia e período de retorno (Tr) de 10 anos (CECÍLIO e PRUSKI, 2003).

$$I = \frac{5684 \times Tr^{0,1043}}{(t + 52,2271)^{1,008}} \quad (10)$$

em que:

I – intensidade máxima média de precipitação ($mm\ h^{-1}$);

Tr – período de retorno (anos);

t – tempo de duração da precipitação (min).

4.7.1.3 Parâmetro Sa do método do SCS

O Sa (Eq. 11) foi estimado empiricamente de acordo com Schwab et al. (1981).

$$Sa = \left(\frac{25400}{CN} \right) - 254 \quad (11)$$

4.7.1.4 Determinação do parâmetro Curva Número (CN)

Para calibrar o parâmetro CN do modelo Curva Número, foi utilizada a relação entre a precipitação efetiva e a lâmina total precipitada, sendo considerado calibrado quando a relação entre a precipitação de projeto e a efetiva (C) foi 0,40, para bacias rurais, e 0,60 para bacias urbanas (DAMÉ et al., 2011). Foi adotado para as microbacias da Pedreira e Suzana, o valor de 0,40 e para as microbacias da Barbuda e Granja, o valor de 0,60.

4.7.2 Vazão de Pico (qp)

O valor de qp foi calculado utilizando-se o software IPHS-1 (UFRGS, 2013), a partir do hidrograma unitário de cada parcela de tipo de solo, referente a cada microbacia. Após, foi realizada a transformação dos valores encontrados para cada pixel, multiplicando-se os valores encontrados pela área do pixel e dividindo-se pelo valor da área de cada parcela. O qp representa o volume máximo de água escoada em cada pixel, em função do tempo de concentração.

4.7.3 Fator Topográfico (LS)

A estimativa do valor de LS foi obtida pela equação 12, desenvolvida por Bertoni e Lombardi Neto (1990). O fator LS foi obtido pelo modelo digital de elevação (MDE), calculando-se pixel a pixel os valores de comprimento de rampa e declividade.

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \quad (12)$$

em que:

LS – fator topográfico (adimensional);

L – comprimento de rampa (m);

S - declividade do terreno (%).

4.7.4 Fatores de uso e cobertura do solo (C) e de práticas conservacionistas (P)

Os mapas com os fatores C e P foram gerados no formato numérico, os quais foram obtidos por meio da combinação das tab. 15 e 16 (Anexo), em função do tipo de solo e suas características físicas e químicas, assim como tipo de cobertura e uso do solo (HARTWIG, 2009). Os valores de C e P utilizados para cada uso e cobertura do solo estão apresentados na tab. 1.

Tabela 1. Fatores de uso – manejo (C) e práticas conservacionistas (P) para as áreas encontradas nas microbacias da Barragem Santa Bárbara

Uso e Cobertura do solo	C	P
Campo	0,2	1,0
Cultivo	0,5	0,5
Hidrografia	0,01	1,0
Mata	0,001	1,0
Reflorestamento	0,01	1,0
Urbanização	0,1	1,0

4.7.5 Erodibilidade do Solo (K)

A erodibilidade do solo foi calculada a partir da equação proposta por Wischmeier e Smith (1978), considerando os resultados dos parâmetros geotécnicos (CUNHA e SILVEIRA, 1996), de acordo com a seguinte formulação:

$$K = \frac{0,137}{100} \left[2,1 \times 10^{-4} \cdot (12 - MO) \cdot ((Sil + Af) \cdot (100 - Arg.))^{1,14} + 3,25 \cdot (S_1 - 2) + 2,5(P_1 - 3) \right] \quad (13)$$

em que:

K - erodibilidade do solo ($t \, ha \, h \, ha^{-1} \, MJ^{-1} \, mm^{-1}$);

MO - conteúdo de matéria orgânica (%);

Sil+Af - conteúdo de silte + areia fina (%);

Arg - conteúdo de argila (%);

S_1 - parâmetro que descreve a estrutura do solo (tab. 2);

P_1 - parâmetro que descreve a permeabilidade do solo (tab. 3).

Os valores de matéria orgânica, silte, areia fina e argila foram obtidos segundo Cunha e Silveira (1996). A equação para o cálculo de K, de acordo com Wischmeier e Smith (1978), não apresenta limitações na sua aplicação. A classificação dos valores do fator de erodibilidade do solo (K) estão apresentados na tab. 4.

Tabela 2. Classificação do parâmetro que descreve a estrutura do solo (S_1)

Classificação	Estrutura
1	Granular muito fina
2	Granular Fina
3	Granular média ou grande
4	Bloco ou maciço

Fonte: Wischmeier e Smith (1978)

Tabela 3. Classificação da permeabilidade do solo (P_1)

Textura	Permeabilidade (cm s^{-1})	Classificação
Argila siltosa, argila	$< 2,8 \times 10^{-5}$	6 – muito baixa
Argila siltosa, argila arenosa	$2,8 \times 10^{-5}$ a $5,6 \times 10^{-5}$	5 – baixa
Argila arenosa	$5,6 \times 10^{-5}$ a $1,4 \times 10^{-4}$	4 – baixa a moderada
Silte	$1,4 \times 10^{-4}$ a $5,6 \times 10^{-4}$	3 – moderada
Areia argilosa	$5,6 \times 10^{-4}$ a $1,7 \times 10^{-3}$	2 – alta
Areia	$> 1,7 \times 10^{-3}$	1 – muito alta

Fonte: Hann et al. (1994)

Tabela 4. Classificação dos valores do fator de erodibilidade do solo (K)

Fator K de erodibilidade ($\text{t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$)	Classificação
$< 0,15$	Baixa
$0,15$ a $0,30$	Média
$> 0,30$	Alta

Fonte: Fernandes (2011).

4.7.6 Determinação do Aporte de Sedimentos

Com a equação MEUPS foi obtido um mapa numérico de aporte de sedimentos que, posteriormente, foi transformado em um mapa temático para identificação dos locais susceptíveis a erosão (Fig. 8).

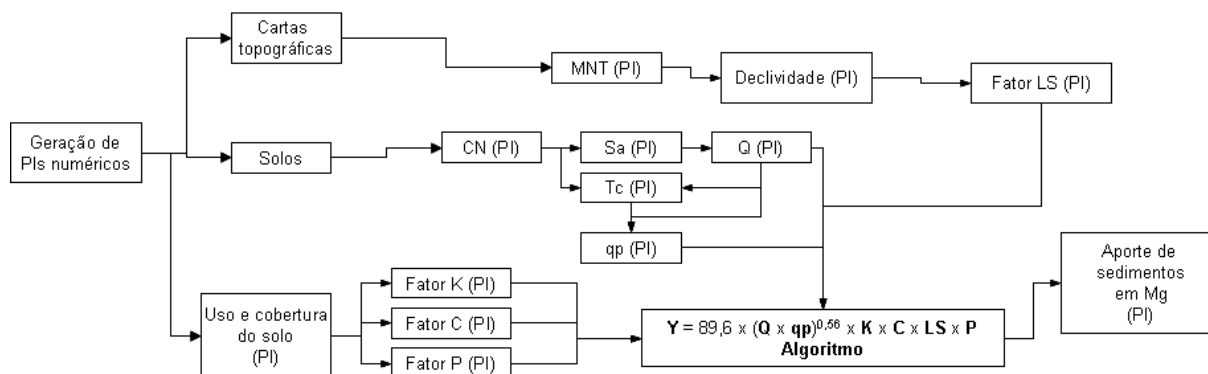


Figura 8. Fluxograma de aplicação da MEUPS (HARTWIG, 2009).

4.8 Geração de Cenários de Simulação

Para a realização de uma análise comparativa foram criados cenários de simulação, referentes ao comportamento das microbacias, com o propósito de identificar as regiões susceptíveis á erosão, ou seja, quanto ao aporte de sedimentos (Y), considerando a condição atual e a simulação da implantação de APPs. Os cenários foram elaborados visando a atender a legislação, além de preservação e manutenção da fauna e flora locais.

Com os cenários adotados buscou-se a configuração mais adequada de conservação e preservação dentro de cada microbacia, através dos cálculos mencionados para diminuir o risco de erosão.

O primeiro cenário estudado (simulação 1) foi a condição atual em que se encontravam as microbacias hidrográficas. O segundo cenário (simulação 2) foi a implementação de APP em torno da rede hidrográfica das microbacias, considerando que rios com até 10 m de largura deverão apresentar uma faixa de 30 m de mata ciliar, em ambas as margens.

4.9 Verificação da Metodologia

Como a MEUPS foi idealizada para uso na predição de um evento de precipitação e que, muitas regiões não dispõem de dados para alimentar o modelo, utilizou-se para o cálculo da intensidade, a IDF de Pelotas. Para haver a confirmação da possibilidade da utilização da IDF fez-se a verificação da mesma. Assim foi realizado o ajuste da IDF através da comparação dessa com o evento ocorrido no dia 07 de maio de 2004, no município de Pelotas/RS (DAMÉ et al., 2005) (tab. 5). Para a verificação foi utilizada o valor de precipitação de 209,88 mm, para um período de retorno de 5000 anos.

Tabela 5. Valores do evento de precipitação ocorrido no dia 07/05/2004, em Pelotas, utilizados na validação do cálculo da IDF.

Duração (min)	Duração (h)	Intervalo (h)	I (mm h ⁻¹)	P (mm)	P acum. (mm)	0,2*Sa	0,8*As	Pe (mm)	Pe desac. (mm)
10	0,17	0,17	22,20	3,70	3,70	9,93	39,72	P<0,2*S	P<0,2*S
30	0,50	0,33	12,00	4,00	7,70	9,93	39,72	P<0,2*S	P<0,2*S
55	0,92	0,42	3,40	1,42	9,12	9,93	39,72	P<0,2*S	P<0,2*S
60	1,00	0,08	7,20	0,60	9,72	9,93	39,72	P<0,2*S	P<0,2*S
75	1,25	0,25	3,20	0,80	10,52	9,93	39,72	0,01	0,01
105	1,75	0,50	13,40	6,70	17,22	9,93	39,72	0,93	0,93
120	2,00	0,25	8,00	2,00	19,22	9,93	39,72	1,46	0,53
150	2,50	0,50	26,00	13,00	32,22	9,93	39,72	6,91	5,44
180	3,00	0,50	10,40	5,20	37,42	9,93	39,72	9,80	2,89
195	3,25	0,25	0,80	0,20	37,62	9,93	39,72	9,91	0,12
200	3,33	0,08	12,00	1,00	38,62	9,93	39,72	10,51	0,59
210	3,50	0,17	3,00	0,50	39,12	9,93	39,72	10,81	0,30
225	3,75	0,25	6,80	1,70	40,82	9,93	39,72	11,85	1,04
230	3,83	0,08	1,20	0,10	40,92	9,93	39,72	11,91	0,06
235	3,92	0,08	4,80	0,40	41,32	9,93	39,72	12,16	0,25
250	4,17	0,25	1,60	0,40	41,72	9,93	39,72	12,41	0,25
270	4,50	0,33	1,50	0,50	42,22	9,93	39,72	12,72	0,32
290	4,83	0,33	4,20	1,40	43,62	9,93	39,72	13,62	0,89
315	5,25	0,42	5,50	2,29	45,91	9,93	39,72	15,12	1,50
330	5,50	0,25	6,80	1,70	47,61	9,93	39,72	16,26	1,14
345	5,75	0,25	1,20	0,30	47,91	9,93	39,72	16,46	0,20
350	5,83	0,08	7,20	0,60	48,51	9,93	39,72	16,87	0,41
365	6,08	0,25	12,00	3,00	51,51	9,93	39,72	18,95	2,08
380	6,33	0,25	12,00	3,00	54,51	9,93	39,72	21,09	2,14
415	6,92	0,58	0,30	0,18	54,68	9,93	39,72	21,22	0,13

465	7,75	0,83	1,00	0,83	55,52	9,93	39,72	21,82	0,60
490	8,17	0,42	0,00	0,00	55,52	9,93	39,72	21,82	0,00
515	8,58	0,42	1,20	0,50	56,02	9,93	39,72	22,19	0,36
540	9,00	0,42	0,70	0,29	56,31	9,93	39,72	22,40	0,21
560	9,33	0,33	0,60	0,20	56,51	9,93	39,72	22,55	0,15
570	9,50	0,17	0,00	0,00	56,51	9,93	39,72	22,55	0,00
585	9,75	0,25	1,60	0,40	56,91	9,93	39,72	22,84	0,29
595	9,92	0,17	4,20	0,70	57,61	9,93	39,72	23,36	0,52
610	10,17	0,25	3,60	0,90	58,51	9,93	39,72	24,03	0,67
620	10,33	0,17	6,00	1,00	59,51	9,93	39,72	24,77	0,75
650	10,83	0,50	0,80	0,40	59,91	9,93	39,72	25,07	0,30
690	11,50	0,67	15,80	10,53	70,44	9,93	39,72	33,24	8,17
700	11,67	0,17	18,00	3,00	73,44	9,93	39,72	35,65	2,41
720	12,00	0,33	7,50	2,50	75,94	9,93	39,72	37,68	2,03
740	12,33	0,33	12,00	4,00	79,94	9,93	39,72	40,96	3,29
770	12,83	0,50	14,40	7,20	87,14	9,93	39,72	47,00	6,03
780	13,00	0,17	6,00	1,00	88,14	9,93	39,72	47,84	0,85
790	13,17	0,17	12,00	2,00	90,14	9,93	39,72	49,55	1,70
810	13,50	0,33	12,00	4,00	94,14	9,93	39,72	52,98	3,43
830	13,83	0,33	3,00	1,00	95,14	9,93	39,72	53,84	0,86
840	14,00	0,17	6,00	1,00	96,14	9,93	39,72	54,71	0,87
850	14,17	0,17	9,00	1,50	97,64	9,93	39,72	56,01	1,30
860	14,33	0,17	6,00	1,00	98,64	9,93	39,72	56,88	0,87
870	14,50	0,17	27,00	4,50	103,14	9,93	39,72	60,82	3,94
880	14,67	0,17	12,00	2,00	105,14	9,93	39,72	62,58	1,76
885	14,75	0,08	12,00	1,00	106,14	9,93	39,72	63,46	0,88
910	15,17	0,42	8,40	3,50	109,64	9,93	39,72	66,57	3,10
925	15,42	0,25	22,80	5,70	115,34	9,93	39,72	71,66	5,09
945	15,75	0,33	8,40	2,80	118,14	9,93	39,72	74,18	2,52
985	16,42	0,67	27,30	18,20	136,34	9,93	39,72	90,77	16,59
990	16,50	0,08	1,20	0,10	136,44	9,93	39,72	90,86	0,09
1015	16,92	0,42	9,10	3,79	140,23	9,93	39,72	94,35	3,50
1060	17,67	0,75	78,40	58,80	199,03	9,93	39,72	149,78	55,43
1080	18,00	0,33	2,20	0,73	199,77	9,93	39,72	150,48	0,70
1095	18,25	0,25	0,80	0,20	199,97	9,93	39,72	150,67	0,19
1100	18,33	0,08	16,80	1,40	201,37	9,93	39,72	152,01	1,34
1110	18,50	0,17	0,60	0,10	201,47	9,93	39,72	152,11	0,10
1130	18,83	0,33	7,50	2,50	203,97	9,93	39,72	154,51	2,40
1150	19,17	0,33	0,90	0,30	204,27	9,93	39,72	154,79	0,29
1165	19,42	0,25	3,60	0,90	205,17	9,93	39,72	155,66	0,86
1180	19,67	0,25	1,20	0,30	205,47	9,93	39,72	155,94	0,29
1195	19,92	0,25	4,00	1,00	206,47	9,93	39,72	156,90	0,96
1200	20,00	0,08	2,40	0,20	206,67	9,93	39,72	157,09	0,19
1205	20,08	0,08	4,10	0,34	207,01	9,93	39,72	157,42	0,33
1225	20,42	0,33	0,60	0,20	207,21	9,93	39,72	157,61	0,19
1228	20,47	0,05	10,00	0,50	207,71	9,93	39,72	158,09	0,48

1240	20,67	0,20	1,00	0,20	207,91	9,93	39,72	158,29	0,19
1245	20,75	0,08	7,20	0,60	208,51	9,93	39,72	158,86	0,58
1280	21,33	0,58	1,20	0,70	209,21	9,93	39,72	159,53	0,67
1340	22,33	1,00	0,50	0,50	209,71	9,93	39,72	160,01	0,48
1440	24,00	1,67	0,10	0,17	209,88	9,93	39,72	160,17	0,16

* I – intensidade; P – precipitação; P acum. – precipitação acumulada; Sa – fator Sa; Pe – precipitação efetiva; Pe desac. – precipitação efetiva desacumulada.

4.10 Análise Estatística

Realizou-se uma análise estatística exploratória através do software spring, com os valores de perda de solo, em cada pixel, referente às microbacias estudadas. As análises aplicadas aos dados foram: Número de Pontos, Número de Pontos Válidos, Média, Variância, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação, Coeficiente de Assimetria, Coeficiente de Curtose, Valor Mínimo, Quartil Inferior, Mediana, Quartil Superior e Valor Máximo (Tab. 14, Apêndice). A utilização destes atributos estatísticos foi decorrente das simulações, uma vez que a divisão das perdas de solos em classes não apresentou boa representatividade espacial dos resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características Morfométricas das Microbacias

Os resultados das características morfométricas das quatro microbacias analisadas, área, amplitude altimétrica (AA), fator de forma (kf), coeficiente de compacidade (kc), densidade de drenagem (Dd), índice de sinuosidade (Is) e extensão média do escoamento superficial (Es) são apresentados na tab. 6.

Tabela 6. Características Morfométricas das quatro microbacias pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS

Microbacia	Área (km ²)	AA (m)	kc (adim.)	Kf (adim.)	Dd (km km ⁻²)	Is (adim.)	Es (km)
Barbuda	11,34	0,60	1,81	0,18	0,13	1,35	1,92
Granja	13,91	1,20	2,14	0,17	0,48	1,26	0,52
Pedreira	33,97	4,70	1,37	0,35	1,04	1,27	0,24
Suzana	18,59	2,10	1,25	0,49	0,83	1,35	0,30

As microbacias da Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana apresentam valores de kc iguais a 1,81; 2,14; 1,37 e 1,25, e valores de coeficiente de forma (kf) iguais a 0,18, 0,17, 0,35 e 0,49, respectivamente. Como a forma da microbacia não é, normalmente, usada de forma direta em estudos hidrossedimentológicos, os parâmetros kc e kf são usados para a análise do seu comportamento hidrológico. De acordo com Teodoro et al. (2007), o kc é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente do seu tamanho, ou seja, quanto mais irregular for a bacia, maior será o seu valor, de tal forma que um coeficiente mínimo igual à unidade, corresponderia a uma bacia circular. Assim, verifica-se que as microbacias da Pedreira e da Suzana são mais arredondadas, quando comparadas com a da Barbuda e da Pedreira, que são mais irregulares, ou seja, a tendência para maiores enchentes é tanto mais acentuada quanto mais próximo da unidade for o valor desse coeficiente.

Com relação ao kf, que também indica a maior ou menor tendência para enchentes, observa-se que as microbacias da Barbuda e da Granja, que apresentam os menores valores, 0,18 e 0,17, respectivamente, são menos propensas a ocorrência de enchentes, quando comparadas a da Pedreira (0,35) e da Suzana

(0,49). Oliveira e Borsato (2011) com o objetivo de apresentar a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Marumbizinho – Jandaia do Sul/PR, encontraram resultados similares, valores de k_f e k_c iguais a 0,35 e 1,28, respectivamente. Concluíram que a bacia em estudo não apresentou uma forma circular e, portanto, não corria risco de enchentes.

Ao analisar os valores resultantes da amplitude altimétrica (AA), pode-se observar que a microbacia que apresentou o menor desnível foi o da Barbuda, 0,60 m, evidenciando que a mesma é a mais plana dentre as estudadas, já a microbacia que apresentou o maior valor de AA, 4,70 m, foi a Pedreira (Fig. 6).

Analisando-se os valores de Dd e Es (tab. 6), verifica-se que o escoamento canalizado está presente nas microbacias Granja, Pedreira e Suzana, e o não canalizado somente é apresentado na microbacia Barbuda, isto é, a microbacia Barbuda apresentou apenas um curso d'água em toda a sua extensão, o que não ocorreu nas demais (Fig. 9).

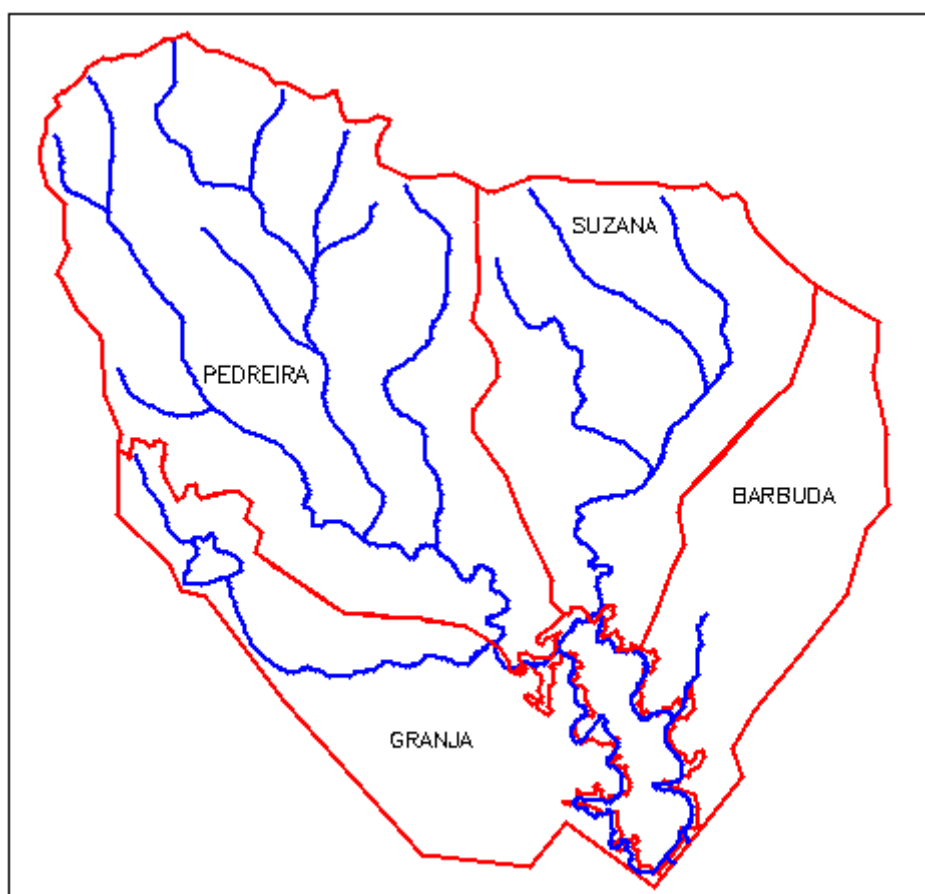


Figura 9. Distribuição da rede hidrográfica das quatro microbacias, pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

Tonello et al. (2006) com o objetivo de estudar a morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, localizada no Município de Guanhões/MG, encontraram valores de Dd entre 0,34 a 1,5 km km⁻², concluindo que as bacias apresentaram deficiência de drenagem.

Com relação ao Is, os valores encontrados foram 1,35; 1,26; 1,27 e 1,35 para as microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana, respectivamente. Feitosa, Santos e Araújo (2011), consideram que um valor de Is próximo a 1,0, indica que os canais tendem a serem retilíneos, valores superiores a 2,0, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Assim pode-se verificar que as quatro microbacias apresentaram canais com formas transicionais, regulares ou irregulares.

