

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

**MORFOMETRIA, UMIDADE DO SOLO E RISCO DE EROSÃO  
LAMINAR DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIMENTA DA  
FAZENDA SÃO MANUEL**

**LUIS ALFREDO YAGUACHE ORDÓÑEZ**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas-UNESP, Campus de  
Botucatu, para obtenção do título de Mestre  
em Ciência Florestal.

BOTUCATU-SÃO PAULO

Novembro – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

**MORFOMETRIA, UMIDADE DO SOLO E RISCO DE EROSÃO  
LAMINAR DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIMENTA DA  
FAZENDA SÃO MANUEL**

**LUIS ALFREDO YAGUACHE ORDÓÑEZ**

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Valdemir Antonio Rodrigues

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP  
Novembro – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Y12m Yaguache Ordóñez, Luis Alfredo, 1978-  
Morfometria, umidade do solo e risco de erosão laminar da microbacia do córrego Pimenta da Fazenda São Manuel / Luis Alfredo Yaguache Ordóñez. - Botucatu : [s.n.], 2014 x, 80 f. : fots. color., grafs., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014  
Orientador: Valdemir Antonio Rodrigues  
Inclui bibliografia

1. Morfometria. 2. Erosão. 3. Solos - Umidade. 4. Microbacias hidrográficas. I. Rodrigues, Valdemir Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “MORFOMETRIA, UMIDADE DO SOLO E RISCO DE EROSÃO  
LAMINAR DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIMENTA DA FAZENDA  
SÃO MANUEL”

ALUNO: LUIS ALFREDO YAGUACHE ORDÓÑEZ

ORIENTADOR: PROF. DR. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES



PROF. DR. LUIZ ALBERTO BLANCO JORGE



PROFA. DRA. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Data da Realização: 11 de novembro de 2014.

A mi madre Rosa Domitila y a mi padre Ángel Benigno, por sus bendiciones desde cielo;  
A mi hijo Mateo Leonardo, por el cariño, atención y paciencia recibida;  
A mis hermanos por el apoyo constante durante todo el tiempo de estudios.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Valdemir Antonio Rodrigues, pela amizade e orientação contínua e esmerada assim como ensinamento fornecido de sua experiência para cumprir com os objetivos de meu trabalho;

Ao Professor Sergio Lima “in memoriam” pela orientação recebida para a configuração do trabalho;

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da FCA/UNESP do Campus de Botucatu, pela oportunidade de fazer o mestrado;

Aos funcionários da Fazenda Experimental de São Manuel da FCA/UNESP, especialmente Daniel pela amizade obtida e apoio durante o tempo todo de trabalho;

Aos Professores Luiz Alberto Blanco, Maria Helena Moraes, membros da banca examinadora de qualificação, pelas orientações que contribuíram na melhoria da dissertação;

A seção de Pós-Graduação (Taynan), Departamento de Ciências Florestais (Rôsangela) e aos funcionários da biblioteca (Dnise, Ana, Célia, Nilson, Santin, Solange) pela atenção e serviços prestados.

**Muito obrigado.**

## Sumario

Conteúdo	Pág.
Resumo	1
Summary	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Área de estudo	13
3.2. Caracterização da microbacia	13
3.2.1. Uso e cobertura do solo	13
3.2.2. Parâmetros morfométricos	15
3.2.2.1. Parâmetros dimensionais	15
3.2.2.2. Parâmetros relacionados à forma	17
3.2.2.3. Parâmetros do relevo da microbacia	19
3.2.2.4. Parâmetros da drenagem	20
3.3. Umidade e armazenamento de água no solo	22
3.4. Estimativa do potencial de erosão do solo com auxílio da RUSLE	26
3.4.1. Erosividade da chuva (Fator R)	26
3.4.2. Erodibilidade do solo (Fator K)	27
3.4.3. Comprimento da rampa e declividade (Fator K)	28
3.4.4. Uso e manejo do solo (Fator C)	30
3.4.5. Práticas conservacionistas (Fator P)	31
3.4.6. Potencial natural da erosão (PNE)	32
3.5. Análise estatística dos resultados	33
4. RESULTADOS	34
4.1. Uso e cobertura do solo	34
4.1.1. Parâmetros dimensionais	34
4.1.2. Características geométricas da microbacia	34
4.1.3. Características do relevo da microbacia	35
4.1.4. Padrão da rede de drenagem	36
4.2. Capacidade de armazenamento de água no solo	38