Na microbacia Barbuda, o valor da extensão média do escoamento superficial (Es) foi o maior entre as microbacias, 1,92 km, e em contrapartida, o menor de Dd, 0,13 km km⁻². Estes resultados confirmam que o maior volume de escoamento ocorrerá na superfície do solo, onde poderá ocorrer maior carreamento de sedimentos. Assim, a partir dos valores resultantes de Es verifica-se que a microbacia que apresentou maior percentual de escoamento superficial foi a Barbuda, com 63,40%, enquanto as microbacias Granja, Pedreira e Suzana apresentaram 18,00; 8,30 e 10,30%, respectivamente. Desta forma, pode ser observado que a microbacia Barbuda possui apenas 5,2% da drenagem total da Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, enquanto as microbacias Granja, Pedreira e Suzana possuem 19,3; 42,0 e 33,5%, respectivamente. Os resultados obtidos confirmam que a microbacia Barbuda apresenta o menor valor de densidade de drenagem, e a microbacia Pedreira o maior valor.

Através dos resultados obtidos com relação às características morfométricas das microbacias, pode-se inferir sobre as áreas propensas à erosão, em que as microbacias Pedreira e Suzana apresentaram, na sua parte superior, um relevo mais acentuado, e Dd com valor relativamente alto. Além disso, apresentaram formas mais arredondadas e, por fim, valores de Is que caracterizam canais como irregulares, permitindo, assim, uma prévia noção de que essas apresentariam valores mais elevados de perda de solo. Esta confirmação pode ser verificada também na pesquisa feita por Feitosa, Santos e Araújo (2011), cujo objetivo foi apresentar o estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, localizada na região do semi-árido pernambucano. Os autores determinaram as condições

morfométricas, com vistas ao entendimento da sua dinâmica ambiental e concluíram que, a partir da análise morfométrica da bacia, foi possível identificar e classificar as áreas mais susceptíveis à erosão dos solos, principalmente aquelas localizadas na porção Norte e Centro-Oeste da bacia.

Na tab. 7 estão apresentados os valores do tempo de concentração (Tc) para cada microbacia em relação às cinco classes de solo em estudo. Observa-se que apesar da microbacia Pedreira apresentar a maior área, a microbacia com maior tempo de concentração é a Suzana, com 530 min. Este resultado pode estar relacionado a baixa declividade em sua extensão, bem como aos tipos de solo presentes. As microbacias Pedreira e Suzana apresentaram a mesma classe de solo, porém com concentrações diferentes, observando-se menor área de Argissolos (PVd1) na microbacia Suzana (Fig. 10), com taxa de infiltração menor, segundo Cunha e Silveira (1996), quando comparados aos Planossolos, proporcionando um valor elevado de Tc. Outro fator que pode ter contribuído na análise de TC, está relacionado ao seu uso e cobertura, a qual possui maior percentual de campo e mata, em relação às outras coberturas, fazendo assim com que a água se concentre por mais tempo na microbacia. Assim, ao combinar-se a declividade do terreno, sua composição de solos e o seu uso e cobertura, a microbacia Suzana apresentou características que justificam o seu elevado valor de Tc. Segundo Faxina et al. (2012) a maior cobertura vegetal, utilizando mata, campo, etc, associada às menores declividades, propiciam uma maior retenção dos fluxos de água no solo.

Tabela 7. Valores de Tempo de Concentração (Tc) das quatro microbacias relacionados às classes de solo.

Solos	Tc (min) (Microbacias)			
	Barbuda	Granja	Pedreira	Suzana
HGe1	9	10	-	-
PLe1	10	130	90	60
PLe3	60	250	150	220
PLe4	20	70	70	180
PVd1	-	-	130	70
TOTAL	99	330	440	530

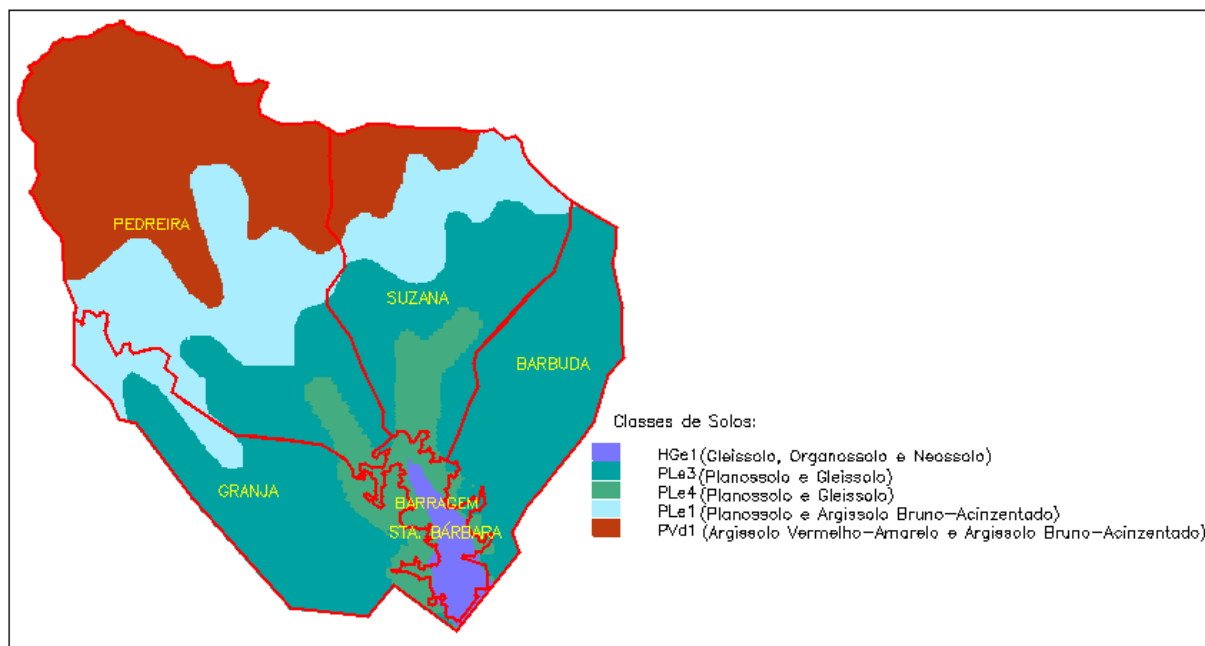


Figura 10. Mapa de distribuição das classes de solo das quatro microbacias, pertencentes a Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, em Pelotas/RS.

5.2 Validação da Metodologia de Aplicação da Relação IDF

Na tab. 13 (Apêndice), pode-se observar que há um ajuste dos dados da IDF aos dados do evento de 2004, já que o valor da precipitação acumulada gerada pela mesma foi de 209,63 mm e a do evento foi de 209,88 mm e da precipitação efetiva 160,18 mm e 160,17 mm, respectivamente, evidenciando, assim, um ajuste adequado e satisfatório da IDF em relação ao evento de 2004.

Como houve a validação da IDF para o cálculo de intensidade, os valores de I foram calculados para cada parcela de tipo de solo, referente a cada microbacia, cuja intensidade de precipitação para o cálculo de volume de escoamento superficial, com duração de 30 min, foi de $84,84 \text{ mm h}^{-1}$.

5.3 Fatores da Modificação da Equação Universal de Perda de Solo

Na tab. 8 verificam-se os valores médios de escoamento superficial, calculados para as respectivas microbacias, em relação às classes de solo. Observa-se que a microbacia Suzana apresentou o menor volume médio de

escoamento superficial (145,6 m³) e a Barbuda o maior (281,3 m³), cujos resultados estão diretamente ligados às características morfométricas das microbacias. Nesse sentido, o relevo, o uso e cobertura das mesmas influenciaram nos resultados. Isto se confirma ao se verificar que a microbacia Barbuda é a que apresentou um único curso d'água, maior extensão média de escoamento superficial, relevo relativamente plano, e também é considerada uma microbacia urbana. Já a microbacia Suzana, que apresentou uma alteração maior no seu relevo em relação à Barbuda, é a segunda microbacia com melhor drenagem, sendo inferior apenas a Pedreira.

Segundo Brandão et al. (2007), o volume de escoamento superficial é função da lâmina de água e da declividade da superfície do solo. Ferreira et al. (2010) utilizaram simulador de chuvas com o objetivo de avaliar o comportamento da perda de solo e água, decorrentes de precipitações simuladas sob diferentes declividades e níveis de cobertura da superfície do solo. Os autores encontraram uma diferença na velocidade da água de escoamento superficial, devido a maior declividade, consequentemente, maior capacidade de transporte de partículas, acarretando em um aumento das perdas de solo. Observaram também que no experimento que não havia cobertura de proteção na superfície e possuía menor declividade apresentou maior acúmulo de água.

Tabela 8. Valores de Escoamento Superficial (Q) das microbacias, referentes às classes de solo.

Solos	Q (m ³) (Microbacias)			
	Barbuda	Granja	Pedreira	Suzana
HGe1	76,1	73,3	-	-
PLe1	76,1	51,8	38,4	41,9
PLe3	58,4	47,7	33,3	31,8
PLe4	70,7	56,1	40,1	31,8
PVd1	-	-	35,0	40,1
TOTAL	281,3	228,9	175,5	145,6

Na tab. 9 são apresentados os valores do parâmetro Curva Número (CN) calculados para cada classe de solo, para as quatro microbacias. Observa-se que os valores de CN da microbacia Barbuda são maiores em comparação com as demais, representando que há maior escoamento do que a infiltração de água no solo, fato

observado também pelos altos valores de ES. Vale ressaltar que a microbacia Barbuda é considerada uma microbacia urbana, apresentando-se com uma drenagem deficiente. Reys, Rizzi e Araki (2010) analisaram o comportamento hidrológico em três sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Carapá, localizadas no Paraguai, em 1985, 1999 e 2007, através de análise multitemporal do uso do solo e análise da resposta hidrológica pelo método de Curva Número, com ênfase no parâmetro de coeficiente de escoamento superficial (C). As estimativas médias de CN encontradas, considerando-se as condições antecedentes de umidade, foram 52,98 para a condição seca, 72,85 para a condição normal e 86,66 para a condição de solo saturado.

Tabela 9. Valores do parâmetro Curva Número (CN) das microbacias, referentes às classes de solo.

Solos	CN (Microbacia)			
	Barbuda	Granja	Pedreira	Suzana
HGe1	97	96	-	-
PLe1	97	87	80	82
PLe3	90	85	77	76
PLe4	95	89	81	76
PVd1	-	-	78	81
MÉDIA	95	90	79	79

Assim, além da microbacia Barbuda ter apresentado uma composição de solo com baixa drenagem, Cunha e Silveira (1996) relatam que este solo apresenta-se impermeabilizado, sendo, ainda, influenciado pela ocupação do solo com área urbana. A microbacia Granja, que apresentou a mesma composição de solos que a Barbuda e também considerada urbana, apresentou um valor de CN igual a 90, porém com concentração maior de solos mais bem drenados. Já as microbacias Pedreira e Suzana mostraram através de seus valores de CN, que possuem solos mais permeáveis e mais bem drenados, sendo ambas consideradas microbacias rurais.

Os maiores valores do parâmetro CN do método do Soil Conservation ocorreram nos solos classificados como Gleissolo, Organossolo e Neossolo (HGe1)

e Planossolo Argissolo Bruno Acinzentado (PLe1), localizados nas microbacias Barbuda e Granja.

Os valores de Vazão de Pico (q_p) calculados para as microbacias são apresentados na tab. 10. Observa-se que os valores encontrados foram $0,002884 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a microbacia Pedreira, $0,00074 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ para a Suzana, $0,00231 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na Granja e $0,00537 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ na Barbuda. Verifica-se que a microbacia Barbuda, por apresentar maior valor de q_p , é a mais susceptível a eventos de grandes magnitudes, talvez por ser aquela com maior percentual de áreas urbanas. Porém também podem estar relacionadas às formas das microbacias, pois a Barbuda e a Granja são as que se apresentaram formas mais alongadas. Mello, Lima e Silva (2007) apresentaram em seu estudo que valores de vazão de pico são diretamente influenciados pela umidade antecedente do solo, a eventos de precipitação e pela sua cobertura, assim quanto maior for a umidade e mais impermeável for o solo, maior também será o valor da vazão de pico.

Tabela 10. Valores da Vazão de Pico (q_p) das microbacias, referentes às classes de solo.

Solos	$q_p (\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$ (Microbacias)			
	Barbuda	Granja	Pedreira	Suzana
HGe1	0,001970	0,0019500	-	-
PLe1	0,001800	0,0000143	0,000195	0,0003060
PLe3	0,000315	0,0000750	0,000121	0,0000842
PLe4	0,001290	0,0002750	0,002426	0,0001040
PVd1	-	-	0,000142	0,0002480
TOTAL	0,005370	0,0023100	0,002884	0,0007400

Os valores de Erodibilidade do Solo (K) calculados para cada microbacia e classe de solo são apresentados na tab. 11. Observa-se que nas microbacias Barbuda e Granja, os valores encontrados foram $0,19 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e para as microbacias Pedreira e Suzana $0,43 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. Fernandes (2011) obteve valores entre $0,20$ e $0,30 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, os quais foram classificados como de erodibilidade média, e valores acima de $0,30 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ como erodibilidade alta. As microbacias Barbuda e Granja apresentaram uma suscetibilidade média, já as microbacias Pedreira e Suzana apresentaram uma suscetibilidade mais elevada.

Isto pode estar associado à presença dos solos Argissolo Vermelho-Amarelado e Argissolo Bruno-Acinzentado (PVd1) nas microbacias Pedreira e Suzana, caracterizados por serem solos propensos a erosão. Miqueloni e Bueno (2011), com o objetivo de estimar a erodibilidade do solo em uma área de nascentes da microbacia do Córrego do Tijuco, Monte Alto/SP, onde os solos predominantes pertenciam à classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos, concluíram que a erodibilidade média estimada para este tipo de solo foi considerada alta, estando correlacionada com as variáveis granulométricas do solo e variando em áreas específicas de acordo com o relevo.

Tabela 11. Valores da Erodibilidade do Solo (K) das microbacias, referentes às classes de solo.

Solos	K (t ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹) (Microbacias)			
	Barbuda	Granja	Pedreira	Suzana
HGe1	0,0145	0,0145	-	-
PLe1	0,0860	0,0860	0,0860	0,0860
PLe3	0,0470	0,0470	0,0470	0,0470
PLe4	0,0397	0,0397	0,0397	0,0397
PVd1	-	-	0,2600	0,2600
TOTAL	0,19	0,19	0,43	0,43

5.4 Aporte de Sedimentos das Microbacias

Para a representação dos resultados na forma de mapas, foram criadas quatro classes temáticas, originadas da estatística exploratória aplicada aos valores resultantes de perda de solo (tab. 14, Apêndice), dividindo-os em valor mínimo, quartil inferior, mediana e quartil superior.

Na tab. 12 verificam-se os valores totais de aporte de sedimentos calculados para as quatro microbacias, considerando-se as duas simulações. Os valores encontrados foram 17,58; 29,36; 995,70 e 177,62 Mg, para as microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana, respectivamente, considerando a simulação 1 e para a simulação 2, 17,36; 27,40; 888,44 e 159,66 Mg, respectivamente. Observa-se que os valores de perda de solo aumentam conforme aumenta a área da microbacia, ou seja, a Pedreira que possui a maior área (33,97 km²) é a que apresenta o maior valor

de perda de solo (995,70 Mg). Com relação as simulações, verifica-se que houve uma diminuição de 1,27% na microbacia Barbuda, 6,68% na Granja, 10,77% na Suzana e 10,11% na Pedreira, nos valores de aporte de sedimentos quando foram inseridas as APPs.

Tabela 12. Valor Total de Aporte de Sedimentos (Y) das microbacias, para as simulações 1 e 2.

Microbacias	Área (ha)	Y (Mg)			
		Simulação 1	Mg ha ⁻¹	Simulação 2	Mg ha ⁻¹
Barbuda	1134,20	17,58	0,016	17,36	0,015
Granja	1391,18	29,36	0,021	27,40	0,020
Pedreira	3396,84	995,70	0,293	888,44	0,261
Suzana	1858,76	177,62	0,096	159,66	0,086

Simulação 1: uso atual. Simulação 2: implantação de APPs.

Na Fig. 11 e tab. 12 observa-se que a microbacia Barbuda apresenta o menor valor de Y (0,016 Mg ha⁻¹), em relação às demais; e ao relacionar as duas simulações apresentadas na Fig. 11, observa-se que não há mudança significativa quando da implantação das APPs. Viera (2008) utilizou a EUPS para a estimativa do aporte de sedimentos, caracterizando valores de 0-3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, como sendo muito baixos de erosão e acima de 16 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ valores muito altos. Ao analisar seus resultados na sub-bacia do Rio Coruja/Bonito, quanto a predominância das classes classificou-as como: muito baixa (2.272 Mg ha⁻¹), seguida pelas classes muito alta (1.079 Mg ha⁻¹) e baixa (1.001 Mg ha⁻¹), constatando que os fatores declividade, comprimento de rampa e uso do solo exerceram influência na geração dos resultados. No presente trabalho os resultados encontrados também podem estar relacionados ao Fator topográfico (LS) e ao uso e cobertura do solo, já que o comportamento da perda de solo é semelhante aos dos itens já discutidos anteriormente (Fig. 31 e 15, Apêndice).

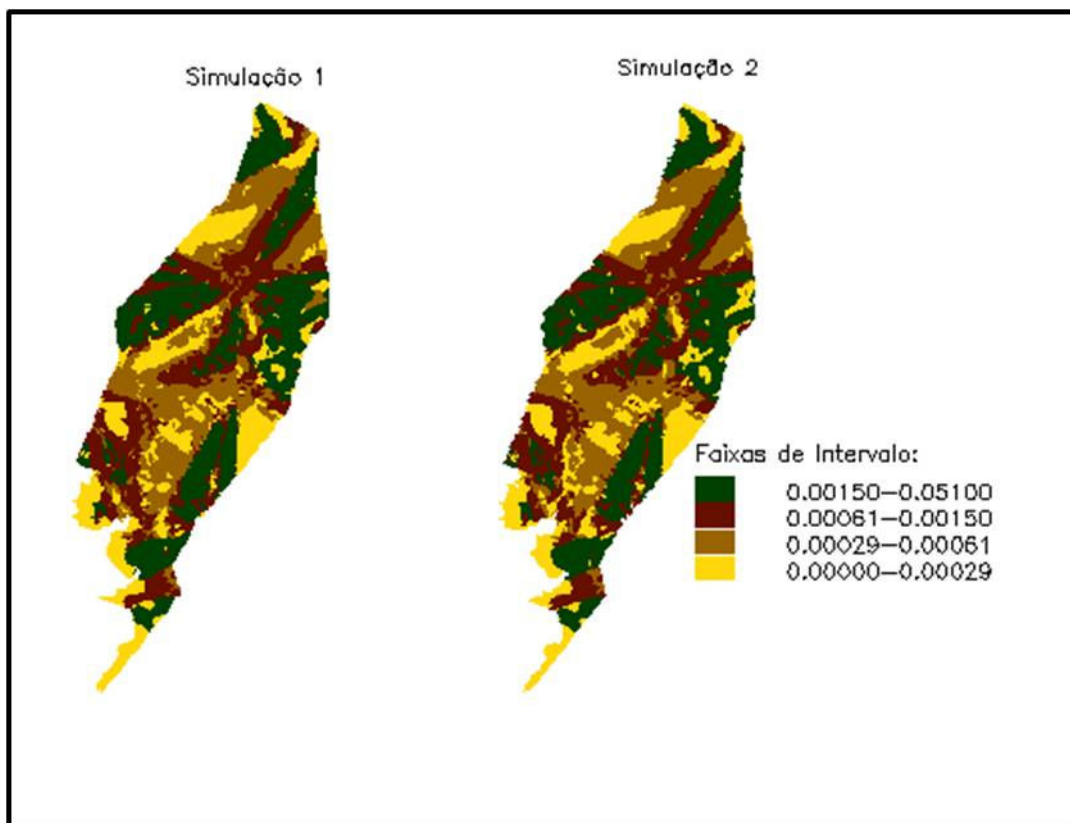


Figura 11. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Barbuda, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.

Na Fig. 12 observam-se as classes de perda de solo da microbacia Granja, que apresentou valores entre 0 – 0,078 Mg, cujo comportamento de perda de solo é similar ao comportamento do fator topográfico e uso e ocupação, evidenciando novamente a influência que estes causam na geração de sedimentos.

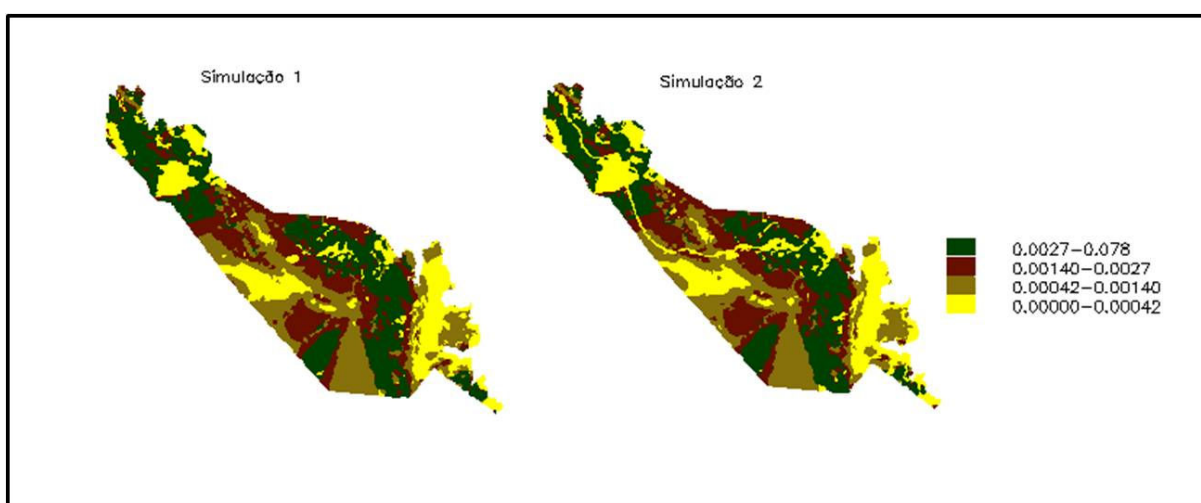


Figura 12. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Granja, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.

Ao comparar as simulações na Fig. 12, pode ser verificado que ao incluir as APPs é visível o aumento das áreas com menores valores de perda de solo, mostrando assim que se as APPs estivessem implantadas, segundo a legislação vigente, haveria a conservação do solo e a diminuição do aporte de sedimentos no leito dos rios, que alimentam a Barragem Santa Bárbara. Isso também foi constatado por Castro et al. (2013), que observaram que em solo desprotegido, onde deveria haver APPs, o volume d'água que atinge o terreno, o tipo de cobertura vegetal, tipo de solo/rocha, a topografia, e o pisoteio do gado provocaram intenso fluxo de sedimentos à jusante, além de assoreamentos locais.

Na Fig. 13 observa-se a classificação da microbacia Pedreira, que segundo a tab. 12, foi a microbacia que gerou maiores valores de perda de solo, porém também é a de maior área e declividade. Esta apresentou valores entre 0-0,57 Mg, mostrando um comportamento similar ao seu fator topográfico (Fig. 34, Apêndice) e classes dos solos existentes. Assim, pode-se verificar que os maiores valores de perda de solo estão representados na parte superior da microbacia, onde observa-se uma maior declividade, cuja predominância é de um Argissolo Vermelho – Amarelado, que como já citado anteriormente, apresenta maior suscetibilidade a erosão. Os menores valores de perda de solo estão na parte inferior da microbacia, que além de apresentar um relevo mais plano é composta em sua maior parte por Planossolo, que por sua composição, apresenta menor suscetibilidade a erosão, quando comparado aos demais solos. Feitosa et al. (2010) afirmam que Argissolos apresentam infiltração da água dificultada, tornando-se extremamente lenta, cujas características dos solos, pouca profundidade e textura argilosa, contribuem para o aumento do escoamento superficial das águas, com arraste da fração granulométrica mais fina do solo.