4.2.1. Umidade no solo	38
4.2.2. Armazenamento de água no solo	41
4.3. Estimativa da perda do solo com auxílio da RUSLE	48
4.3.1. Erosividade da chuva (Fator R)	48
4.3.2. Erodibilidade do solo (Fator K)	50
4.3.3. Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)	55
4.3.4. Uso e cobertura do solo (Fator C)	57
4.3.5. Tolerância de perda de solo	58
4.3.6. Potencial natural de erosão (PNE)	59
4.3.7. Perda do solo pela RUSLE	61
5. CONCLUSÕES	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7. APÊNDICE	77



## Lista de tabelas

<b>Conteúdo</b>	<b>Pág.</b>
Tabela 1. Valores para interpretação dos resultados do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e, coeficiente de compacidade (Kc) da microbacia	19
Tabela 2. Para interpretação dos resultados da densidade de drenagem (Dd)	22
Tabela 3. Registro de dados para obtenção do armazenamento de água no perfil do solo	26
Tabela 4. Classificação dos índices de erodibilidade	28
Tabela 5. Valores do fator C (uso e manejo do solo)	31
Tabela 6. Valores do fator P para algumas práticas conservacionistas	31
Tabela 7. Ocorrência de graus de erosão hídrica na bacia	33
Tabela 8. Parâmetros dimensionais analisados na morfometria da microbacia	34
Tabela 9. Características geométricas da microbacia	34
Tabela 10. Características altitudinais da microbacia	35
Tabela 11. Parâmetros da rede de drenagem da microbacia	37
Tabela 12. Valores da umidade do solo no período janeiro – dezembro 2012 nas quatro coberturas	38
Tabela 13. Armazenamento de água na microbacia	41
Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água no solo pelo tipo de cobertura	46
Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água no solo segundo à profundidade	47
Tabela 16. Erosividade média mensal da microbacia do córrego Pimenta	48
Tabela 17. Erodibilidade do solo nos quatro tipos de cobertura	51
Tabela 18. Classificação da cobertura vegetal na microbacia do córrego Pimenta	58
Tabela 19. Tolerância de perda de solo segundo à textura e densidade dos horizontes superficiais e subsuperficiais da microbacia do córrego Pimenta	58

**Lista de figuras**

<b>Conteúdo</b>	<b>Pág.</b>
Figura 1. Localização geográfica da microbacia Pimenta.	13
Figura 2 <sup>a</sup> ) Área com floresta, 2b) área com pastagem, 2c) Área com plantio de Pinus e 2d) área com cultura de pinhão manso.	14
Figura 3. Representação gráfica dos parâmetros dimensionais analisados na morfometria da microbacia	16
Figura 4. Representação gráfica das características geométricas da microbacia	18
Figura 5. Processo para coleta de amostras de solo	23
Figura 6. Rede de drenagem da microbacia	36
Figura 7. Umidade média anual do solo nas quatro tipos de cobertura	40
Figura 8. Armazenamento de água no perfil do solo nas quatro coberturas	44
Figura 9. Representação gráfica do análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água no solo pelo tipo de cobertura	47
Figura 10. Representação gráfica do análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água segundo à profundidade	48
Figura 11. Erosividade média mensal da microbacia do córrego Pimenta	50
Figura 12. Erodibilidade da microbacia do córrego Pimeta	53
Figura 13. Declividade da microbacia do córrego pimenta	53
Figura 14. Fator LS da microbacia do córrego Pimenta	56
Figura 15. Uso e cobertura do solo da microbacia do córrego Pimenta	57
Figura 16. Potencial natural de erosão da microbacia do córrego Pimenta	60
Figura 17. Perda de solo pelo modelo RUSLE	61

**Lista de apêndice**

<b>Conteúdo</b>	<b>Pág.</b>
Apêndice 1. Resultados do análise química do solo da microbacia Pimenta-São Manuel	78
Apêndice 1.1. Resultados do análise física do solo da microbacia Pimenta-São Manuel	79
Apêndice 2. Precipitação da série histórica (1971-2012) na estação São Manuel.	80

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

FCA – Faculdade de Ciências Agrônômicas

SP – São Paulo

jan – janeiro

fev – fevereiro

mar – março

abr – abril

mai – maio

jun – junho

jul – julho

ago – agosto

set – setembro

USLE- Universal Soil Loss Equation

RUSLE- Revised Universal Soil Loss Equation

MUSLE – Modified Universal Soil Loss Equation

SIG- Sistemas de Informações Geográficas

IGC- Instituto Geográfico e Cartográfico

MORFOMETRIA, UMIDADE DO SOLO E RISCO DE EROSÃO LAMINAR DA MICROBACIA DO CÓRREGO PIMENTA DA FAZENDA SÃO MANUEL. Botucatu, 2014. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: LUIS ALFREDO YAGUACHE ORDÓÑEZ