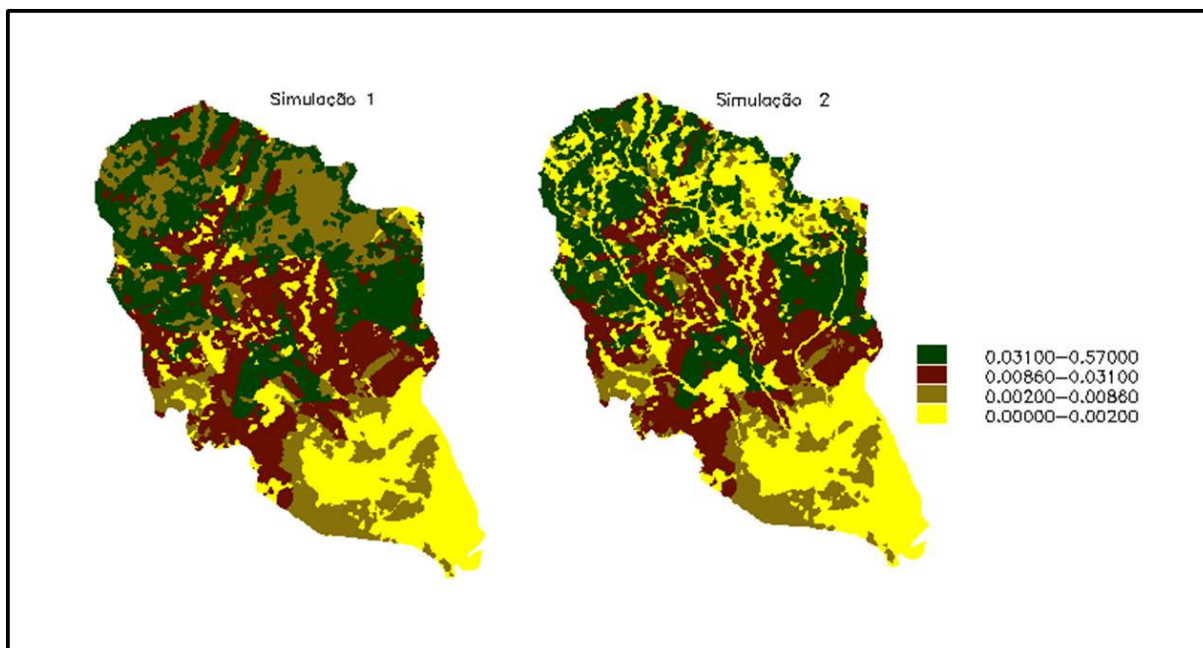


Figura 13. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Pedreira, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.

Ao comparar-se as simulações na Fig. 13, observa-se também que há um aumento significativo nas áreas com menores valores de perda de solo, mostrando novamente a importância da implantação de APPs, ou até mesmo sua conservação.

Na Fig. 14, verifica-se a classificação de perda de solo da microbacia Suzana, a qual apresenta valores entre 0-0,21 Mg. Observa-se que apesar da microbacia Suzana apresentar a segunda maior área entre as microbacias, seu valor total de perda de solo (tab. 12) foi de 177,62 Mg, mostrando assim que esta resultou em valores maiores de perda de solo por hectare ($0,096 \text{ Mg ha}^{-1}$), quando comparado aos valores das microbacias Barbuda ($0,019 \text{ Mg ha}^{-1}$) e Granja ($0,021 \text{ Mg ha}^{-1}$), com perda de solo por hectare menor, apenas quando comparado com a microbacia Pedreira ($0,293 \text{ Mg ha}^{-1}$), que tem como característica uma área consideravelmente maior que as demais.

Assim os valores apresentados pela microbacia Suzana podem ser associados a sua área de 1858,76 ha, sua propensão a erodibilidade do solo (valor de K igual a 0,43) e seu fator topográfico, o qual apresenta maiores valores de declividade na parte superior da microbacia.

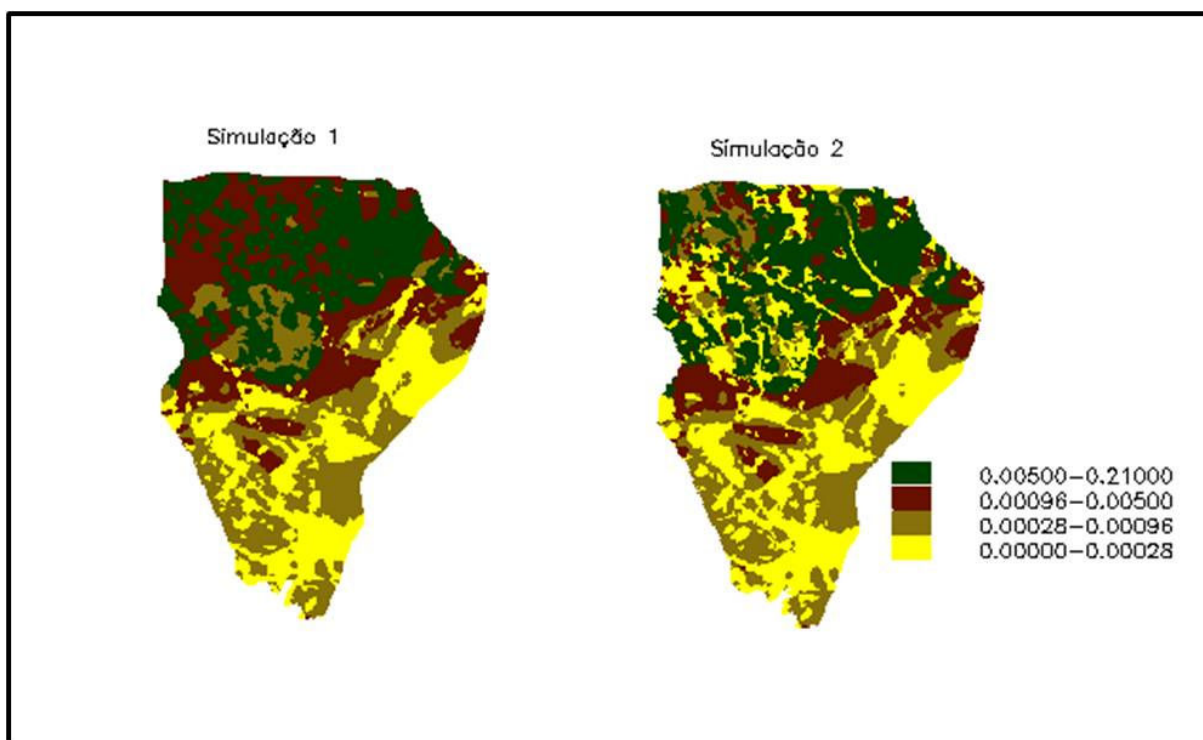


Figura 14. Distribuição do aporte de sedimentos na microbacia Suzana, em Mg, para as condições de uso e cobertura do solo nas simulações 1 e 2.

As simulações da Fig. 14 apresentam as mesmas características das demais microbacias, observando-se um aumento das áreas de menores valores de perda de solo com a implantação das APPs, diminuindo também a carga total de sedimentos nas microbacias por hectare.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

Houve redução nos valores do aporte de sedimentos nas microbacias Barbuda, Granja, Pedreira e Suzana, pertencentes à Bacia Hidrográfica da Barragem do Arroio Santa Bárbara, localizadas em Pelotas, quando foram implantadas as Áreas de Preservação Permanente, comparativamente ao uso atual.

As microbacias Pedreira e Suzana, comparativamente às demais, apresentaram uma forma mais arredondada, ou seja, mostraram-se mais susceptíveis a ocorrência de enchentes. Com relação a declividade, a Barbuda mostrou-se mais plana e a Pedreira mais íngreme. A microbacia Barbuda foi considerada a mais pobre em termos de densidade de drenagem e, por consequência, maior extensão média do escoamento superficial. Os canais das quatro microbacias mostraram-se com o formato irregular, ou seja, apresentaram valores de índice de sinuosidade próximos a unidade.

Em função da microbacia Barbuda apresentar altos valores de extensão média do escoamento superficial, concentração de solos com baixa drenagem, além da influência da ocupação urbana, o valor do parâmetro Curva Número foi o maior dentre as microbacias analisadas.

Os menores valores de volume de escoamento superficial e de vazão de pico foram encontrados na microbacia Suzana e os maiores na Barbuda. Com relação a erodibilidade do solo, as microbacias Barbuda e Granja apresentaram uma suscetibilidade média, já as microbacias Pedreira e Suzana apresentaram uma suscetibilidade mais elevada.

É possível utilizar a relação Intensidade-Duração-Frequência para a localidade de Pelotas, na estimativa da intensidade máxima de precipitação ao aplicar a Modificação da Equação Universal de Perda de Solo, sendo a metodologia considerada adequada para a caracterização do aporte de sedimentos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, E.H.; SOUZA, A. Produção de sedimentos na zona costeira da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62/02, p. 199-205. 2010.

ALVES, T.L.B.; AZEVEDO, P.V. Estimativa da erosividade das chuvas na bacia do riacho Namorado, no município de São João do Cariri (PB). **Revista Ambiência**, v.9, n.1, p.13–23, 2013.

AQUINO, D.N.; TEIXEIRA, A.S.; LOPES, F.B.; OLIVEIRA, A.D.S. Estimativa do escoamento superficial em microbacia do semi-árido brasileiro pelo emprego do SIG. **Revista Tecnológica de Fortaleza**, Fortaleza, v.29, n.1, p.37-45, jun. 2008.

ARAÚJO JUNIOR, G.J.L.D. **Aplicação dos modelos EUPS e MEUPS na bacia do Ribeirão Bonito (SP) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos, 1997.

ARAÚJO, B.A.M.; SILVEIRA, C.S.; SOUZA, J.L.; MAIA JÚNIOR, J.V.F.; ALMEIDA, F.A.F.; STUDART, T.M.C. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió – AL, 2011.

AREKHI, S.; SHABANI, A.; ROSTAMIZAD, G. Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran). **Arabian Journal of Geosciences**, n.5, p.1259–1267, 2012.

AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MELLO, C.R.; FONSECA, S. Calibração e aplicação do modelo MUSLE em uma microbacia hidrográfica nos Tabuleiros Costeiros brasileiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.563–569, 2008.

BAGATINI, T.; COGO, N.P.; GILLES, L.; PORTELA, J.C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H.T. Perda de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra,

em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.999-1011, 2011.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; COELHO, G.; SILVA, A.M.; VIOLA, M.R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.169-178, 2009.

BRANDÃO, V.S.; SILVA, D.D.; RUIZ, H.A.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MARTINEZ, M.A.; SILVA, E.O. Perdas de solo e caracterização física e microformológica de crostas formadas em solos sob chuva simulada. **Revista Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.129-138, 2007.

BRASIL, **Lei Federal nº 4.771**, de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília 1965.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. 1997.

BRASIL, **Lei Federal nº 12.651**, de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

CABRAL, J.B.P.; BECEGATO, V.A.; ASSUNÇÃO, H.F.; NETO, S.L.R. Monitoramento da erosividade na área do reservatório da hidroelétrica de Cachoeira Dourada, GO/MG. **Geosul**, v.22, n.44, p.47-65, 2007.

CABRAL, J.B.P.; OLIVEIRA, S.F.; ASSUNÇÃO, H.F.; BECEGATO, V.A.; MACHADO, W.C.P. Análise ambiental da bacia hidrográfica do Córrego da Onça, no município de Jataí – GO. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí**, n.10, p.140-163, 2008.

CARDOSO, C.A.; TEIXEIRA DIAS, H.C.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p. 241-248, 2006.

CARVALHO, A.A.A.A. **Avaliação das Áreas de Preservação Permanente de curso d'água na área de proteção de manancial do Córrego Quinze, Distrito Federal**. 2011, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento e Análise Ambiental) – Universidade de Brasília – Instituto de Geociência, Brasília, 2011.

CARVALHO NETO, J.G.; SRINIVASAN, V.S.; RUFINO, I.A.A. Aplicação do modelo SWAT para estudo de cenários hipotéticos na Bacia Hidrográfica do Riacho dos Namorados no Cariri Paraibano. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.5, n.2, p.30-40, 2011.

CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Revista Scientia Plena**, v.5, n.2, p.1-7, 2009.

CASTRO, H.B.; BRASIL, L.S.; SANTOS, M.L.; VALADÃO, M.B.X.; GIEHL, N.F.S.; OLIVEIRA, S.L.; MELO, C.E. Quantificação e qualificação das alterações em Áreas de Preservação Permanente de um trecho do Rio das Mortes, Mato Grosso, Brasil. **Biotemas**, v.26, n.3, p.83-90, 2013.

CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F. Interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CECÍLIO, R.A.; REIS, E.F. Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

CHEREM, L.F. **Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas - MG**. 2008. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais). Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - IGC/ UFMG, 111 p. Belo Horizonte, 2008.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília, 2002.

CUNHA, N.G.; SILVEIRA, R.J.C. **Estudo dos solos do município de Pelotas**. EMBRAPA/CPACT, Ed. UFPel, 1996. 50 p.: il. (Documentos CPACT; 12/96).

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; MOURA, C.; MACHADO, R.; BESKOW, S. Análise do impacto de um evento de precipitação ocorrido na cidade de Pelotas/RS. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.3, p.15-25, 2005.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.2, p.245-255, 2008.

DAMÉ, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; SIQUEIRA, G.A.; BACELAR, L.C.S.D.; GARRÉ, S.O. **Estimativa do parâmetro CN e impacto da urbanização em uma bacia do extremo sul do Brasil**. XIV World Water CONGRESS. Porto de Galinhas, 2011.

DINGMAN, S.L. **Physical Hydrology**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 646p.

ELESBON, A.A.A.; GUEDES, H.A.S.; SILVA, D.D.; OLIVEIRA, I.C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus – Brasil. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.64, n.3, p.281-288, 2011.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia** – Ano 7, n.2, p.73-85, 2006.

FAXINA, R.R.C.; REZENDE, J.H.; VENIZIANI JÚNIOR, J.C.T.; AZEVEDO, P.F.F. Urbanização e alterações morfométricas e hidrológicas na bacia hidrográfica do Córrego dos Pires, Jaú, São Paulo. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.3, n.2, p.57-72, 2012.

FEITOSA, A.; FECHINE, J.A.L.; FERREIRA, C.W.S.; ARAÚJO, M.S.B. Modelagem dinâmica de escoamento superficial influenciando a suscetibilidade à erosão dos solos num município do Semi-árido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.11, n.2, p.75-82, 2010.

FEITOSA, A.; SANTOS, B.; ARAÚJO, M.S.B. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p.820-836, 2011.

FERNANDES, J.A. **Estudo da erodibilidade de solos e rochas de uma voçoroca em São Valentim, RS**. 2011. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

FERREIRA, A.O.; GONZATTO, R.; MIOLA, A.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C. Influência da declividade e de níveis de cobertura do solo no processo de erosão com chuva simulada. **Revista Verde**, v.5, n.5, p.182-190, 2010.

GOMES, T.S.; LOBÃO, J.S.B. **Delimitação de Sub-bacias a partir do uso de imagens SRTM/NASA: um estudo da Bacia do rio Jacuípe-BA.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009. 14, Natal. Anais. INPE, p. 3841-3848.

GRANELL-PÉREZ, M.C. **Trabalhando Geografia com as cartas topográficas.** Ijuí: Ed. Unijuí, 2001. 128p.

HANN, C.T.; BARFIELD, B.J.; HAYES, J.R. **Design hidrology and sedimenttology for small catchments**, Academic Press, 1994.

HARTWIG, M.P. **Modelagem da geração de sedimentos, por meio da MEUPS, na microbacia do Ribeirão dos Marins, em Piracicaba, SP.** 2009. 127 f. Tese (Doutor em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

LEITE, M.E.; ALMEIDA, J.W.L.; SILVA, R.F. Geotecnologias aplicadas à extração automática de dados morfométricos da Bacia do Rio Pacuí/MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.64/5, p.677-691, 2012.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.** 2002. 166 f. Tese (Doutor em Agronomia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

MARQUES FILHO, A.O.; FERREIRA, S.J.F.; MIRANDA, S.A.F. Modelo de escoamento superficial em bacia experimental da Reserva Florestal Adolpho Ducke. **Revista ACTA Amazonica**, v.39, n.4, p.907-922, 2009.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M. Simulação do deflúvio e vazão de pico em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.410–419, 2007.

MIQUELONI, D.P.; BUENO, C.R.P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p. 2175-2182, 2011.

MORUZZI, R.B.; OLIVEIRA, S.C. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Rio Claro, SP: métodos e aplicação. **Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.13, p.59-68, 2009.

OLIVEIRA, E.D.; BORSATO, V.A. Propriedades morfométricas da bacia hidrográfica do Córrego Marumbizinho, Jandaia do Sul/PR. **Revista Geografar**, Curitiba, v.6, n.1, p.76-94, 2011.

OLSZEWSKI, N.; FERNANDES FILHO, E.I.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, E.; COSTA, O.D.V. Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.35, n.3, p.485-492, 2011.

PAES, F.S.; DUPAS, F.A.; SILVA, F.G.B.; PEREIRA, J.C.D. Espacialização da perda de solo nas Bacias Hidrográficas que compõem o Município de Santa Rita do Sapucaí (MG). **Revista Geociência**, v.29, n.4, p.589-601, 2010.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1777-1785, 2011.

PARANHOS, R.M.; PAIVA, J.B.D. Avaliação de Metodologia de Estimativa de Produção de Sedimentos em uma Pequena Bacia Rural de Encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.13, n.1, p.7-18, 2008.

PINTO, S.A.F.; GARCIA, G.J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, v.17, p.30-37, 2005.

PINTO, F.E.F. **Influência do Hidrograma Unitário e da Distribuição da Precipitação Útil no Hidrograma de Projecto**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

PRATES, R.P.; ROCHA, P.C. Variabilidade hidrossedimentológicas nos canais secundários da planície fluvial do Alto Rio Paraná. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v.7, n.2, 2011.

REYS, C.D.R.; RIZZI, N.E.; ARAKI, H. Análise das características hidrológicas de três sub-bacias do Rio Carapá (Canindeyú, Paraguai) em função das mudanças da cobertura vegetal. **Revista Floresta**, Curitiba, v.41, n.2, p.243-256, 2011.

RIBEIRO, D.R.S.; OKUYAMA, K.K.; ROCHA, C.H.; WEIRICH NETO, P.H.; MAZER, G.P. **Impactos da nova lei ambiental, na recuperação das áreas de Preservação Permanente (APPs)**. VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Porto Alegre/RS, 2013.

SAMPAIO, S.C.; CORRÊA, M.M.; BÔAS, M.A.V.; OLIVEIRA, L.F.C. Estudo da precipitação efetiva para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.2, p.210-213, 2000.

SANGOI, R.G. **Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos na Bacia hidrográfica experimental de São Martinho da Serra-RS**. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2007.

SANTOS, J.P. **Caracterização da área de contribuição do reservatório Santa Bárbara e identificação de conflitos**. Monografia (Especialista em Gestão Regional de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2004.

SANTOS, G.G.; FIGUEIREDO, C.C.; OLIVEIRA, L.F.C.; GRIEBELER, N.P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.899-905, 2009.

SANTOS, L.L. Modelos Hidráulicos-hidrológicos: Conceitos e aplicações. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.2, n.3, p.1-19, 2009.

SANTOS, G.G.; GRIEBELER, N.P.; OLIVEIRA, L.F.C. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.115–123, 2010.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.5-18, 2005a.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 2: Aplicação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n.4, p.19-29, 2005b.

SCHULTZ, G.B.; SIEFERT, C.A.C.; SANTOS, I. Avaliação do ArcMUSLE para a estimativa da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Negro, região sul brasileira. **Boletim de Geografia**, Maringá, v.31, n.2, p.131-141, 2013.

SCHWAB, G.O.; FREVERT, R.K.; EDMISTER, T.W.; BARNES, K.K. **Soil Water Conservation Engineering**. (3rd ed.), Wiley, New York, 1981.

SILVA, A.M. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestrutura Civil**, v.8, n.1, p.5-14, 2008.

SILVA, R.C. **Análise das áreas suscetíveis à erosão na bacia do Arroio Pelotas (RS), com auxílio do geoprocessamento**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande-RS, 2009.

SILVA, L.; LIMA, E.R.V.; ALMEIDA, H.A.; COSTA FILHO, J.F. Caracterização Geomorfométrica e Mapeamento dos Conflitos de Uso na Bacia de Drenagem do Açude Soledade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, n.3, p.112-122, 2010a.

SILVA, F.G.B.; MINOTTI, R.T.; LOMBARDI NETO, F.; PRIMAVESI, O.; CRESTANA, S. Previsão da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando geoprocessamento e o USLE 2D. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.15, n.2, p.141-148, 2010b.

SILVA, M.T.; SILVA, V.P.R.; SOUSA, E.P.; OLIVEIRA, S.D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.3, p.646-660, 2012.

SIMÕES, H.D.G.; FERNANDEZ, P.A.J. **Comparação de métodos de cálculo do fator topográfico (LS) da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**. IV Encontro de Sistemas de Informação Geográfica, Castelo Branco, 2013.

SIMON, A.L.H.; GONÇALVES, A.M.B.A.; HILSINGER, R.; NOAL, R.E. **Impactos ambientais e estado de degradação ambiental do canal do Santa Bárbara, município de Pelotas, RS**. X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, Rio de Janeiro, 2003.

SIMON, A.L.H.; CUNHA, C.M.M.L. Alterações geomorfológicas derivadas da intervenção das atividades antrópicas: análise temporal na Bacia do Arroio Santa Bárbara – Pelotas (RS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.2, p.29-38, 2008.

SPERANDIO, H.V.; CECÍLIO, R.A.; CAMPANHARO, W.A.; DEL CARO, C.F.; HOLLANDA, M.P. Avaliação da erosão hídrica pela alteração na superfície do solo em diferentes coberturas vegetais de uma sub-bacia hidrográfica no Município de Alegre, ES. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.4, p.1411-1418, 2012.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; ROSSKOFF, J.L.C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas-RS, Brazil. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.687-694, jul./ago. 2011.

TEIXEIRA, C.F.A.; DAMÉ, R.C.F.; DISCONZI, P.B.; PINTO, M.A.B.; WINKLER, A.S.; SANTOS, J.P. Estatística de Mallows na seleção de modelos de predição da precipitação média mensal e anual no Rio Grande do Sul. **Revista Agro@mbiente**, v.7, n.2, p.145-153, 2013.

TEODORO, V.L.I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D.J.L.; FULLER, B.B. O Conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista UNIARA**, n.20, p.137-156, 2007.

TONELLO, K.C.T.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, **IPHS-1 para Windows v.2.11 - Modelagem hidrológica e hidráulica**. Porto Alegre. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/iphs1/downloads.htm>. Acessado em: 10/02/2013.

VIEIRA, V.F. Estimativa de perdas de solo por erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica. **Geografia**, v.17, n.1, p.73-81, 2008.

ZOLIN, C.A. **Análise e otimização de projetos de Pagamentos por serviços Ambientais (PSA) utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG) – o caso do município de Extrema, MG**. 2010. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

WILLIAMS, J.R. **Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor**. In: Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. USDA-ARS Handbook S-40, 1975. p.118-124.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to conservation planning** Agriculture Handbook 282. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. 58 pp. 1978.