Orientador: VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES

**Resumo.**

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, localizada no Município de São Manuel, e teve como objetivos a) Caracterização morfometria b) Avaliação da umidade nos quatro ambientes (floresta, pastagem, plantio de Pinus e cultura de pinhão manso e c) Estimativa do potencial da erosão da microbacia do córrego Pimenta com auxílio da Revised Universal Soil Loss Equation—RUSLE. A pesquisa foi conduzida no período compreendido entre janeiro a dezembro de 2012. A amostragem para os fatores da RUSLE foram amostras deformadas coletadas em camadas de 0-20 e 30-50 cm nas quatro coberturas do solo e, para os cálculos de umidade precisou-se de quatro trincheiras de 1 m de profundidade dentro de cada tipo de cobertura onde foram coletadas mensalmente 80 amostras indeformadas. O estudo revelou que a microbacia pelas propriedades morfométricas apresenta uma tendências mediana-alta a enchentes, os menores conteúdos de umidade e água no solo estão nas camadas superficiais 0 a 30 cm, e nas camadas profundas de 80 a 100 cm apresentam maior estabilidade, o potencial de erosão da microbacia do córrego Pimenta vai de 1,1 – 10,8 t.ha/ano.

Palavra-chave: Morfometria, Erosão, RUSLE, umidade do solo, microbacia, erosividade, erodibilidade.

MORPHOMETRIC, MOISTURE AND SOIL EROSION RISK OF LAMINAR OF THE OF THE BASIN RIVER PIMENTA-SÃO MANUEL- Botucatu. 2014 90 p. Thesis (Master of Forest Science) - Faculty of Agricultural Sciences, São Paulo State University.

Author: LUIS ALFREDO YAGUACHE ORDÓÑEZ

Supervisor: VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES

Abstract.

This work was conducted in the experimental farm of the Faculty of Agricultural Sciences UNESP, located in the municipality of San Manuel, and aimed to A) Morphometric characterization, b) evaluation of the moisture in the four environments (forest, pasture, pine plantation and cultivation of jatropha c) estimation of potential erosion of the watershed of the river with the help Pimenta da Revised Universal Soil Loss Equation-RUSLE. The research was conducted in the period from January to December 2012. Samples for RUSLE factors were deformed samples collected in litters of 0-20 and 30-50 cm in the four land cover and to calculate moisture is needed four trenches 1 meter deep in each of the coverages where they were informed 80 samples collected monthly. The study revealed that morphometric properties has an average trend -high floods, lower moisture content and water storage in surface layers are 0-30 cm and in the deep layers of 80-100 cm are more stable, the erosion potential of the micro watershed will Pimenta 1.1 to 10.

Keyword: morphometry, erosion, RUSLE, soil moisture, watershed, erosivity, erodibility.

## **1. INTRODUÇÃO**

As microbacias são unidades geográficas onde interagem as relações ambientais, sociais, culturais, econômicas, entre outras. O ser humano é o mais importante ator, porque tem a possibilidade de lograr mudanças nesses contextos, conforme usa os recursos: água, solo, floresta, minerais etc., em cada localidade.

A caracterização morfométrica das bacias hidrográficas, é uma das ferramentas mais importantes para os análises hídricas, porque permite diagnosticar e determinar a susceptibilidade a enchentes e sua capacidade de resposta.

O análise da umidade do solo tem muita importância nos processos de troca de energia e água, entre o solo e atmosfera, exercendo influência direta nos processos de infiltração, drenagem, evapotranspiração, escoamento superficial, entre outros (ENTIN et al., 2006)

A importância do trabalho radica em que os resultados geram uma ideia geral do estado de deterioração da microbacia, e dos parâmetros morfométricos,

hidrofísicos e uso do solo. Assim o estudo pode ser utilizado em trabalhos envolvendo umidade de água para as plantas, propostas de manejo eficientes para conservação e reabilitação de microbacias.

A pesquisa, teve os seguintes objetivos:

- a) Caracterização morfométrica da microbacia do córrego Pimenta;
- b) Avaliação da umidade em quatro ambientes (floresta, pastagem, plantio de Pinus e cultura de pinhão manso);
- c) Estimativa do potencial da erosão da microbacia do córrego Pimenta com auxílio da RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

A hipótese de pesquisa é: O potencial de erosão é influenciado pelas características físicas (morfometria), de uso e cobertura e reflete no armazenamento de água do solo.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A bacia hidrográfica é uma área delimitada por divisores topográficos com captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída e compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único (TUCCI, 2007).