8. Apêndice

Tabela 13. Valores gerados pela IDF para validação do cálculo de Intensidade.

Duração (min)	I (mm h ⁻¹)	P (mm)	P desac. (mm)	Hietograma	Hietograma acumulado	Sa	Pe (mm)	Pe desac. (mm)
10	214,845	35,807	35,807	0,041	0,041	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
20	184,879	61,626	25,819	0,042	0,083	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
30	162,226	81,113	19,487	0,043	0,126	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
40	144,504	96,336	15,223	0,045	0,171	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
50	130,261	108,551	12,215	0,046	0,217	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
60	118,565	118,565	10,015	0,048	0,264	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
70	108,791	126,922	8,357	0,049	0,314	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
80	100,500	134,000	7,077	0,051	0,365	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
90	93,379	140,069	6,069	0,053	0,418	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
100	87,198	145,329	5,261	0,055	0,472	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
110	81,781	149,932	4,602	0,057	0,529	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
120	76,996	153,991	4,060	0,059	0,587	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
130	72,738	157,598	3,607	0,061	0,648	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
140	68,924	160,823	3,225	0,063	0,711	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
150	65,489	163,723	2,900	0,065	0,776	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
160	62,379	166,345	2,622	0,068	0,844	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
170	59,550	168,726	2,381	0,071	0,915	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
180	56,966	170,898	2,172	0,073	0,988	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
190	54,596	172,887	1,989	0,076	1,064	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
200	52,414	174,715	1,828	0,079	1,144	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
210	50,400	176,400	1,685	0,083	1,226	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
220	48,534	177,958	1,558	0,086	1,313	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
230	46,801	179,403	1,445	0,090	1,402	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
240	45,187	180,747	1,344	0,094	1,496	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
250	43,680	181,999	1,252	0,098	1,594	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
260	42,270	183,169	1,170	0,102	1,696	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
270	40,948	184,265	1,095	0,107	1,803	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
280	39,705	185,292	1,028	0,112	1,915	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
290	38,536	186,258	0,966	0,117	2,033	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
300	37,433	187,167	0,909	0,123	2,156	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
310	36,392	188,024	0,857	0,129	2,285	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
320	35,406	188,834	0,810	0,136	2,421	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
330	34,473	189,600	0,766	0,143	2,564	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
340	33,587	190,326	0,726	0,151	2,715	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
350	32,745	191,015	0,688	0,159	2,874	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
360	31,945	191,668	0,654	0,168	3,042	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
370	31,182	192,290	0,622	0,177	3,219	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
380	30,455	192,882	0,592	0,188	3,407	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
390	29,761	193,446	0,564	0,199	3,606	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
400	29,098	193,984	0,538	0,212	3,818	49,64614	P<0,2S	P<0,2S

410	28,463	194,498	0,514	0,225	4,043	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
420	27,856	194,989	0,491	0,240	4,283	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
430	27,273	195,459	0,470	0,256	4,539	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
440	26,715	195,909	0,450	0,274	4,813	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
450	26,179	196,341	0,431	0,294	5,107	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
460	25,664	196,755	0,414	0,316	5,422	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
470	25,168	197,152	0,397	0,340	5,762	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
480	24,692	197,534	0,382	0,367	6,129	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
490	24,233	197,900	0,367	0,397	6,526	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
500	23,790	198,253	0,353	0,431	6,958	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
510	23,364	198,593	0,340	0,470	7,428	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
520	22,952	198,921	0,327	0,514	7,942	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
530	22,555	199,236	0,316	0,564	8,506	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
540	22,171	199,540	0,304	0,622	9,128	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
550	21,800	199,834	0,294	0,688	9,816	49,64614	P<0,2S	P<0,2S
560	21,441	200,118	0,284	0,766	10,582	49,64614	0,008	0,008
570	21,094	200,392	0,274	0,857	11,439	49,64614	0,045	0,045
580	20,758	200,657	0,265	0,966	12,405	49,64614	0,118	0,073
590	20,432	200,913	0,256	1,095	13,501	49,64614	0,240	0,122
600	20,116	201,160	0,248	1,252	14,753	49,64614	0,427	0,305
610	19,810	201,400	0,240	1,445	16,198	49,64614	0,703	0,398
620	19,513	201,633	0,232	1,685	17,883	49,64614	1,098	0,396
630	19,225	201,858	0,225	1,989	19,872	49,64614	1,659	0,561
640	18,945	202,076	0,218	2,381	22,253	49,64614	2,451	0,792
650	18,673	202,288	0,212	2,900	25,153	49,64614	3,573	1,122
660	18,408	202,493	0,205	3,607	28,760	49,64614	5,178	1,606
670	18,152	202,692	0,199	4,602	33,362	49,64614	7,514	2,336
680	17,902	202,886	0,193	6,069	39,431	49,64614	10,997	3,483
690	17,659	203,074	0,188	8,357	47,788	49,64614	16,380	5,383
700	17,422	203,256	0,183	12,215	60,003	49,64614	25,145	8,765
710	17,192	203,434	0,177	19,487	79,490	49,64614	40,591	15,447
720	16,967	203,606	0,173	35,807	115,298	49,64614	71,623	31,031
730	16,749	203,774	0,168	25,819	141,117	49,64614	95,171	23,549
740	16,535	203,937	0,163	15,223	156,339	49,64614	109,335	14,164
750	16,328	204,096	0,159	10,015	166,354	49,64614	118,739	9,404
760	16,125	204,251	0,155	7,077	173,431	49,64614	125,419	6,680
770	15,927	204,402	0,151	5,261	178,692	49,64614	130,401	4,982
780	15,734	204,548	0,147	4,060	182,751	49,64614	134,255	3,854
790	15,546	204,692	0,143	3,225	185,976	49,64614	137,322	3,067
800	15,362	204,831	0,139	2,622	188,598	49,64614	139,818	2,496
810	15,183	204,967	0,136	2,172	190,770	49,64614	141,888	2,070
820	15,007	205,100	0,133	1,828	192,598	49,64614	143,632	1,743
830	14,836	205,229	0,129	1,558	194,156	49,64614	145,119	1,488
840	14,668	205,355	0,126	1,344	195,500	49,64614	146,403	1,283
850	14,504	205,478	0,123	1,170	196,670	49,64614	147,521	1,118
860	14,344	205,599	0,120	1,028	197,697	49,64614	148,503	0,982

870	14,187	205,716	0,117	0,909	198,606	49,64614	149,373	0,870
880	14,034	205,831	0,115	0,810	199,416	49,64614	150,148	0,775
890	13,884	205,943	0,112	0,726	200,142	49,64614	150,842	0,695
900	13,737	206,052	0,110	0,654	200,796	49,64614	151,468	0,626
910	13,593	206,159	0,107	0,592	201,388	49,64614	152,035	0,567
920	13,452	206,264	0,105	0,538	201,926	49,64614	152,550	0,515
930	13,314	206,366	0,102	0,491	202,417	49,64614	153,021	0,471
940	13,179	206,466	0,100	0,450	202,867	49,64614	153,452	0,431
950	13,046	206,564	0,098	0,414	203,281	49,64614	153,849	0,397
960	12,916	206,660	0,096	0,382	203,663	49,64614	154,214	0,366
970	12,789	206,754	0,094	0,353	204,016	49,64614	154,553	0,338
980	12,664	206,845	0,092	0,327	204,343	49,64614	154,867	0,314
990	12,542	206,935	0,090	0,304	204,647	49,64614	155,158	0,292
1000	12,421	207,023	0,088	0,284	204,931	49,64614	155,430	0,272
1010	12,304	207,109	0,086	0,265	205,196	49,64614	155,684	0,254
1020	12,188	207,194	0,084	0,248	205,444	49,64614	155,922	0,238
1030	12,074	207,276	0,083	0,232	205,676	49,64614	156,145	0,223
1040	11,963	207,357	0,081	0,218	205,894	49,64614	156,354	0,209
1050	11,854	207,437	0,079	0,205	206,099	49,64614	156,551	0,197
1060	11,746	207,514	0,078	0,193	206,293	49,64614	156,736	0,186
1070	11,641	207,591	0,076	0,183	206,475	49,64614	156,912	0,175
1080	11,537	207,665	0,075	0,173	206,648	49,64614	157,077	0,166
1090	11,435	207,739	0,073	0,163	206,811	49,64614	157,234	0,157
1100	11,335	207,811	0,072	0,155	206,966	49,64614	157,382	0,148
1110	11,237	207,881	0,071	0,147	207,113	49,64614	157,523	0,141
1120	11,140	207,950	0,069	0,139	207,252	49,64614	157,657	0,134
1130	11,045	208,018	0,068	0,133	207,385	49,64614	157,784	0,127
1140	10,952	208,085	0,067	0,126	207,511	49,64614	157,905	0,121
1150	10,860	208,150	0,065	0,120	207,631	49,64614	158,021	0,115
1160	10,770	208,214	0,064	0,115	207,746	49,64614	158,131	0,110
1170	10,681	208,277	0,063	0,110	207,856	49,64614	158,236	0,105
1180	10,594	208,339	0,062	0,105	207,960	49,64614	158,336	0,100
1190	10,508	208,400	0,061	0,100	208,060	49,64614	158,432	0,096
1200	10,423	208,460	0,060	0,096	208,156	49,64614	158,524	0,092
1210	10,340	208,518	0,059	0,092	208,248	49,64614	158,612	0,088
1220	10,258	208,576	0,058	0,088	208,336	49,64614	158,697	0,084
1230	10,177	208,632	0,057	0,084	208,420	49,64614	158,778	0,081
1240	10,098	208,688	0,056	0,081	208,501	49,64614	158,855	0,078
1250	10,020	208,743	0,055	0,078	208,579	49,64614	158,930	0,075
1260	9,943	208,796	0,054	0,075	208,654	49,64614	159,002	0,072
1270	9,867	208,849	0,053	0,072	208,725	49,64614	159,071	0,069
1280	9,792	208,901	0,052	0,069	208,795	49,64614	159,137	0,066
1290	9,719	208,952	0,051	0,067	208,861	49,64614	159,201	0,064
1300	9,646	209,002	0,050	0,064	208,925	49,64614	159,263	0,062
1310	9,575	209,051	0,049	0,062	208,987	49,64614	159,322	0,059
1320	9,505	209,100	0,049	0,060	209,047	49,64614	159,380	0,057

1330	9,435	209,148	0,048	0,058	209,105	49,64614	159,435	0,055
1340	9,367	209,195	0,047	0,056	209,160	49,64614	159,488	0,053
1350	9,300	209,241	0,046	0,054	209,214	49,64614	159,540	0,052
1360	9,233	209,286	0,045	0,052	209,266	49,64614	159,590	0,050
1370	9,168	209,331	0,045	0,050	209,316	49,64614	159,638	0,048
1380	9,103	209,375	0,044	0,049	209,364	49,64614	159,684	0,047
1390	9,040	209,418	0,043	0,047	209,411	49,64614	159,729	0,045
1400	8,977	209,461	0,043	0,045	209,457	49,64614	159,773	0,044
1410	8,915	209,503	0,042	0,044	209,501	49,64614	159,815	0,042
1420	8,854	209,544	0,041	0,043	209,543	49,64614	159,856	0,041
1430	8,794	209,585	0,041	0,041	209,585	49,64614	159,896	0,040
1440	8,734	209,625	0,040	0,040	209,625	49,64614	159,934	0,038
							TOTAL	160,182

* I – intensidade; P – precipitação; P desac. – precipitação desacomulada; Sa – fator Sa; Pe – precipitação efetiva; Pe desac. – precipitação efetiva desacomulada

Tabela 14. Estatística Exploratória das quatro microbacias analisadas, considerando as duas simulações.

Estatística Exploratória	Microbacia							
	Barbuda		Granja		Pedreira		Suzana	
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 1	Simulação 2
Número de Pontos	12696	12696	15608	15608	37860	37860	20617	20617
Número de Pontos Válidos	12696	12696	15608	15608	37860	37860	20617	20617
Média	0,0014069	0,0014024	0,0019932	0,0018636	0,02639536	0,02374535	0,0086511	0,00781288
Variância	0,0000089	0,0000091	0,0000081	0,0000072	0,00191217	0,00177293	0,0003205	0,00029728
Desvio Padrão	0,0029920	0,0030168	0,0028551	0,0026960	0,04372837	0,04210620	0,0179043	0,01724178
Coeficiente de Variação	2,1265562	2,1512038	1,4324223	1,4466501	1,65666898	1,77323948	2,0696026	2,20684165
Coeficiente de Assimetria	7,7993271	7,8498330	9,1522027	9,2279728	3,19757604	3,19436123	3,2687780	3,28814404
Coeficiente de Curtose	83,305043	84,749295	160,00135	170,18258	17,2763278	16,8835994	16,932062	16,6857142
Valor Mínimo	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,0000000	0,00000000	0,00000000	0,0000000	0,00000000
Quartil Inferior	0,0002859	0,0002770	0,0004236	0,0003199	0,00203138	0,00040590	0,0002798	0,00009390
Mediana	0,0006053	0,0006033	0,0013750	0,0012544	0,00858339	0,00479345	0,0009594	0,00058690
Quartil Superior	0,0014835	0,0014788	0,0027509	0,0026520	0,03112821	0,02830306	0,0050308	0,00312062
Valor Máximo	0,0445222	0,0504697	0,0777196	0,0730365	0,56383026	0,46758485	0,2017000	0,20614035

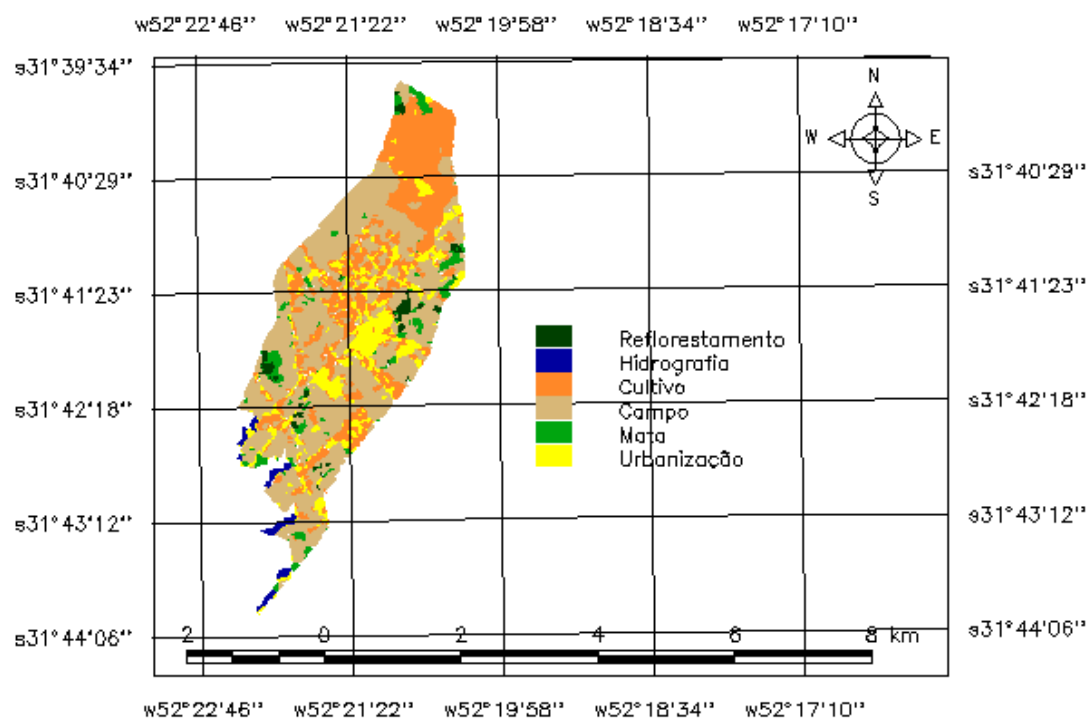


Figura 15. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Barbuda.

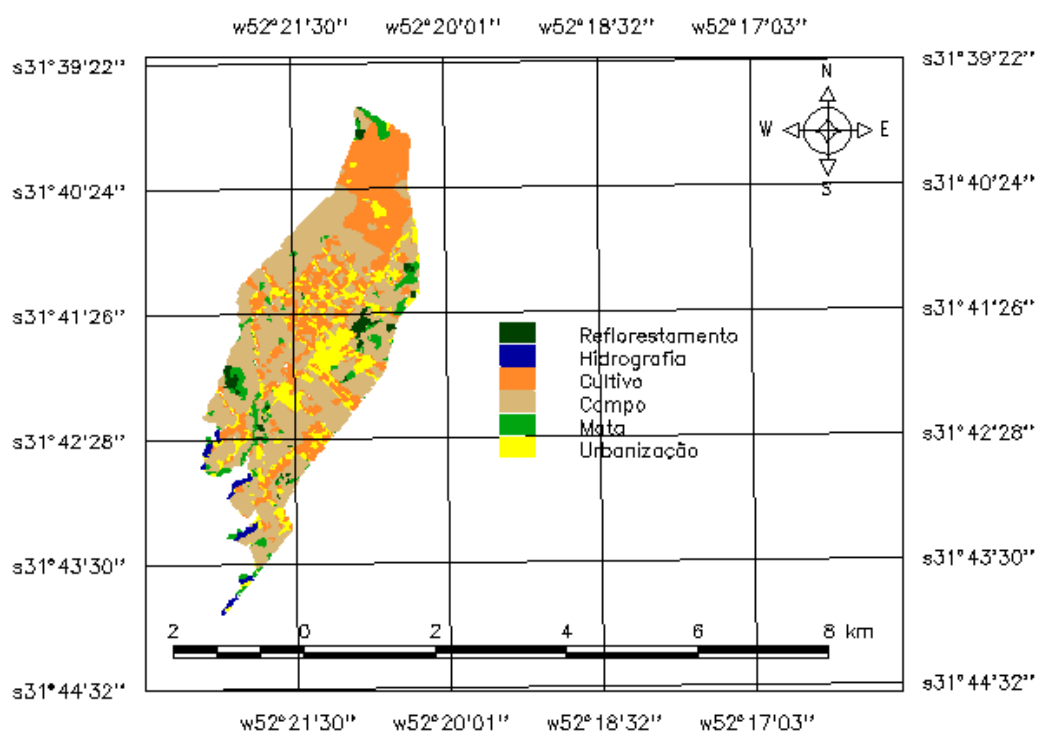


Figura 16. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Barbuda.

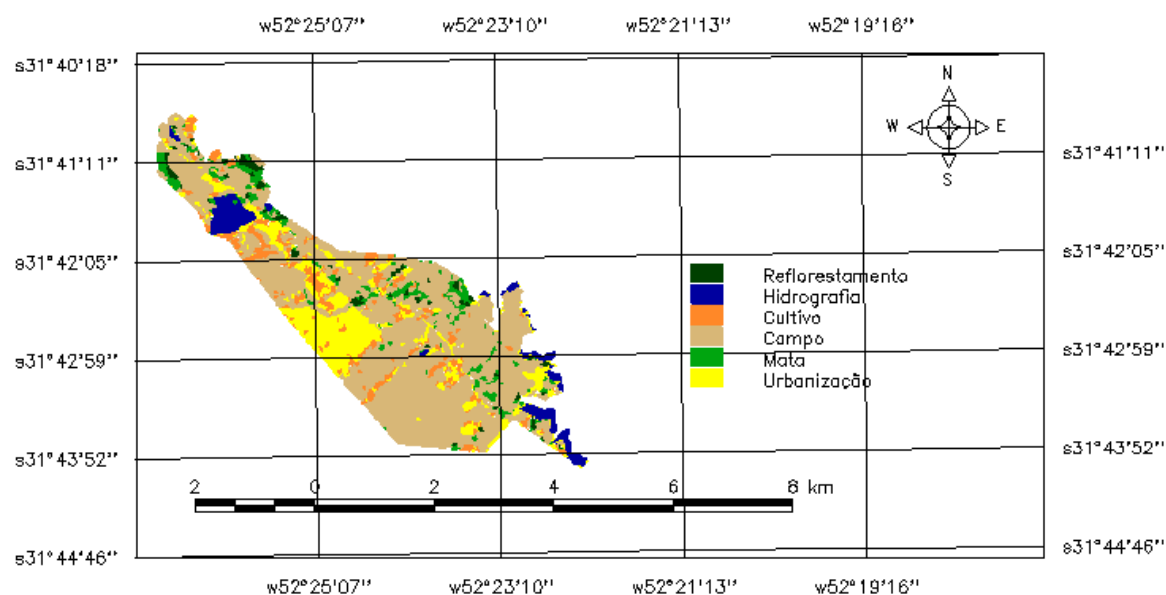


Figura 17. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Granja.

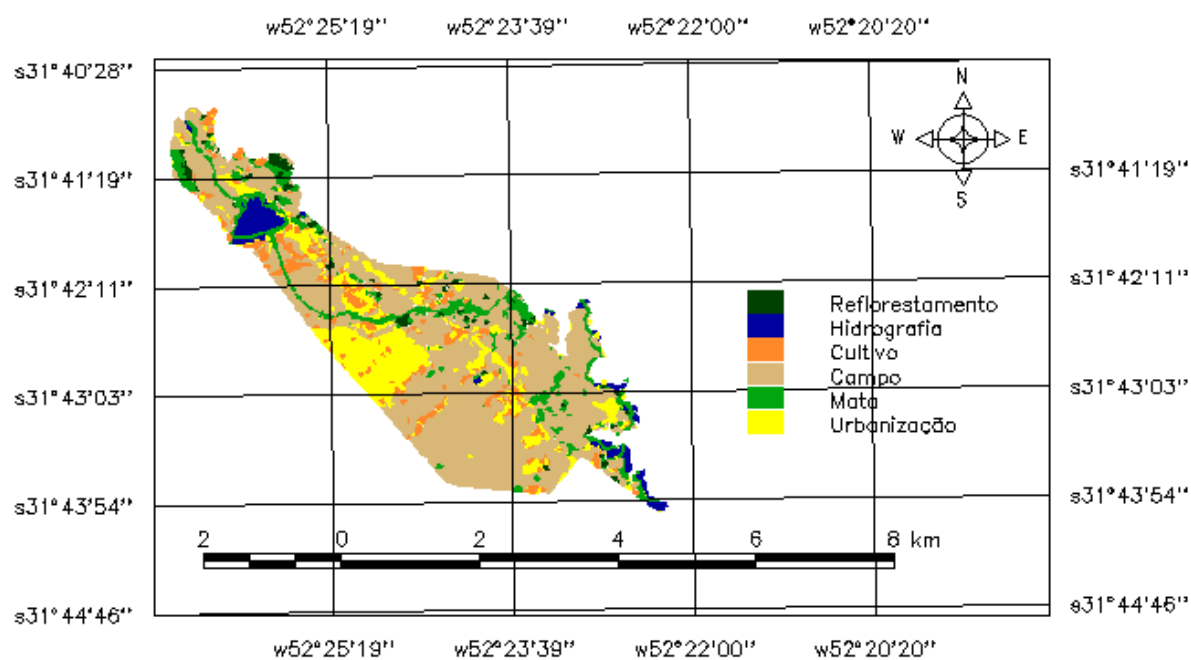


Figura 18. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Granja.

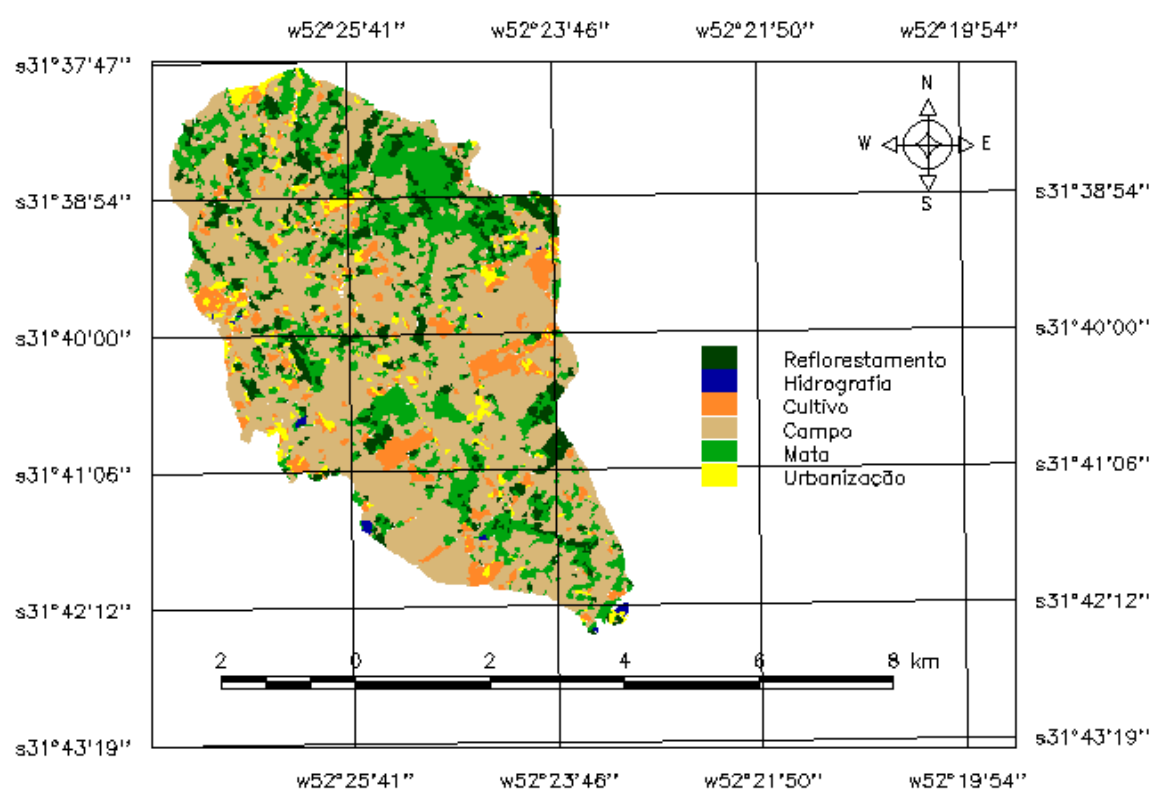


Figura 19. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Pedreira.

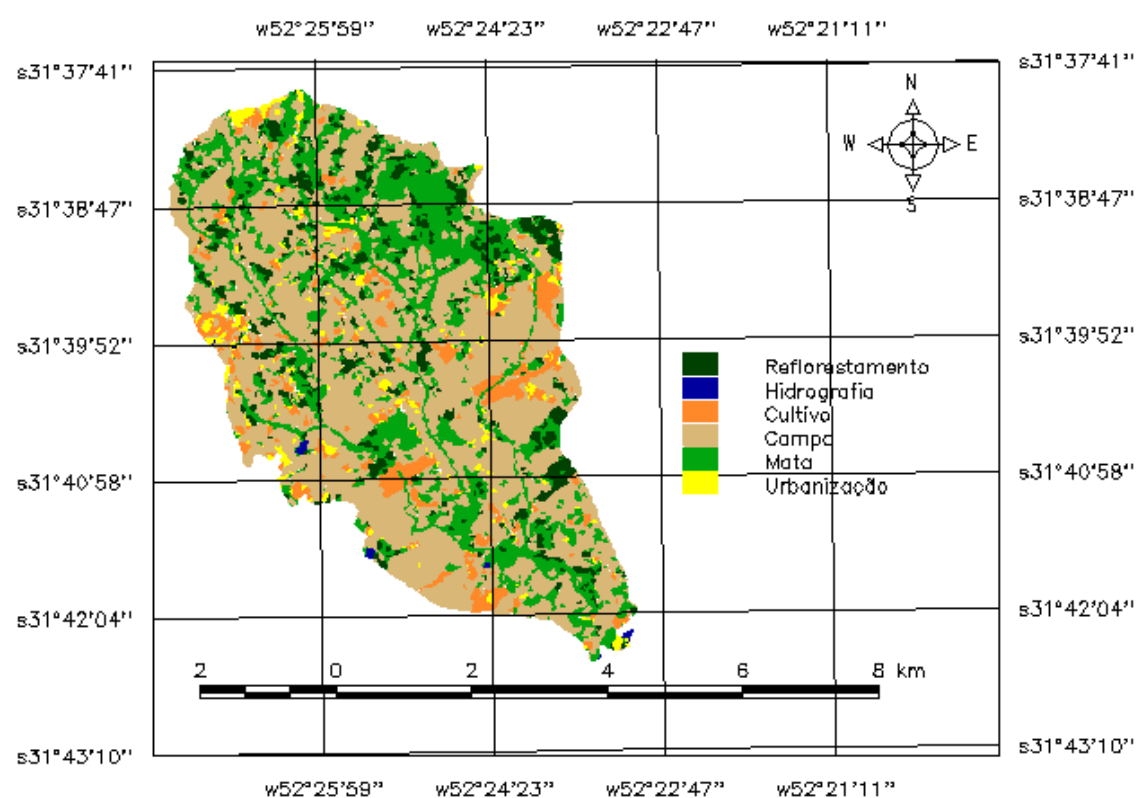


Figura 20. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Pedreira.

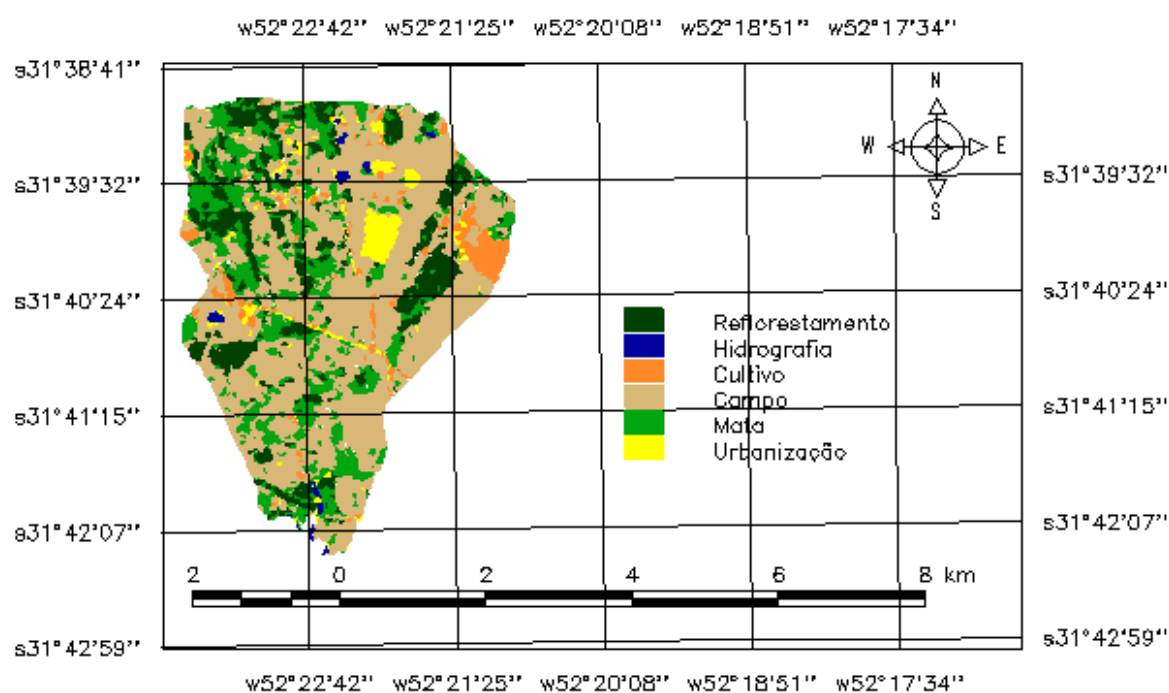


Figura 21. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo da microbacia Suzana.

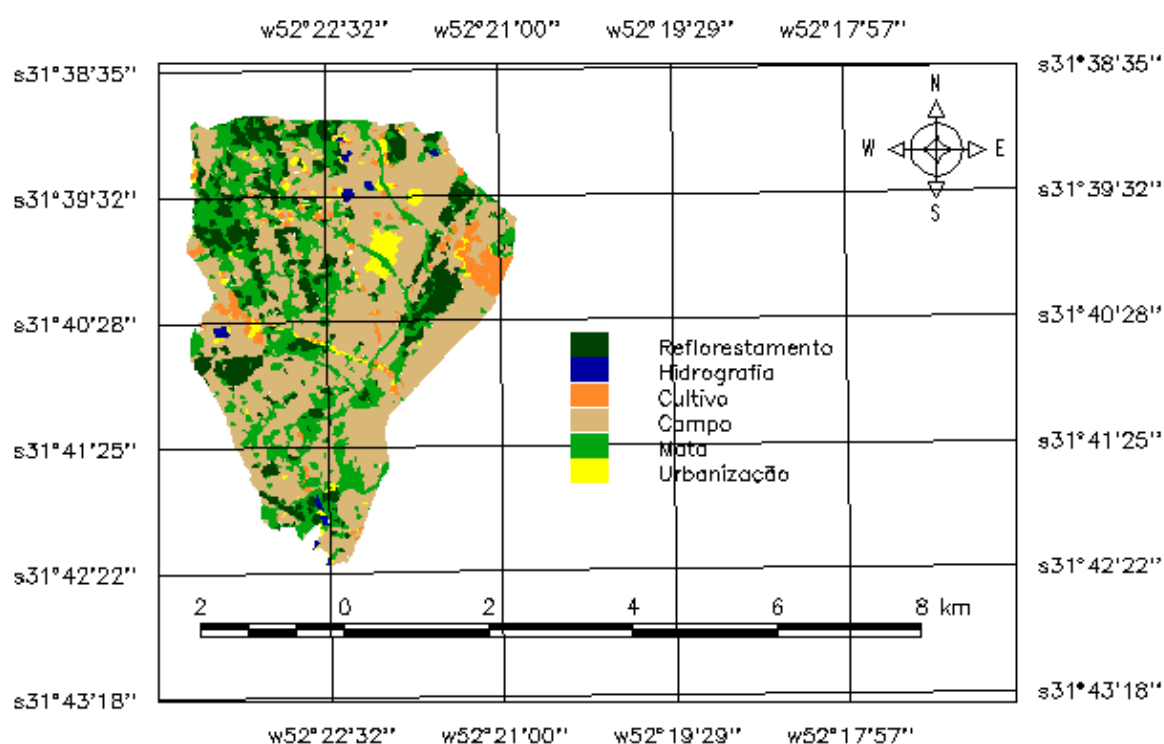


Figura 22. Mapa de classificação do uso e cobertura do solo com implantação de APP, da microbacia Suzana.

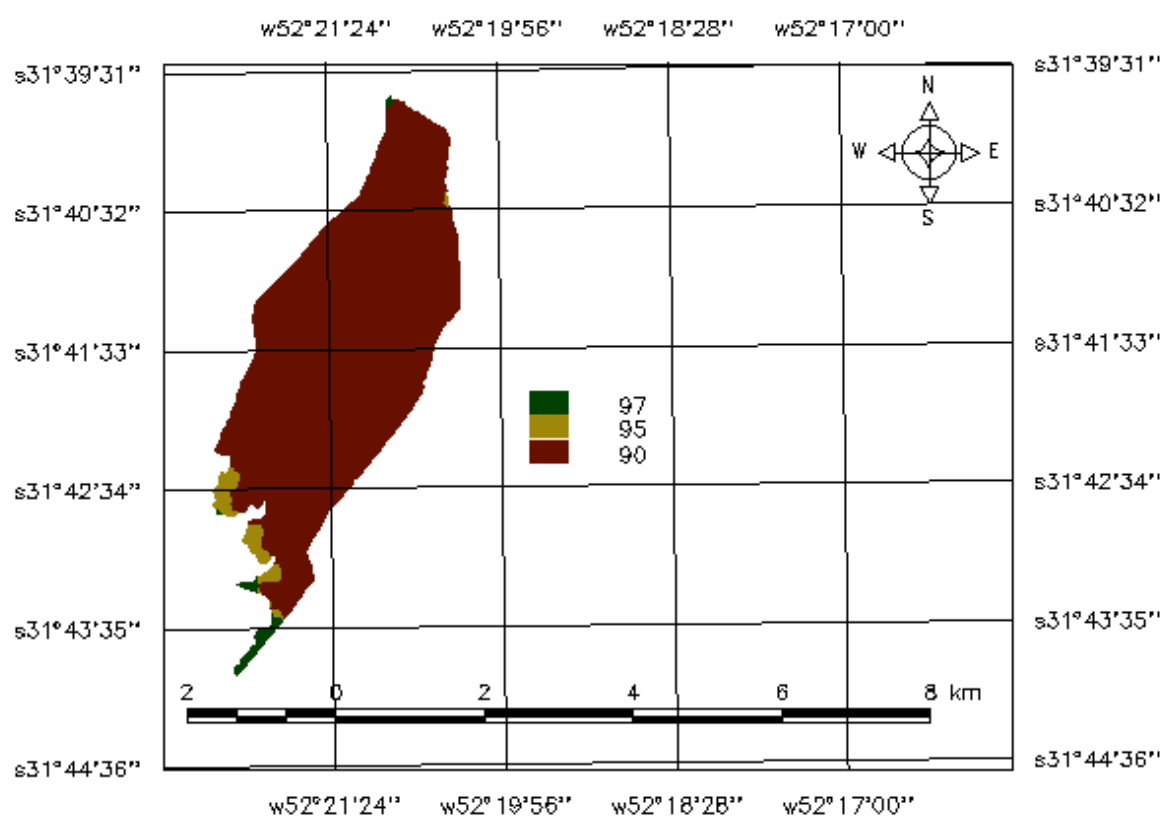


Figura 23. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Barbuda.

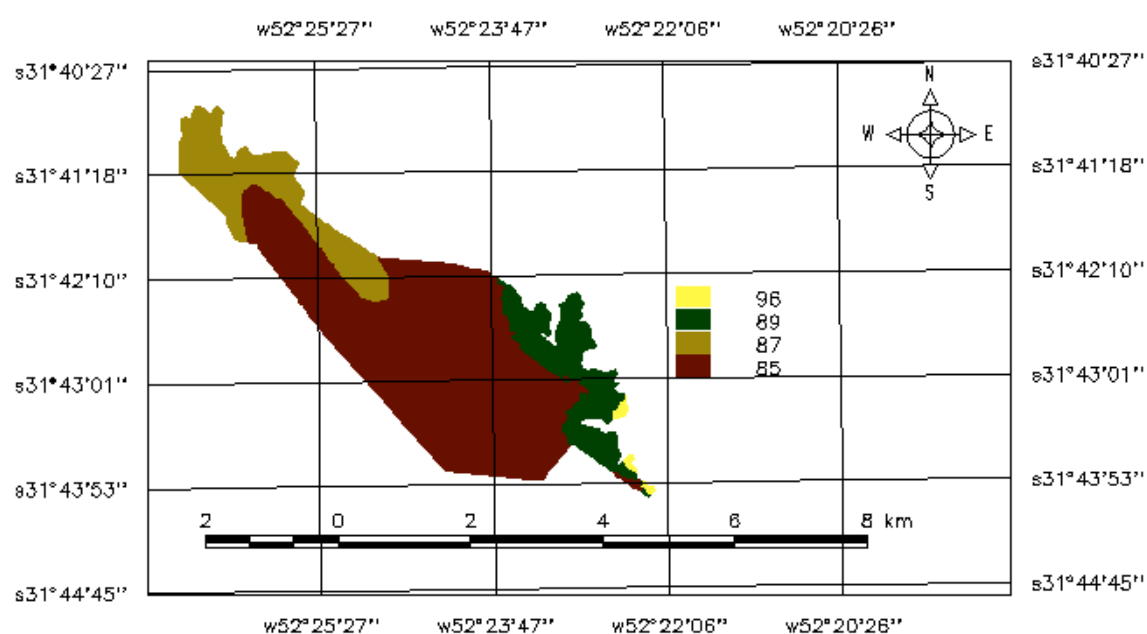


Figura 24. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Granja.

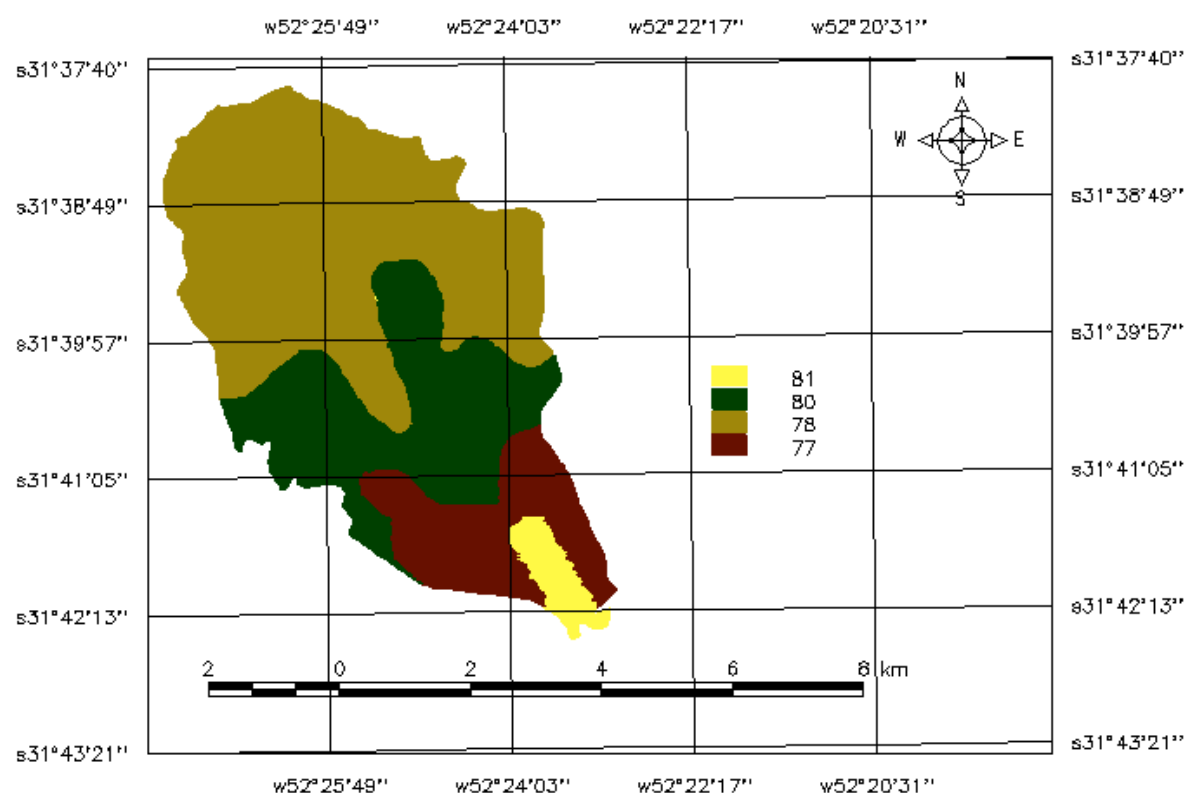


Figura 25. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Pedreira.

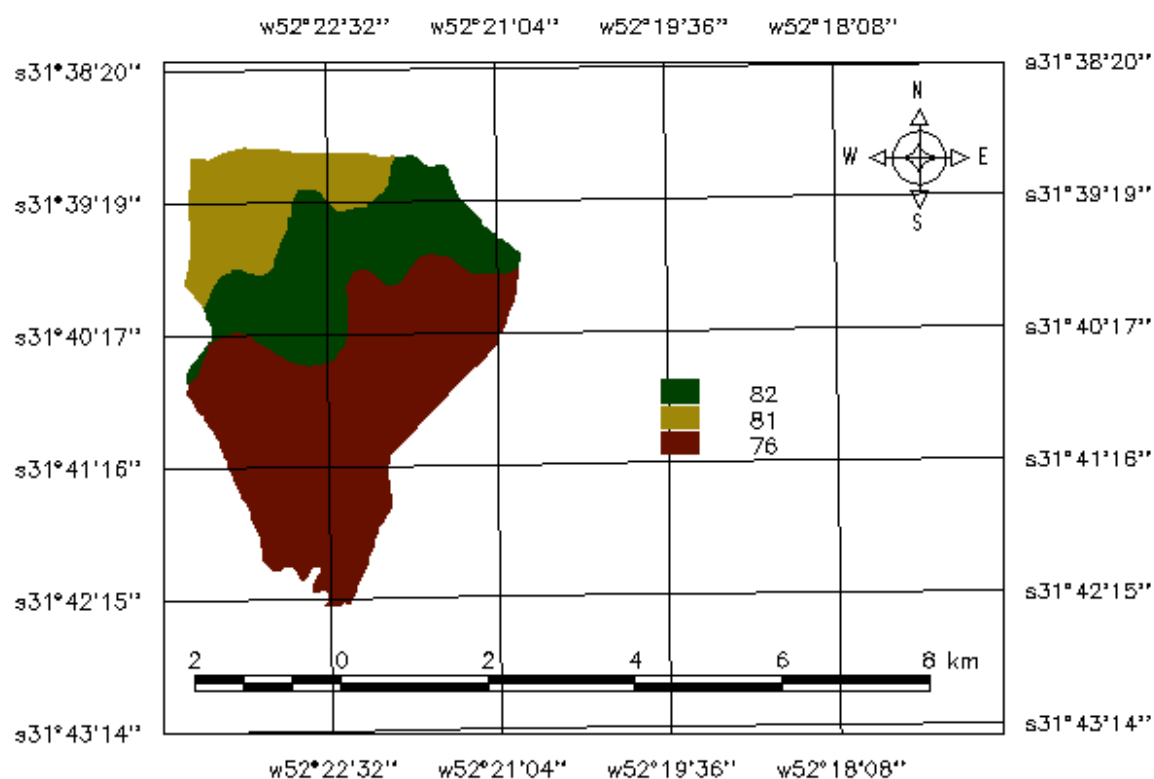


Figura 26. Mapa da classificação do parâmetro CN, da microbacia Suzana.