É também, considerada um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram para formação de nascentes no lençol freático (BARRELLA et al., 2000). São sistemas naturais abertos, que funcionam em contínua troca de energia e de matéria com o meio, onde os fatores intrínsecos incluindo cobertura vegetal, determinam a qualidade da água (LIMA, 1996).

Do ponto de vista hidrológico, as bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas, não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio (LIMA, 1986)

Uma sub-bacia hidrográfica é uma área de drenagem dos tributários do curso de água principal (LIMA, 2008). Para uma ideia de sua área, diferentes autores utilizam as seguintes unidades de medida, para Faustino (1996), uma sub-bacia hidrográfica possui uma área maior que 100 km<sup>2</sup> e menor que 700 km<sup>2</sup>, para Martins et al., (2005), tem uma área entre 200 a 300 km<sup>2</sup>.

Outra subdivisão da bacia, é microbacia, como uma unidade de medida, hidrológica e ecológica, sendo para Faustino (1996), a área com drenagem direta ao curso principal de uma sub-bacia. Assim uma microbacia pode ser inferior a 100 km<sup>2</sup>. Cecílio e Reis (2006) definem a microbacia como uma sub-bacia hidrográfica de área reduzida, com uma área que vai de 0,1 km<sup>2</sup> a 200 km<sup>2</sup>.

As funções das microbacias são:

**Hidrológica:** porque regula o ciclo hidrológico, a capacidade da captação e do armazenamento de água em seus distintos sítios.

**Ecológica:** e promove a diversidade e o habitat para a flora e fauna, permitindo a interação das características físicas químicas e biológicas da água.

**Ambiental:** porque permite o sequestro de carbono, abriga bancos de germoplasma, regula a recarga hídrica e mantém a integridade e a diversidade dos solos.

**Socioeconômica:** porque oferece elementos naturais para o desenvolvimento de atividades geradoras do sustento para população (SILVA et al., 2006).

De acordo com Rodrigues et al., (2013), o funcionamento hidrológico de uma microbacia está relacionado aos processos geomorfológicos de formação que resultaram em: sua área, formas geométricas do relevo, diferentes declividades, densidade de drenagem, entre outros parâmetros, bem como, aos processos hidrológicos tais como: precipitação local e regional, escoamento superficial da água das chuvas, infiltração, fluxo de base, deflúvio, vazão e, suas inter-relações com o meio.

De acordo com Guerra e Cunha (1996), os desequilíbrios que são registrados nas microbacias, principalmente nas encostas, devem-se geralmente aos eventos chuvosos, mantendo seu impacto na intensidade (volume precipitado) e frequência, pela concentração em 3 ou 4 meses do ano (época chuvosa), pelo tanto, converte-se no fator primordial para avaliações nos momentos críticos.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), as perdas de terra pela erosão são causadas de entre outros fatores, pela frequência das chuvas. Se os eventos chuvosos são contínuos, mesmo não sendo em grandes quantidades precipitadas o solo atinge maior umidade até chegar à saturação. Com o solo saturado o excesso de água vai se perder, causando o processo erosivo pela enxurrada.

Salomão e Iwasa (1995), sobre os processos erosivos, destacam dois importantes eventos iniciais: o impacto das gotas de chuva na superfície do solo, as quais promovem a desagregação e a liberação das suas partículas e, por outro, o escoamento superficial das águas que permite o transporte das partículas liberadas. O escoamento produz uma erosão laminar ou em lençol, quando causada por escoamento difuso das águas de chuva, resultando na remoção progressiva e relativamente uniforme dos horizontes superficiais do solo e uma erosão linear, quando é causada por concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno em forma de sulcos.

Segundo Hudson (1977), o processo de erosão hídrica do solo é causado pela precipitação e é condicionado pelos fatores chuva, solo, topografia, cobertura e manejo e práticas conservacionistas de suporte. Segundo Magalhães (2001), a erosão hídrica desenvolve-se em quatro estágios: a) formação de canal onde há concentração de escoamento; b) incremento rápido em profundidade e largura onde a cabeceira move-se para montante; c) declínio do aumento com início de crescimento da vegetação natural; e) eventual estabilização com o canal locado num perfil de equilíbrio com paredes estáveis e vegetação desenvolvida “segurando” o solo. Segundo Magalhães (1995), os solos mais propícios à erosão são os arenosos, sobretudo os finos, secos, ácidos, pouco coesivos, coluviais e porosos. O manejo dos solos e a cobertura vegetal podem alterar significativamente a resistência dos solos à erosão.

O conteúdo de matéria orgânica pode alterar a estrutura do solo, melhorando a porosidade nos solos argilosos e promovendo a aglutinação de partículas que firmam a estrutura nos solos arenosos. Primavesi (1987) menciona a agregação do solo, denominada bioestrutura do solo, a qual é caracterizada pelos agregados secundários ou grumos formados pelos microorganismos a partir de agregados primários, de formação química.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), os efeitos da vegetação em proteção dos solos são: proteção direta contra o impacto das gotas de chuva, aeração do

solo pela decomposição das raízes das plantas contribuindo na infiltração, melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica e diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo Beltrame et al. (1981), os trabalhos de preparo do solo destroem a estrutura natural da camada arável e, se realizados sob condições úmidas, provocam a compactação que reduz as taxas de infiltração e aumenta o volume de escoamento superficial, em solos com declividade. Nos solos planos a redução das taxas de infiltração provocada pela compactação reflete-se no aumento do tempo de encharcamento destes, reduzindo consideravelmente o tempo disponível para preparo do solo.

Trabalhos realizados por Dias e Estandislau (1999) demonstraram o efeito da cobertura vegetal em diferentes graus de compactação nas curvas de infiltração para três tipos de solo. Sob diferentes formas de cobertura vegetal, o grau de compactação alterou significativamente a infiltração dos solos. O tema erosão tem sido intensivamente estudado sob vários pontos de vista em várias partes do mundo e crescem as pesquisas visando à compreensão de manejo inadequado do solo e de drásticas alterações ambientais (SILVA et al, 2003).

Segundo Bertoni (1985), os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo de uma área datam de 1940, na região do Corn Belt dos Estados Unidos; sendo que o processo empregado a partir daquela época até 1956 era conhecido por método do “plantio em declives”. Somente no final da década de 50, uma equação para a estimativa de perda de solo foi aprovada superando restrições geográficas e climáticas, surgidas nas equações anteriormente propostas e, devido à sua aplicação generalizada, o modelo aperfeiçoado por Wischmeier e Smith (1965) passou-se a denominar Equação Universal de Perda de Solo, que suas siglas em inglês é USLE (Universal Soil Loss Equation).

Devido às limitações de USLE, foi necessário uma modificação na equação passando-se a chamar RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) onde já

apresenta a facilidade de incorporar algoritmos nos cálculos para operações com os sistemas de informações geográficas e novos métodos de cálculo do fator C, LS e P (JONES, 2014). Outra mudança importante de USLE foi a incorporação de algoritmos para a predição de sedimentos passando a se chamar MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) (ZHANG; DEGROOTE; SUGUMARAN, 2008)

A RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) é reconhecida para estudo da erosão laminar e está expressa pela seguinte relação:

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

Onde

A= índice que representa a perda de solo por unidade de área, em toneladas/ha;

R=índice de erosividade da chuva, em MJ.mm/ha.ano;

K=índice de erodibilidade do solo, em T.ha.h/MJ.ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>;

L=índice relativo ao comprimento da encosta, em metros; S=índice relativo à declividade da encosta, em %;

C=índice relativo ao fator uso e manejo do solo (adimensional);

P=índice relativo à prática conservacionista adotada (adimensional).

A aplicação deste modelo ainda apresenta limitações especialmente na hora de aplicar em um local específico, já que se requer de informações obtidas nesse local. Em estudos regionais de erosão (escalas pequenas), os valores numéricos da Equação Universal de Perda de Solo por erosão não podem ser tomados como dados reais de erosão, servindo tão-somente para categorizar qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor susceptibilidade à erosão laminar, podendo cartografá-las em mapas de suscetibilidade (IPT, 1986).

Segundo Stein (1999), a RUSLE representa quantificações de perdas de solo admitidas contínuas ao longo da encosta, desconsiderando a deposição

parcial nas vertentes, que sabidamente ocorre, e também a complexidade imposta pela intervenção da dinâmica fluvial, com erosão e deposição associadas.

De acordo com Moreti et al. (2003), a erosividade das chuvas é definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo, em função de suas características físicas, tais como quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Neste sentido a intensidade e a energia cinética são as duas características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo.

Santos e Montenegro (2012), manifestam que a caracterização do fator R da equação universal de perda de solo requer o cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI30), cujo valor é obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de dado local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min (I30).

Segundo Disssmeyer e Foster (1980), o fator da erodibilidade do solo (K) representa a intensidade de erosão por unidade de índice de erosividade da chuva, para um solo específico, os cálculos foram baseados em um experimento que consistiu em manter uma parcela durante dois anos e que tinha 22,1 metros de comprimento e 9 % de declividade, baixo constante operações culturais para ter uma simulação de um solo pronto para estabelecimento de uma cultura.