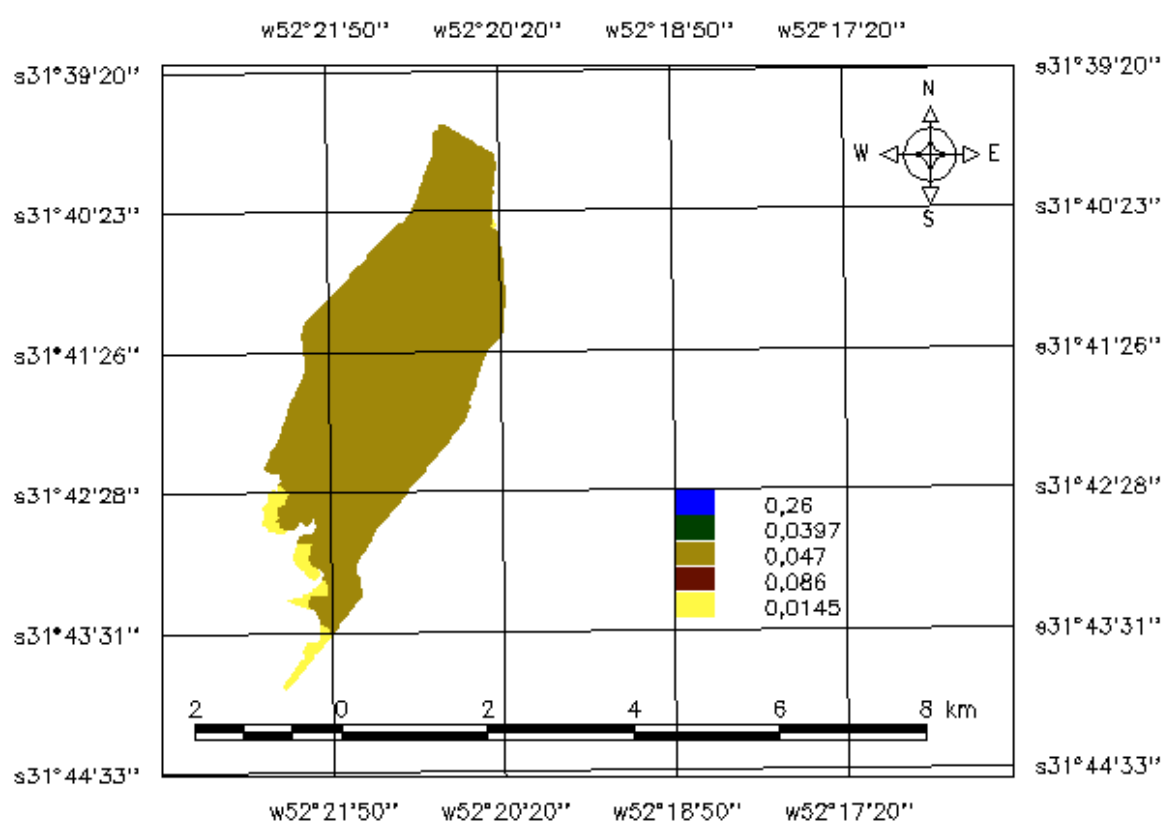


Figura 27. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) da microbacia Barbuda.

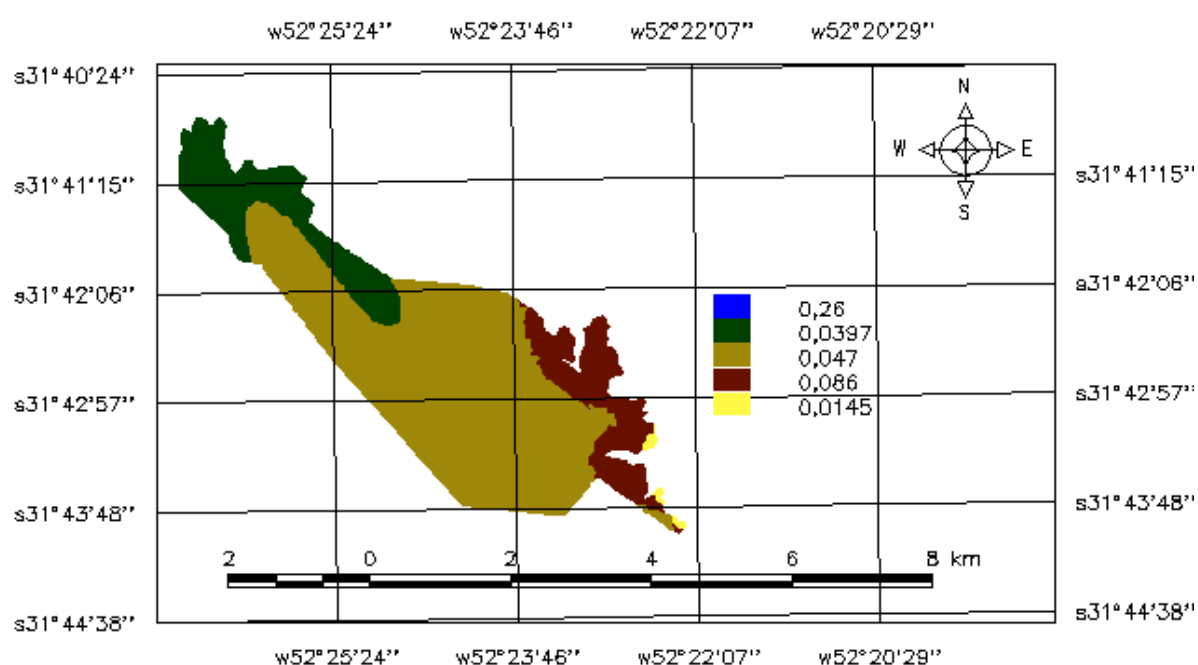


Figura 28. Mapa de classificação de K ($\text{ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) da microbacia Granja.

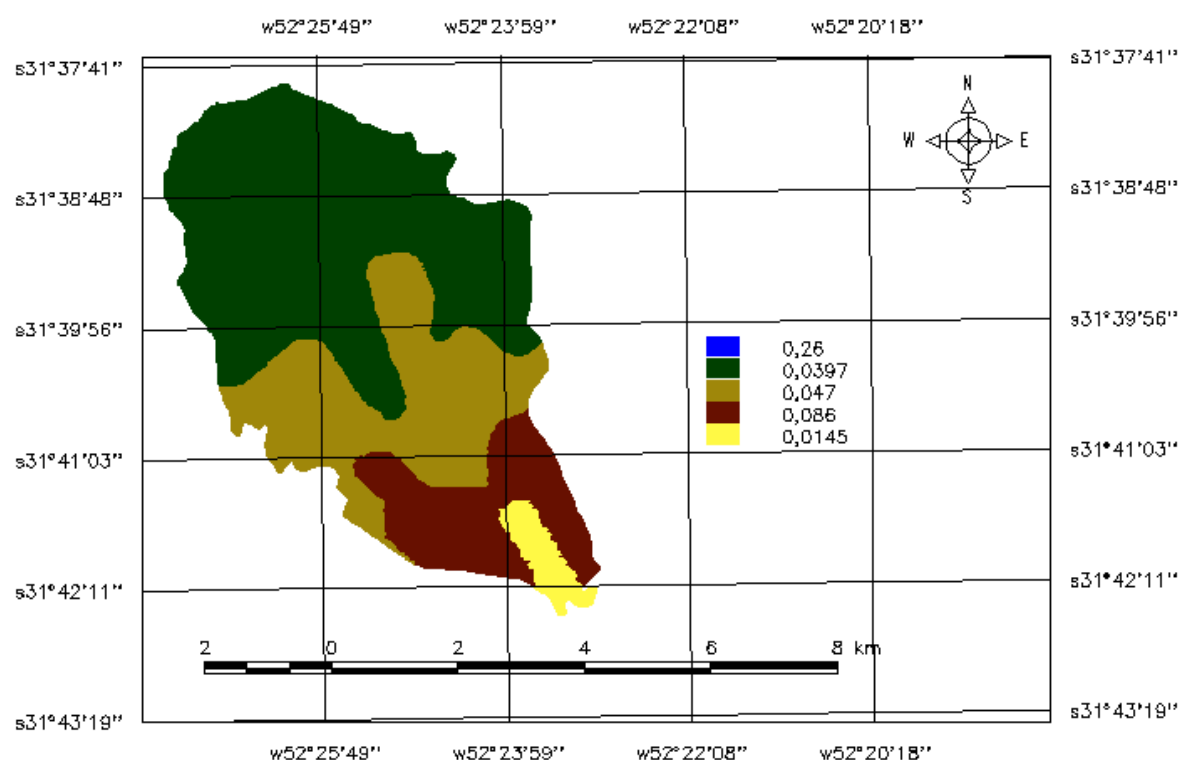


Figura 29. Mapa de classificação de K (ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) da microbacia Pedreira.

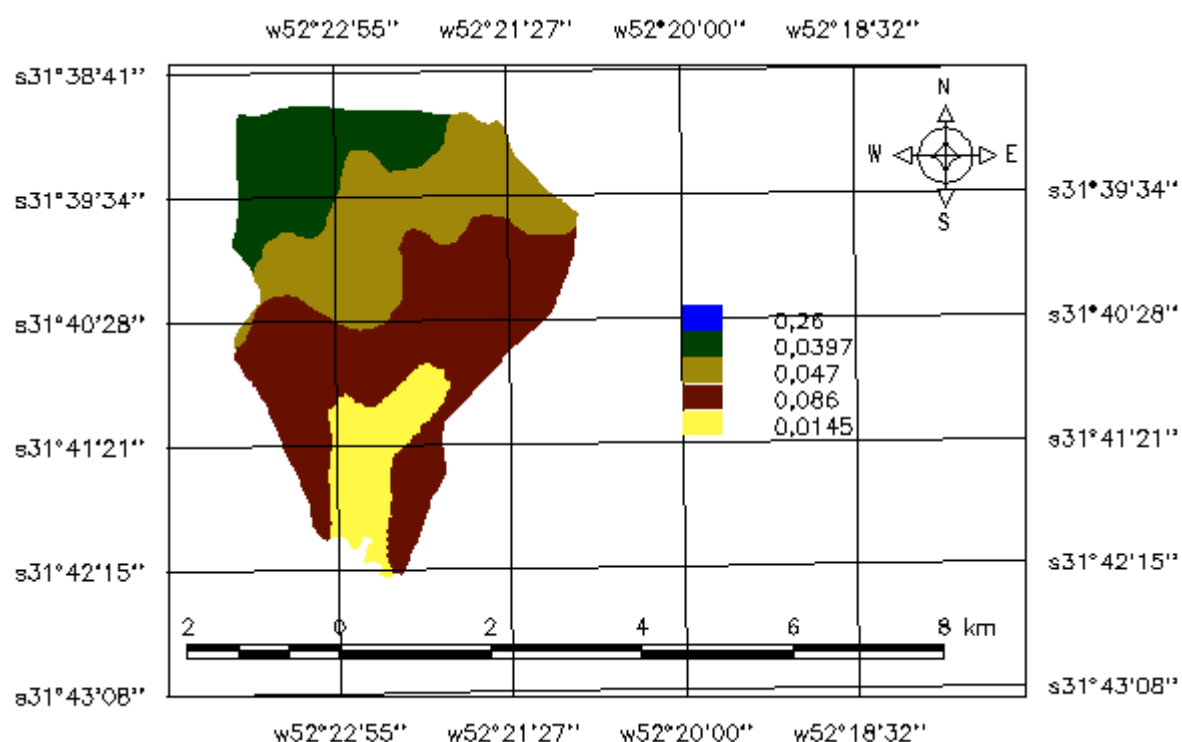


Figura 30. Mapa de classificação de K (ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹) da microbacia Suzana.

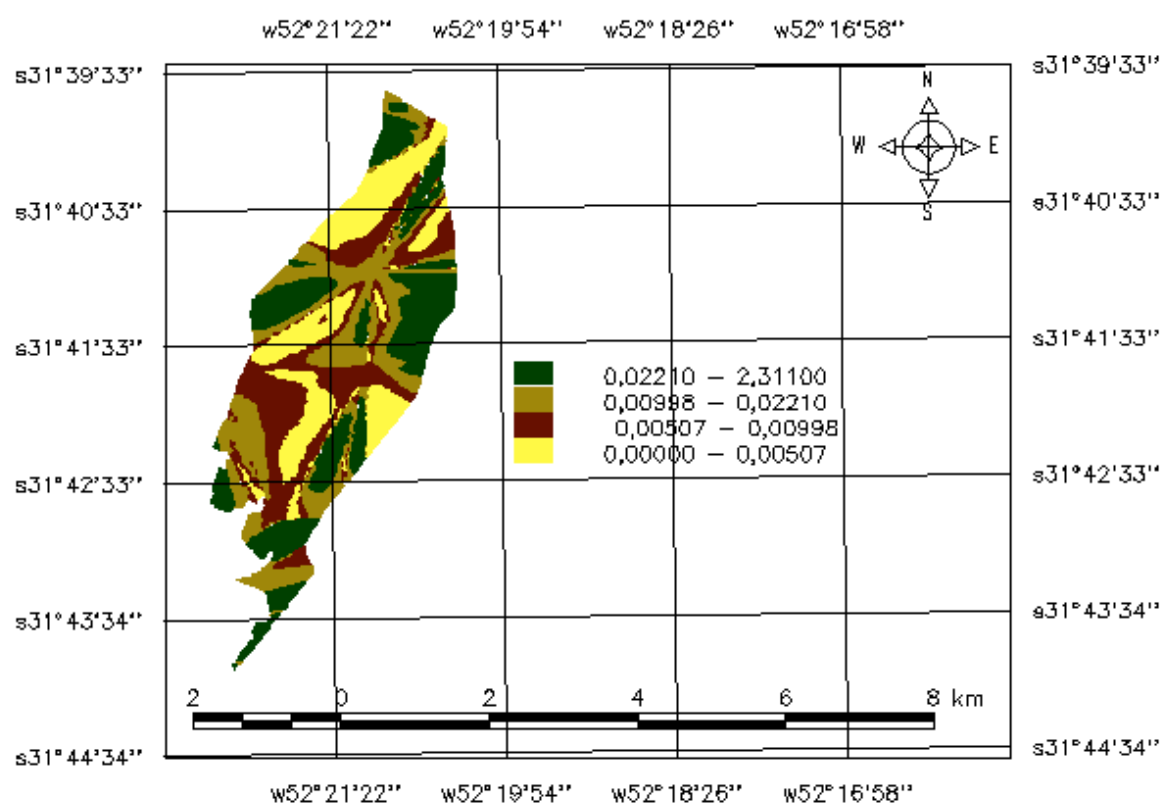


Figura 31. Mapa da classificação de LS da microbacia Barbuda.

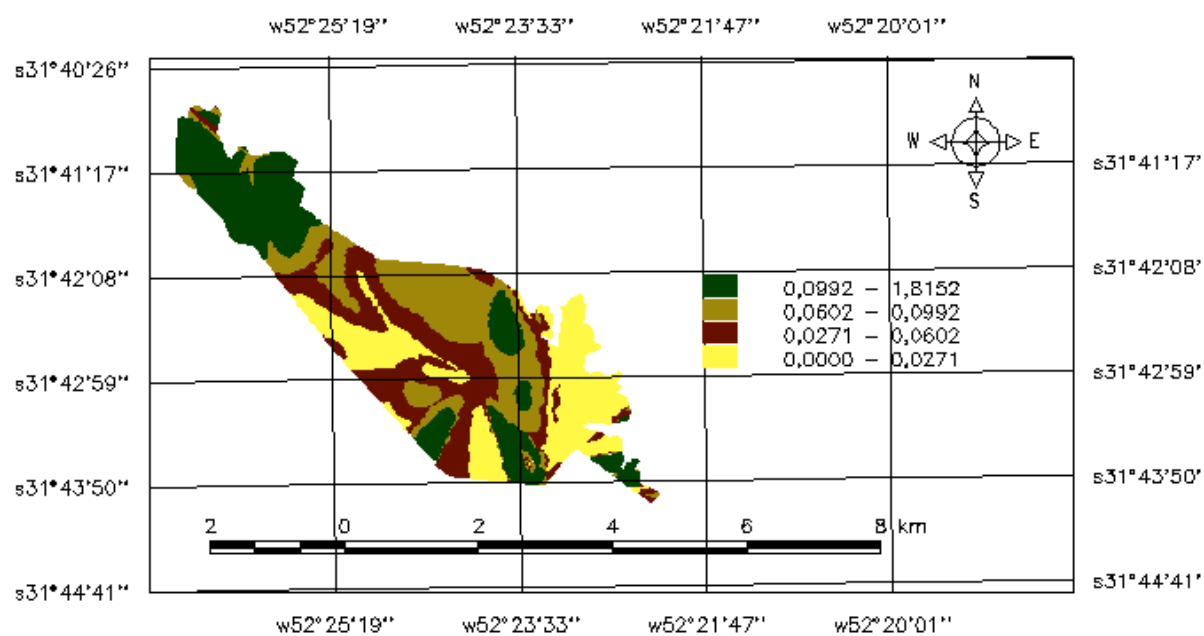


Figura 32. Mapa da classificação de LS da microbacia Granja.

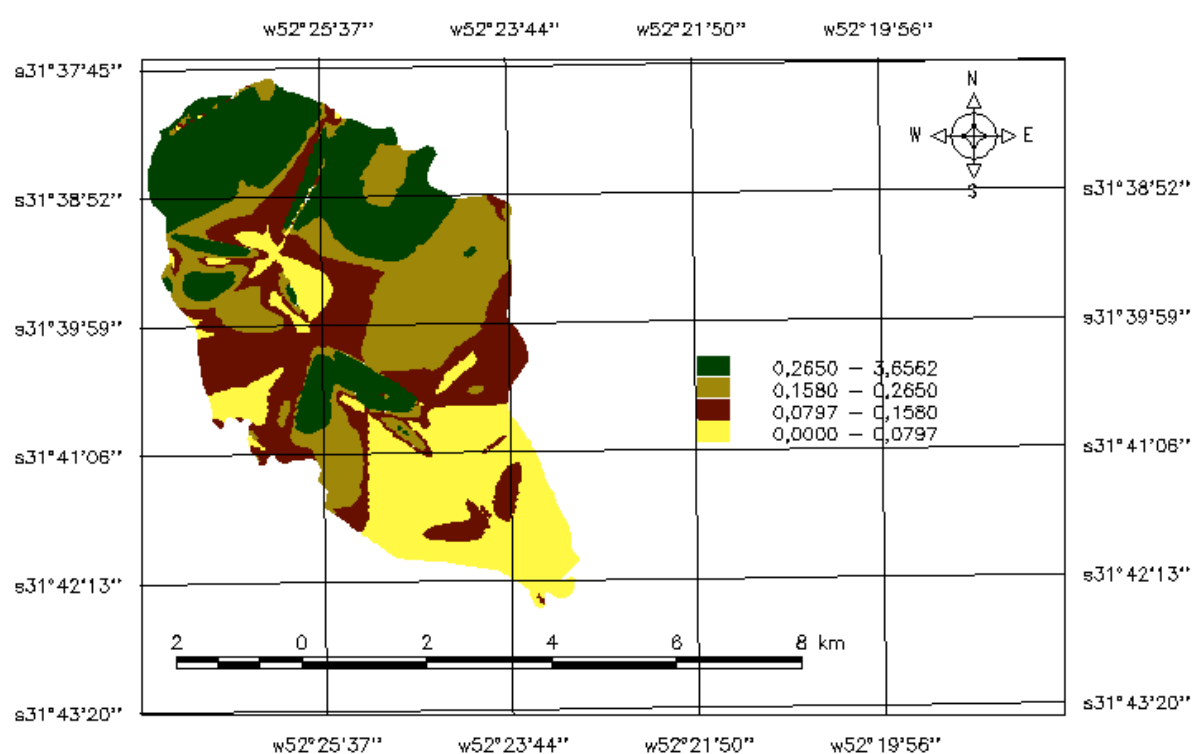


Figura 33. Mapa da classificação de LS da microbacia Pedreira.

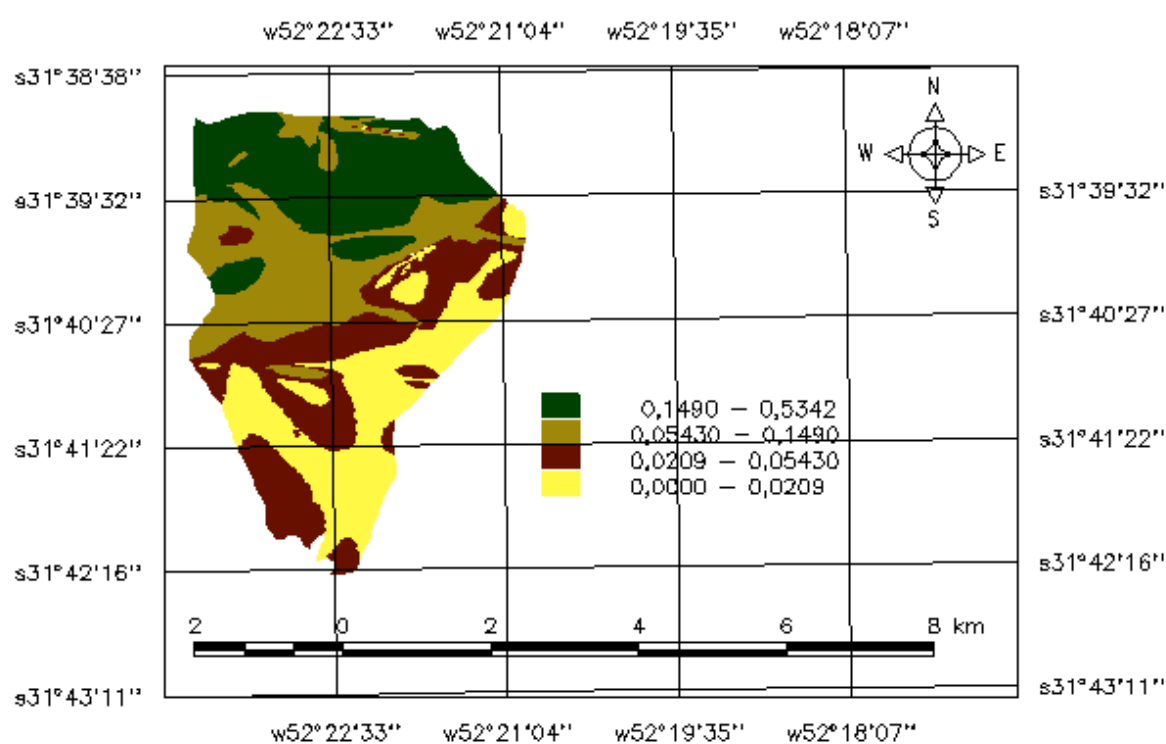


Figura 34. Mapa da classificação de LS da microbacia Suzana.

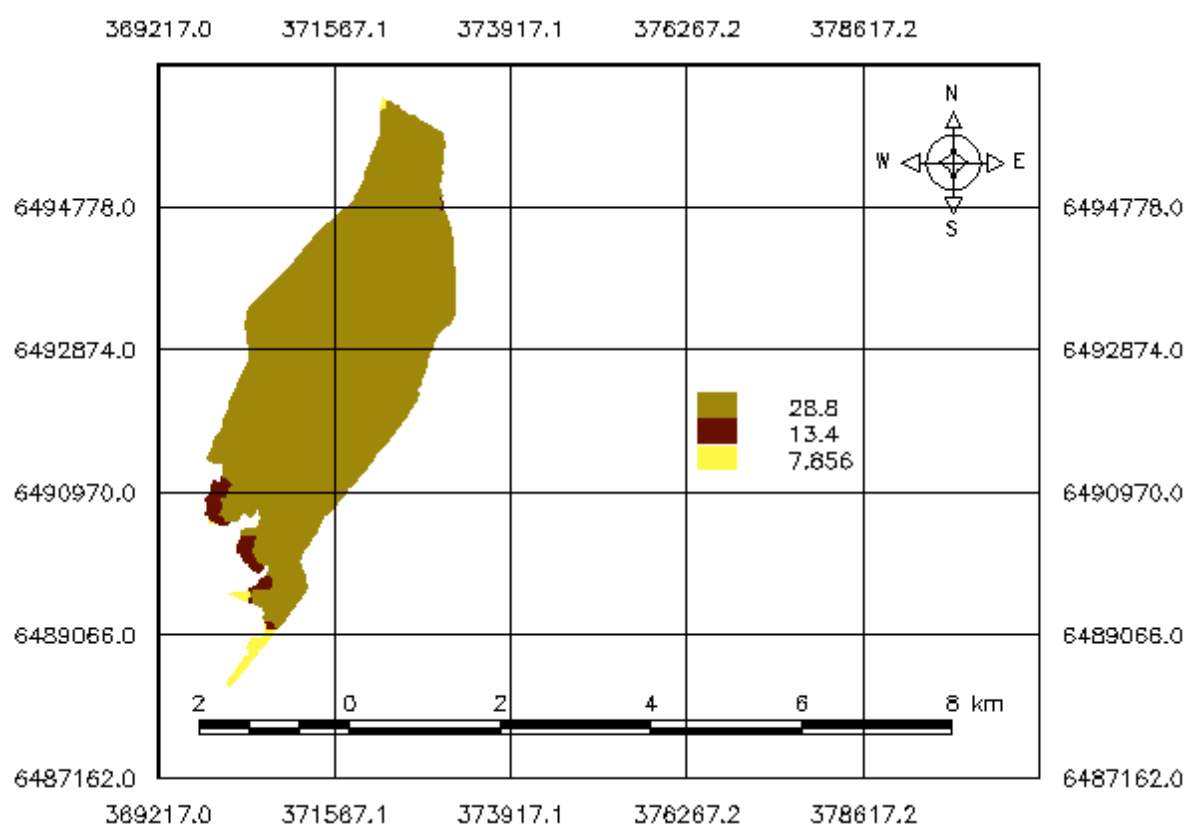


Figura 35. Mapa da classificação de Sa da microbacia Barbuda.