O fator K medido em  $T.ha.h/MJ.ha^{-1}mm^{-1}$  é uma propriedade do solo que resulta da interação entre suas características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas (SANTANA, 2010), as quais determinam a perda potencial que os solos podem apresentar quando os demais fatores externos que influenciam a erosão (chuva, vento, declividade etc.) permanecem constantes. A erodibilidade é influenciada principalmente por características que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte de partículas pela chuva (LOMBARDI e BERTONI, 1975).

O Fator LS está composto por fatores (L), que é o comprimento do declive ou rampa (metros) e (S) grau de declividade da área (porcentagem). Estes dois fatores são obtidos separadamente, mas sua análise geral tem que ser como um só fator topográfico, adimensional, LS, que representa a taxa de perda de solo em um dado comprimento de rampa e declividade em relação à perda de solo de uma encosta com comprimento de 22,1 m e 9 % de declividade (RENARD, 1997).

De acordo com Williams e Berndt (1977), o fator LS é um dos fatores mais importantes da Equação Universal de Perda de Solo. É o fator que mais dificuldade apresenta na hora do cálculo. O Fator LS tem uma influência significativamente maior na variação da erosão bruta do que qualquer dos outros fatores da RUSLE.

Segundo Bertoni e Lombardi (2005), a intensidade de erosão hídrica é afetada pelo comprimento da rampa e seu gradiente, os quais são analisados conjuntamente pelo fator LS da RUSLE.

A declividade tem uma relação importante com o escoamento superficial e a regulação do tempo de concentração da água das chuvas na rede de drenagem. Quanto maior for a declividade, maior relação com os processos erosivos do solo (RODRIGUES et al., 2011).

Segundo Wischmeier e Smith (1978), o fator C é adimensional, corresponde a taxa de perda de solo de uma área cultivada em determinadas condições e a perda de solo de uma área de referência, continuamente mantida com solo preparado e sem nenhum tipo de cobertura vegetal.

Bertol, Schick e Batistela (2001), manifestam que o fator C varia amplamente de acordo com os valores da erosividade e erodibilidade em cada local, para cada tipo de cobertura, uso do solo e tipo de manejo do solo em cada cultura ocorre uma dificuldade para sua determinação, em virtude das inúmeras combinações possíveis de

erosividades, erodibilidades, coberturas, usos (culturas), sistemas de cultura e tipos de preparo e manejo para cada solo de cada cultura.

Os valores do fator C variam de acordo com o tipo de cobertura e uso do solo, assim um solo coberto por floresta nativa tem valores próximos a zero, o que significa a maior taxa de proteção do solo, de outro lado o solo sem nenhum tipo de cobertura vegetal tem valores de (1), que representa a maior taxa de perda do solo.

Segundo Amorim et al. (2009), o fator P da RUSLE representa o efeito positivo das práticas de conservação ou efeito negativo pela ausência ou ineficiência destas. As práticas analisadas são parcelas experimentais com sistemas coletores localizados nas Estações Experimentais do Instituto Agrônomo em Pindorama e Campinas – SP, com plantio morro abaixo, plantio em nível ou terraço, alternância de capinas + plantio em nível e em cordões de vegetação permanente, além de outro tipo de culturas e sistemas.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudo

A microbacia do córrego Pimenta tem uma extensão de 183,4 ha e localiza-se na Fazenda Experimental São Manuel, que pertence à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, no município São Manuel, Estado de São Paulo (Figura 1).



Figura 1. Localização geográfica da microbacia do córrego Pimenta.

Sua localização está entre as coordenadas geográficas: 22°46'27" a 22°47'09" latitude sul e 48°34'11" a 48°33'32" de longitude Leste, com uma altitude média de 740 m. O clima regional do município de São Manuel, de acordo com a classificação climática de Köppen, é temperado chuvoso, constantemente úmido e com verão quente (Cfa). A temperatura média anual é de 21°C, sendo o total da precipitação anual de 1445 mm (RIVERO e MARTINS, 2009). O solo da área experimental é um Neossolo Quartzarênico com um relevo suave ondulado (Embrapa 1999).

#### 3.2. Caracterização da microbacia

##### 3.2.1. Uso e cobertura do solo

O mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi elaborado com a interpretação de imagens de satélite Google Earth datadas de 2010. A imagem foi classificada de forma visual usando o programa Arc Gis 10.2. Dessa forma mapeou-se e codificou-se cada uma das coberturas e uso do solo da microbacia do córrego Pimenta.