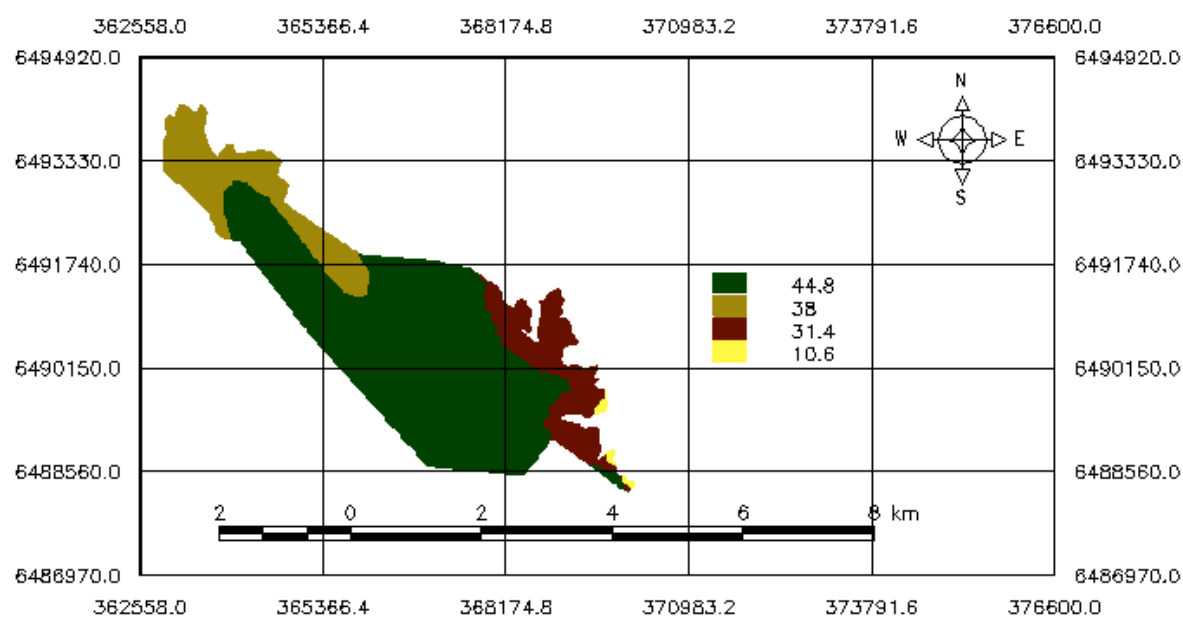


Figura 36. Mapa da classificação de Sa da microbacia Granja.

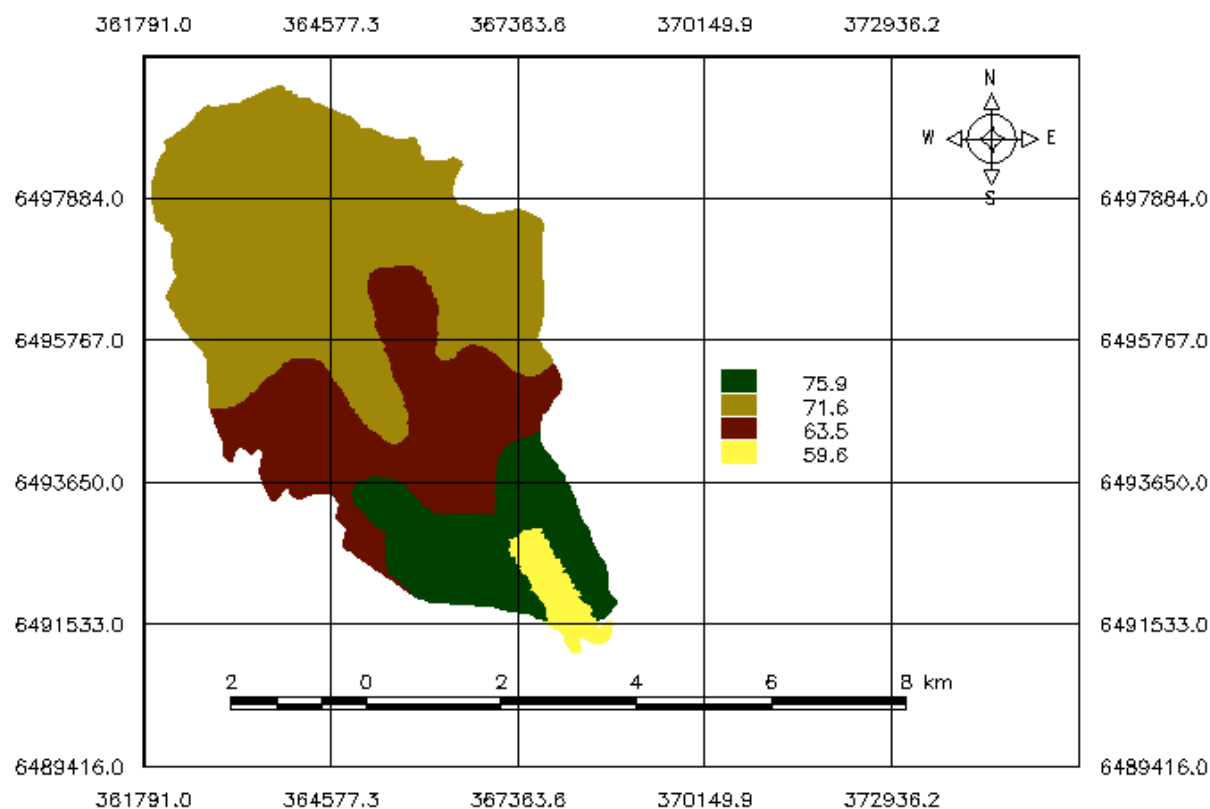


Figura 37. Mapa da classificação de Sa da microbacia Pedreira.

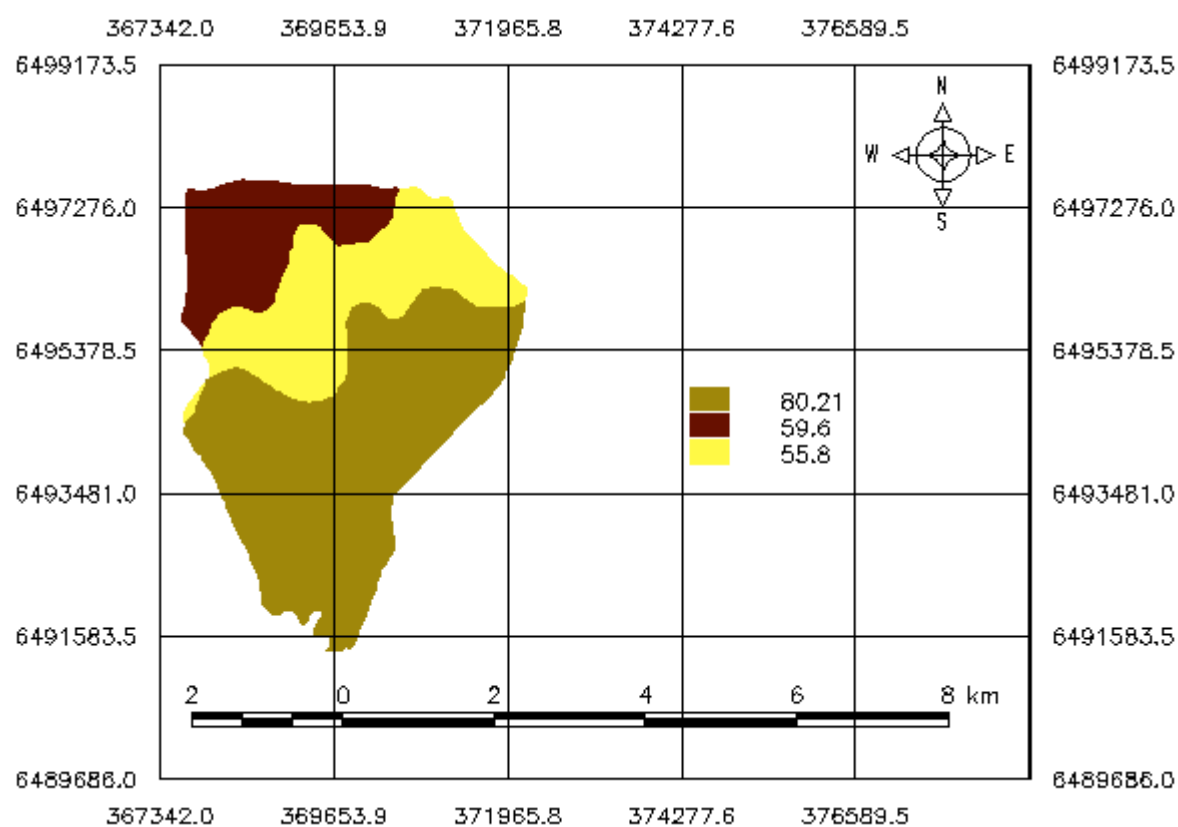


Figura 38. Mapa da classificação de Sa da microbacia Suzana.

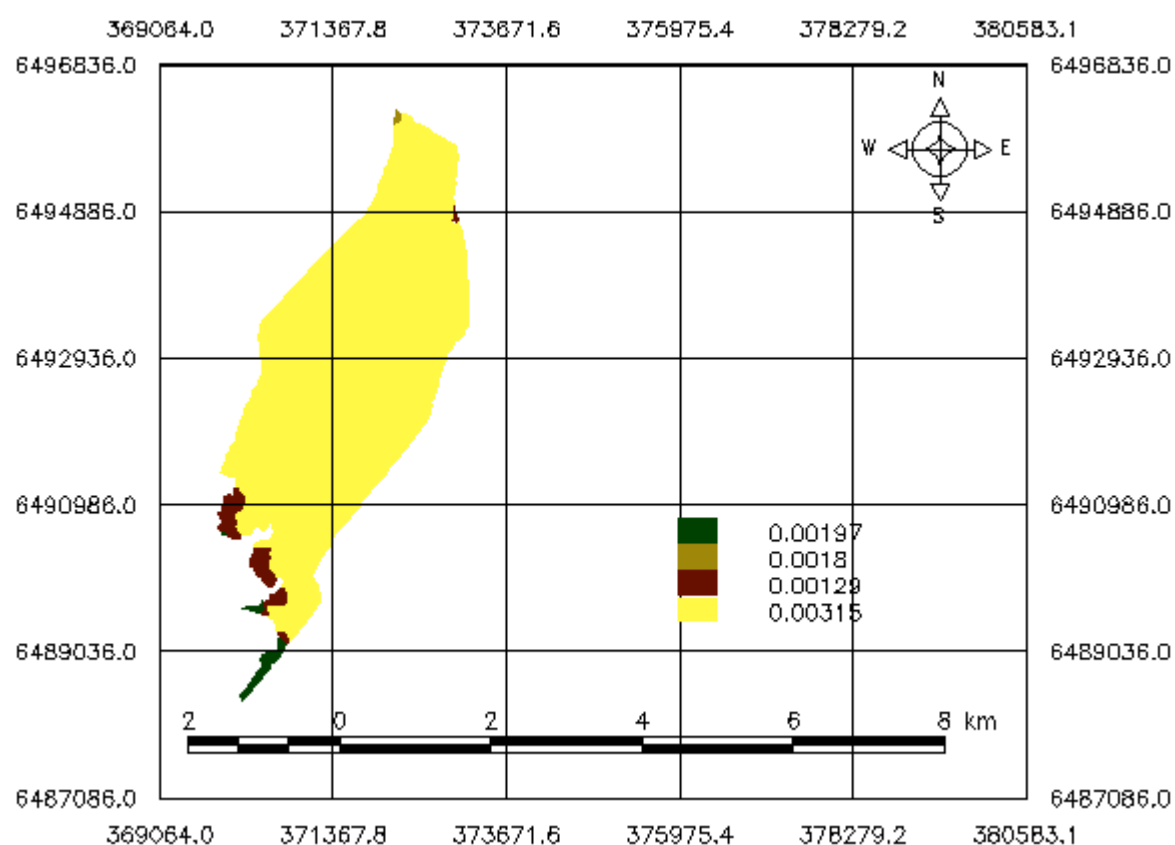


Figura 39. Mapa da classificação de qp ($m^3 s^{-1}$) da microbacia Barbuda.

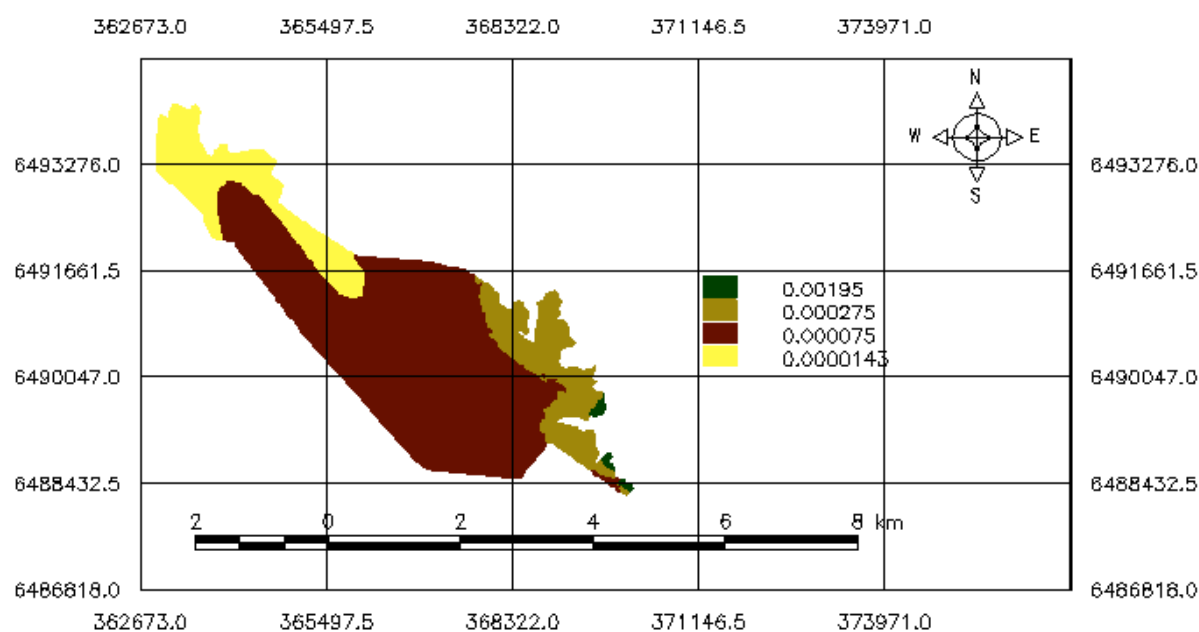


Figura 40. Mapa da classificação de qp ($m^3 s^{-1}$) da microbacia Granja.

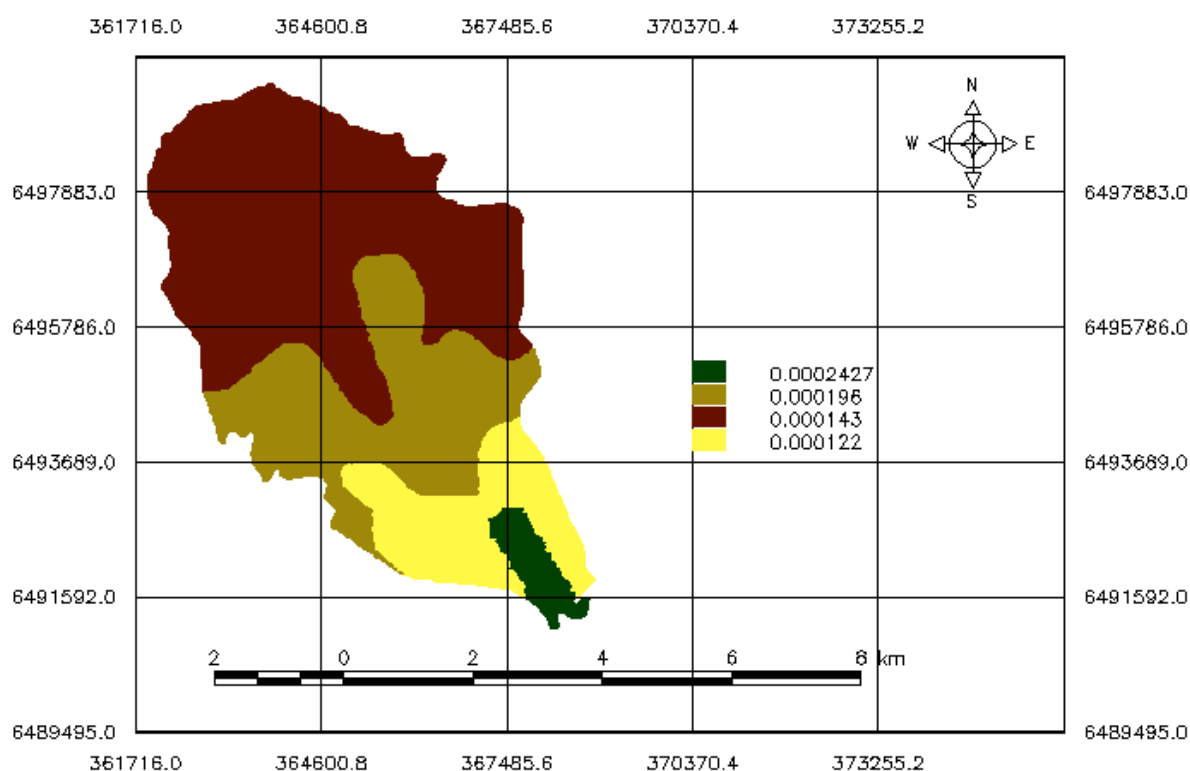


Figura 41. Mapa da classificação de qp ($m^3 s^{-1}$) da microbacia Pedreira.

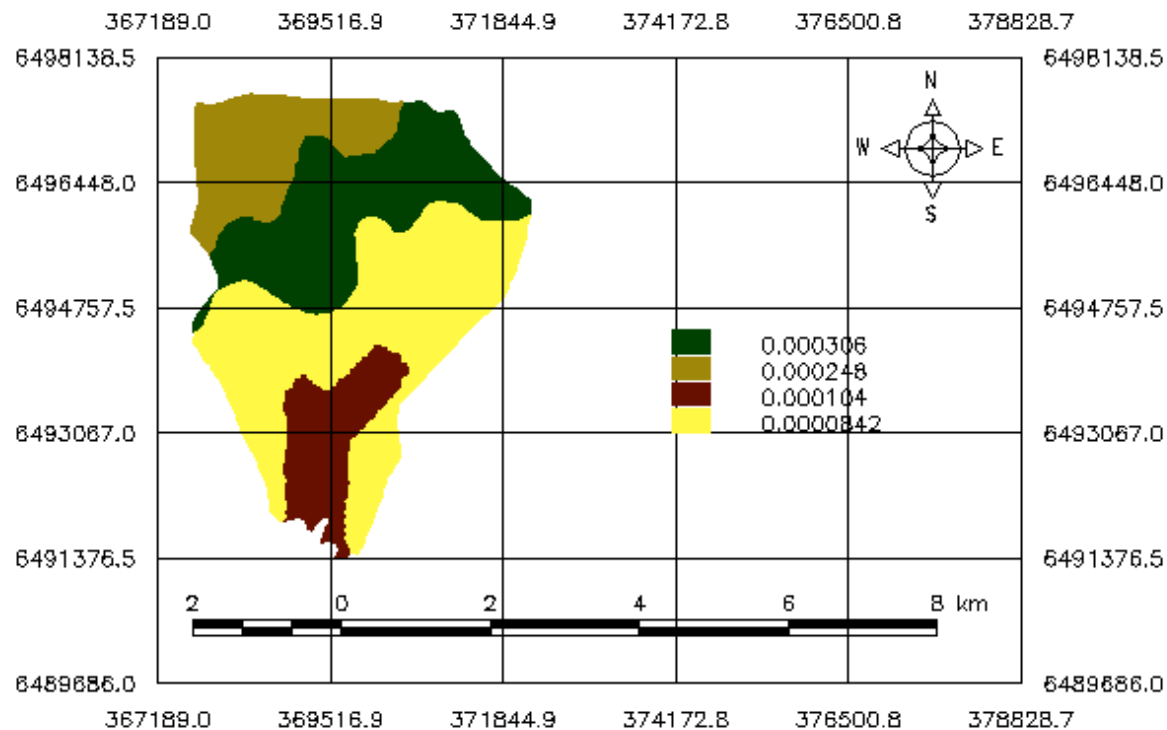


Figura 42. Mapa da classificação de qp ($m^3 s^{-1}$) da microbacia Suzana.

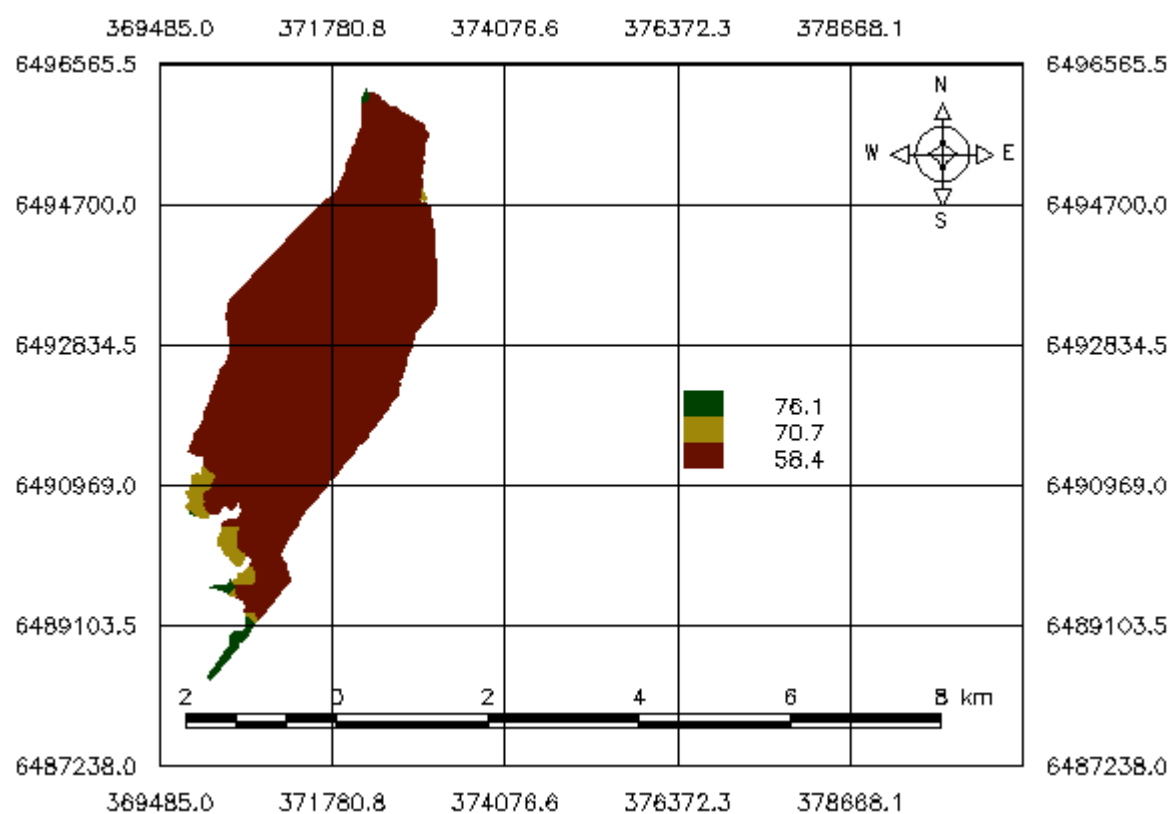


Figura 43. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Barbuda.