A composição da floresta na microbacia segundo Rosolem et al. (2010) é um remanescente de cerrado nativo de textura arenosa. A área está conformada com 29 ha de cerrado nativo e 17,7 ha de mata ciliar. A área se apresenta na Figura 2a, esta cobertura não apresenta sinais de perturbação dos solos para nenhuma atividade agrícola ou pecuária, podendo encontrar a estrutura original e característica dos solos com floresta nativa.

A área de pastagem (Figura 2b) é um pasto degradado da espécie *Brachiaria decumbens* há mais de 20 anos de plantado que está sendo utilizada para pastagem de gado bovino. Esta área de pastagem é a maior da microbacia com 105,5 há. Destacam-se as obras de conservação realizadas na extensão para diminuir o impacto da erosão laminar causada pela chuva e promover a infiltração com terraços de 10 a 20 m.

A cobertura com plantio de Pinus (Figura 2c), é uma plantação há mais de 20 anos com a espécie *Pinus* sp., que segundo o mapa de uso e cobertura do solo tem 3,9 ha, o plantio tem uma densidade de 1600 árvores por hectare, plantado a uma distância de 3 x 3 m sem perturbações antrópicas no solo.

A área coberta com cultura de pinhão manso (Figura 2d), é uma plantação de aproximadamente 3 anos, com rotação de culturas para pesquisa agronômica. A área apresenta uma densidade de 1100 árvores por hectare, plantado de 3 x 3 m, nesta área tem sido realizado várias atividades para o controle das plantas indesejáveis, utilizando mecanização agrícola permanente. Segundo o mapa de uso e cobertura do solo tem 18,5 há.

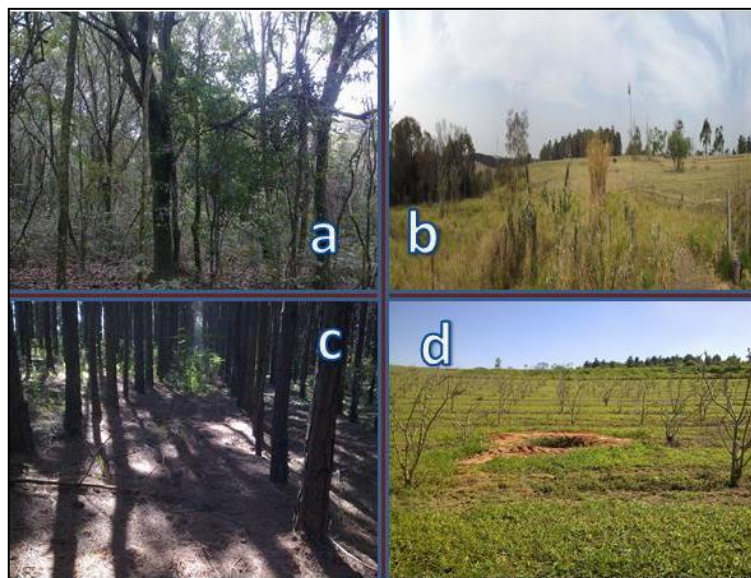


Figura 2a) Área com floresta, 2b) área com pastagem, 2c) Área com plantio de Pinus e 2d) área com cultura de pinhão manso.

### 3.2.2. Parâmetros morfométricos

#### 3.2.2.1. Parâmetros dimensionais

Os parâmetros dimensionais (Figura 3), foram obtidos utilizando um Modelo Digital de elevação (MDE) formato raster<sup>1</sup> do Instituto Geográfico e Cartográfico – IGC de São Paulo a escala 1:10000, disponível em [www.igc.sp.gov.br](http://www.igc.sp.gov.br). A imagem foi processada num sistema de informação geográfica para a obtenção dos seguintes parâmetros:

➤ **Perímetro (P):** que é a medida da linha que envolve a microbacia pelos divisores topográficos de água em Km (GASPARI et al., 2012), obtido de forma automática pelo software ArcGis 10.2.

<sup>1</sup> Refere-se à representação gráfica do mundo real por meio de pixel (*picture element*) ou células, com forma poligonal regular, que contem informação de altitude, longitude e elevação, geralmente quadradas, que são definidos pelas suas posições em relação às colunas e linhas de uma malha.

➤ Comprimento da microbacia (C): que corresponde a distância entre a foz e o ponto extremo da microbacia sobre a linha do divisor de águas, em forma paralela ao rio principal em Km (RODRIGUES et al., 2013), obtido de forma automática pelo software ArcGis 10.2.