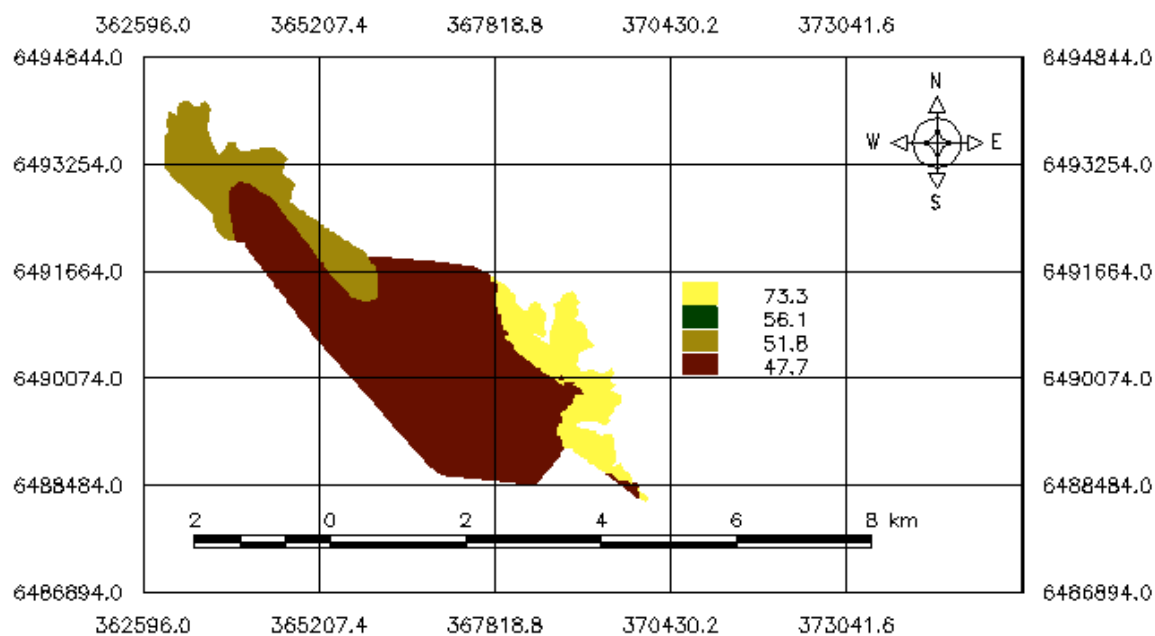


Figura 44. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Granja.

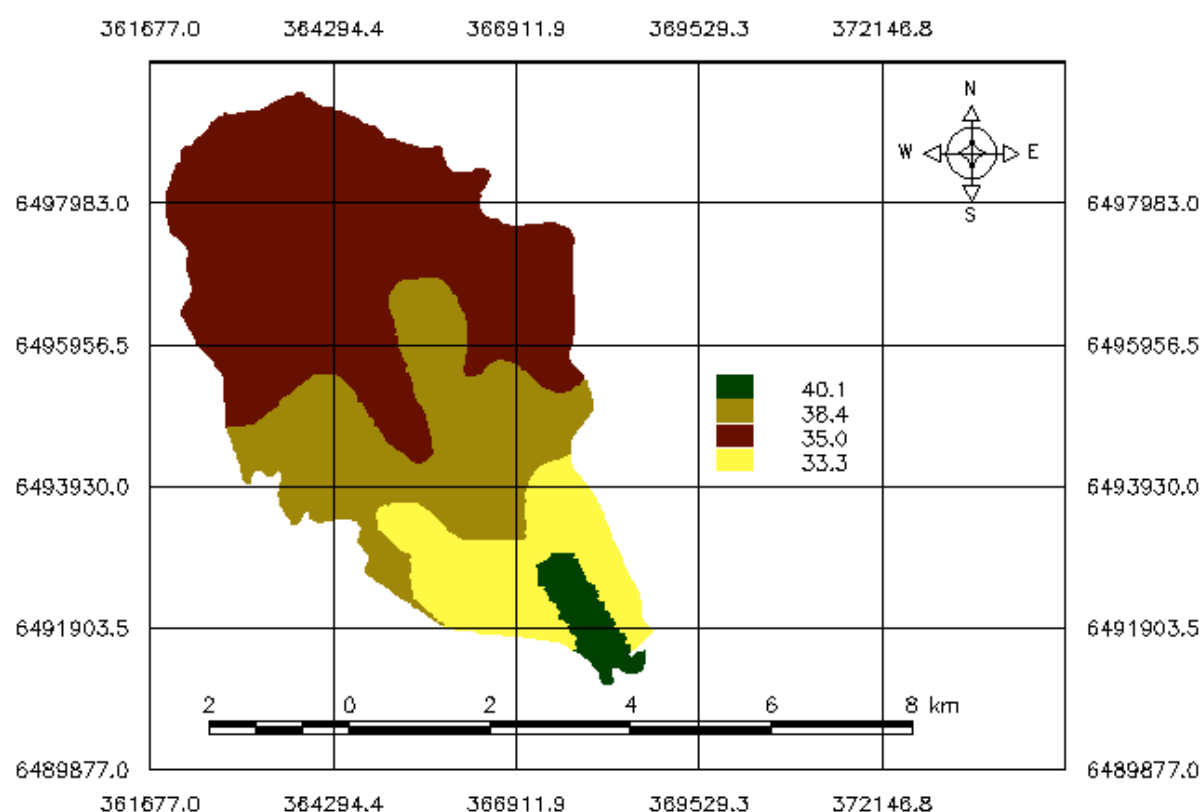


Figura 45. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Pedreira.

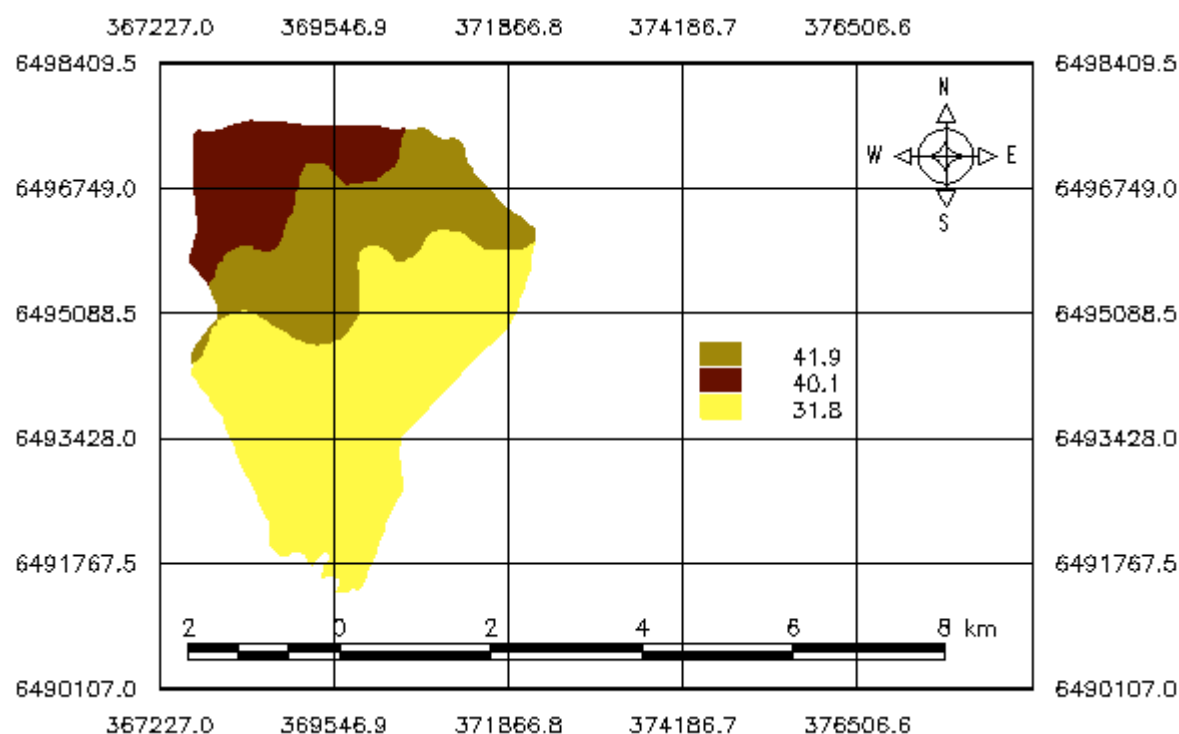


Figura 46. Mapa da classificação de Q (m^3) da microbacia Suzana.

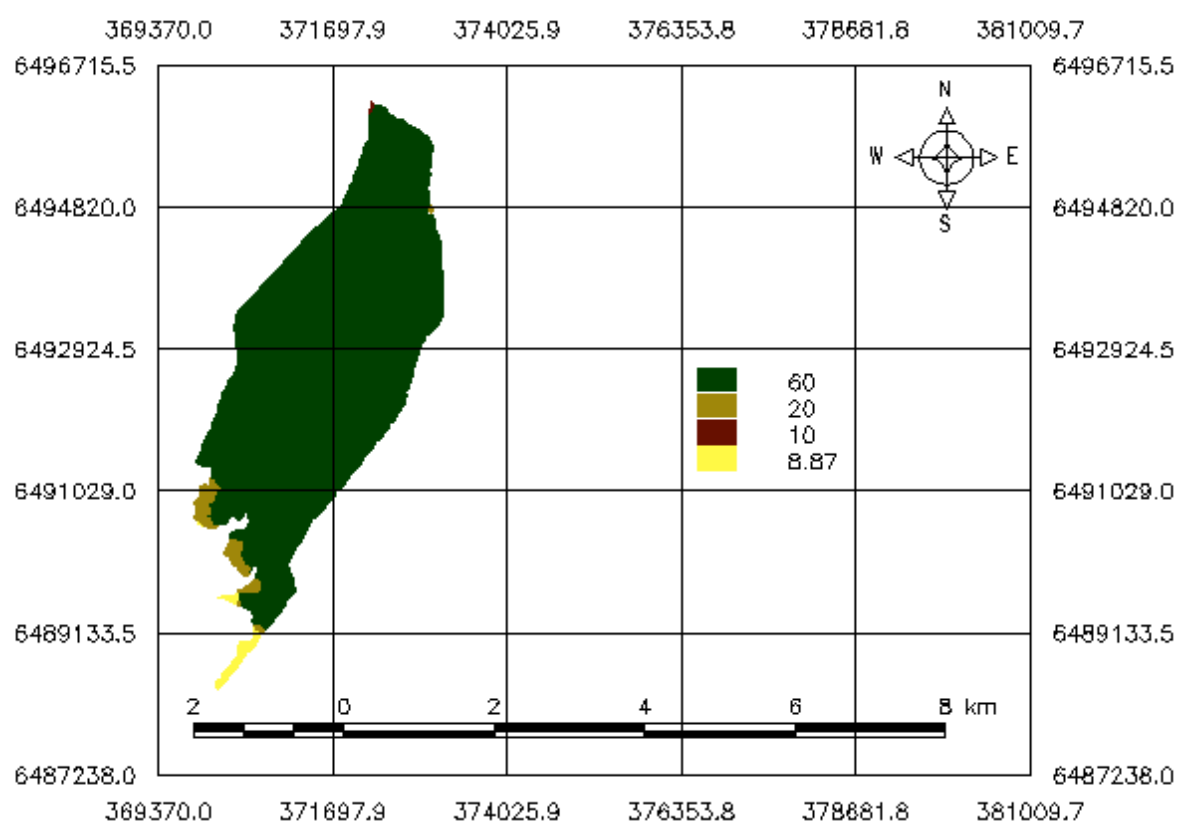


Figura 47. Mapa da classificação de Tc (min) da microbacia Barbuda.

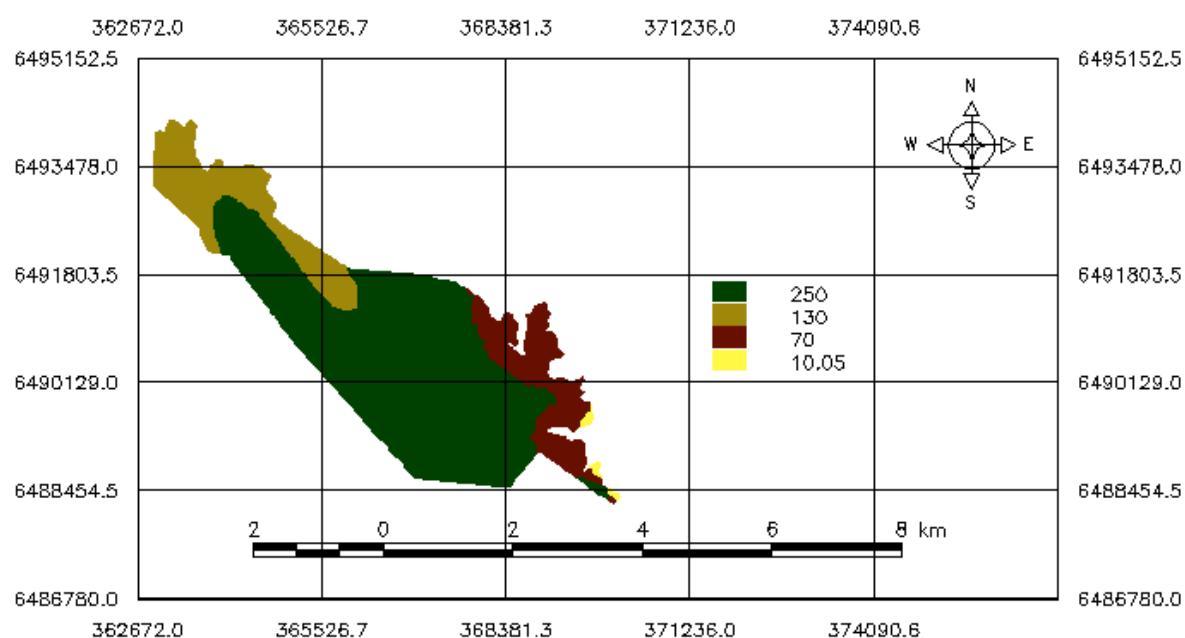


Figura 48. Mapa da classificação de Tc (min) da microbacia Granja.

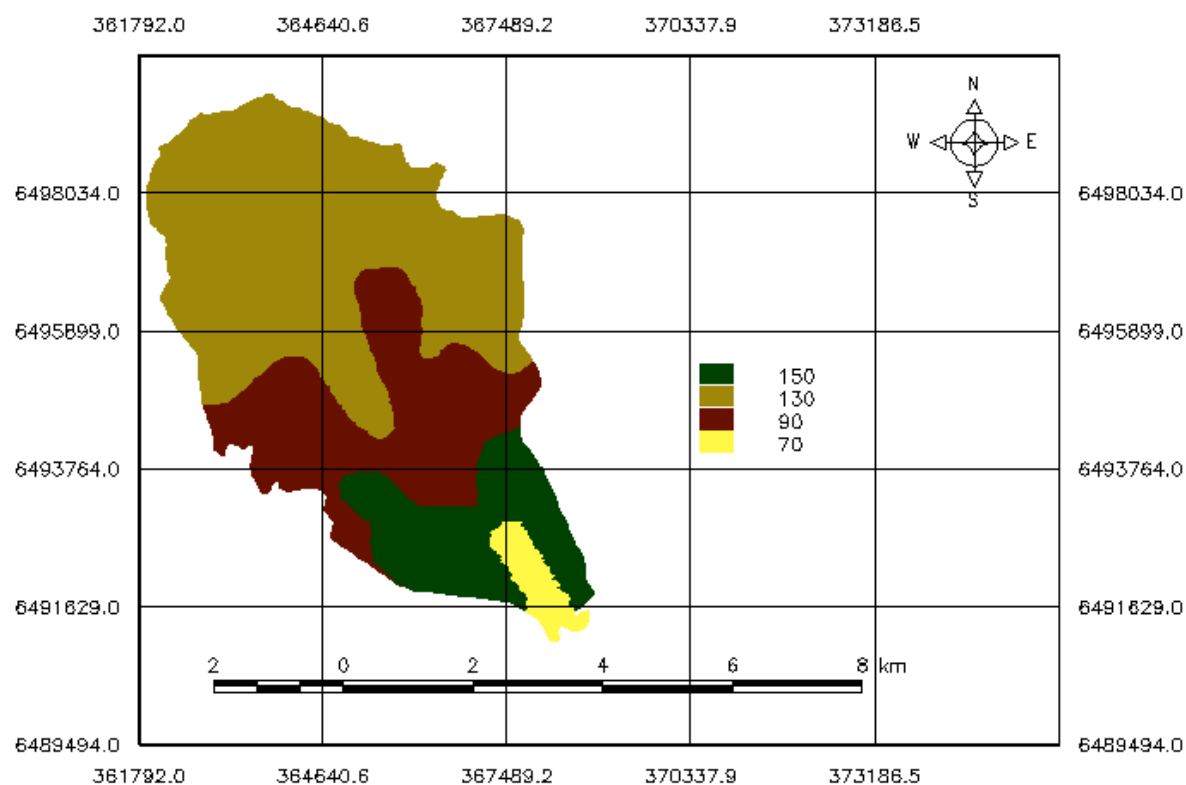


Figura 49. Mapa da classificação de Tc (min) da microbacia Pedreira.

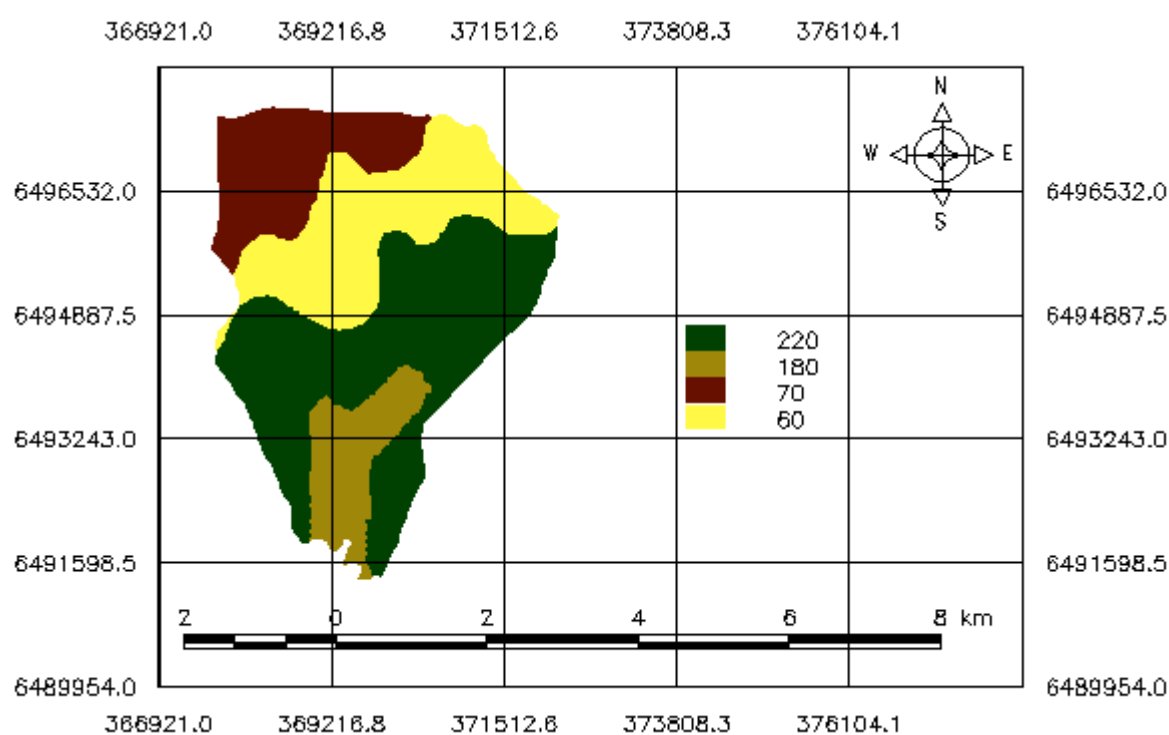


Figura 50. Mapa da classificação de Tc (min) da microbacia Suzana.

9. Anexo

Tabela 15. Valores do fator cobertura do solo (C) para diferentes cultivos e práticas

Cultivo e Prática	Média anual do Fator C
Solo nu	1,0
Floresta ou matagal denso com alta percentagem de <i>mulch</i>	0,001
Savana ou pradaria herbácea em boas condições	0,01
Savana ou pradaria herbácea sobrepastada	0,1
Milho, sorgo ou milheto: alto desempenho com preparo tradicional	0,20 – 0,55
Milho, sorgo ou milheto: alto desempenho sem preparo tradicional	0,50 – 0,90
Milho, sorgo ou milheto: baixo desempenho com preparo mínimo ou sem preparo	0,02 – 0,10
Milho, sorgo ou milheto: alto desempenho, lavoura com cinzel entre resíduos	0,12 – 0,20
Milho, sorgo ou milheto: baixo desempenho, lavoura com cinzel entre resíduos	0,30 – 0,45
Algodão	0,40 – 0,70
Pradaria herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Amendoim	0,30 – 0,80
Palma, café, côco com casca	0,10 – 0,30
Abacaxi cultivado a nível com retirada de resíduos	0,10 – 0,40
Abacaxi cultivado a nível com resíduos na superfície	0,01
Batata sulcos por inclinação	0,20 – 0,50
Batata sulcos transversais à inclinação	0,10 – 0,40
Feijão de corda (feijão caupi)	0,30 – 0,40
Morango com cobertura de plantas daninhas	0,27
Romã com cobertura de plantas daninhas	0,08
Romã limpo de plantas daninhas	0,56
Teff (<i>Eragrostis tef</i>)	0,25
Cana de açúcar	0,13 – 0,40
Nhame	0,40 – 0,50
Ervilha de Angola	0,60 – 0,70
Broto de feijão	0,04
Pimenta	0,33
Cafeeiro: após a primeira colheita	0,05
Banana: após o estabelecimento	0,05 - 0,10
Mamão	0,21

Fonte: Wischmeier e Smith (1978); Singh, Babu e Chandra (1981); El-Swaify, Dangler e Armstrong (1982); Humi (1987); Hashim e Wong (1988).

Tabela 16. Combinação dos fatores cobertura do solo (C) e práticas conservacionistas (P).

Tipo e Cobertura	Fator C	Fator P
Área Urbana	0,1	1
Solo nu	0,35	1
Floresta densa	0,001	1
Floresta rala	0,01	1
Floresta misturada com culturas	0,1	0,8
Culturas	0,5	0,5
Culturas de inundação	0,1	0,5
Pastagem densa	0,08	1
Pastagem rala	0,2	1
Pastagem com cultura	0,25	0,8
Pantanal	0,05	1
Corpos de água	0,01	1

Fonte: Wischmeier e Smith (1978); Singh, Babu e Chandra (1981); El-Swaify, Dangler e Armstrong (1982); Humi (1987); Hashim e Wong (1988).