➤ Largura (L): que é a razão entre a área em km<sup>2</sup> e o comprimento da microbacia em Km (GASPARI et al., 2012), obtida pela seguinte equação:

$$L = \left(\frac{A}{C}\right) \quad (2)$$

Onde:

L= largura média em (km)

A= área da microbacia (km<sup>2</sup>)

C= comprimento da microbacia

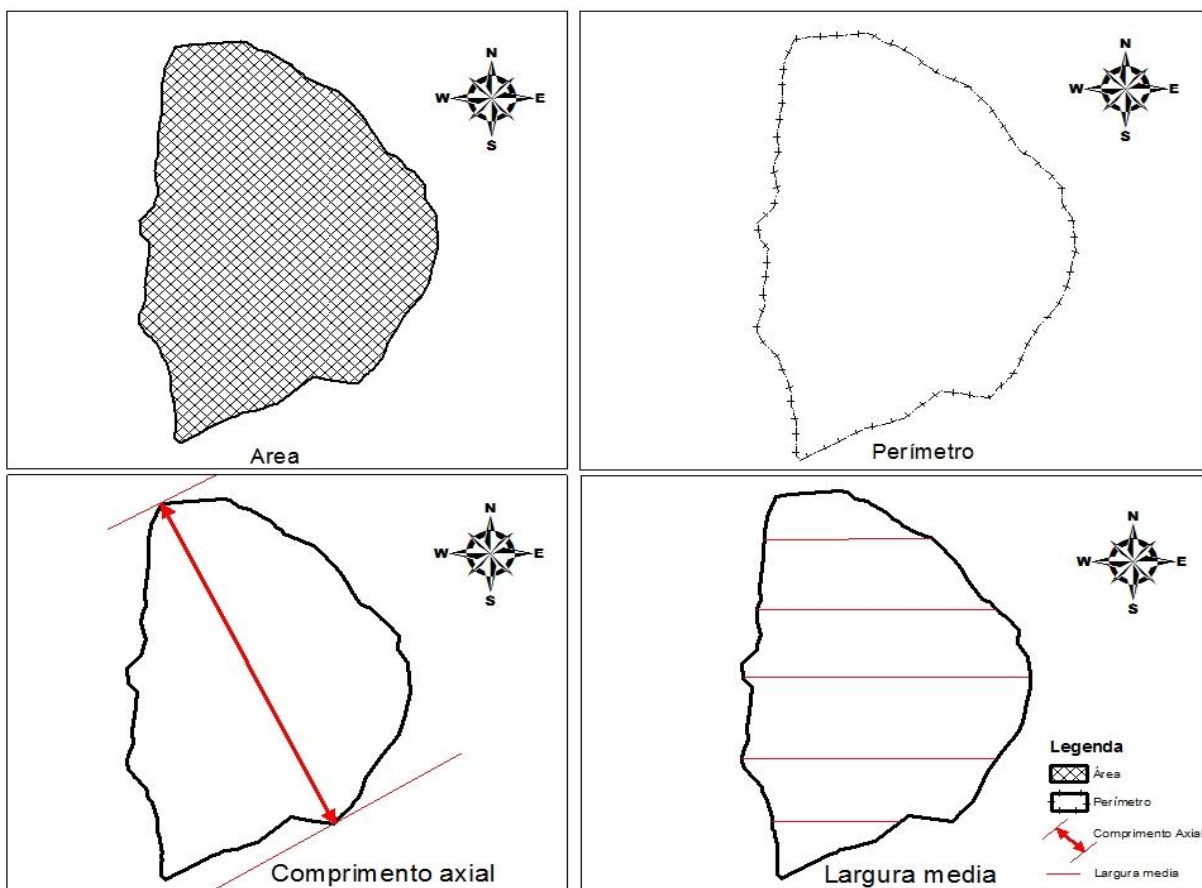


Figura 3. Representação gráfica dos parâmetros dimensionais analisados na morfometria da microbacia

### 3.2.2.2. Parâmetros relacionadas à forma

Com os parâmetros dimensionais (Figura 4), foram calculados manualmente os fatores relacionados à forma da microbacia.

➤ O Fator de forma (Ff), segundo Horton (1945), é um fator que compara a microbacia à forma de um retângulo, sendo a razão entre a área em km<sup>2</sup> e o quadrado do comprimento da microbacia em km.

$$Ff = \left(\frac{A}{C^2}\right) \quad (3)$$

Onde:

Ff = Fator de forma

A = área de drenagem (km<sup>2</sup>)

C = comprimento da microbacia (km)

➤ O índice de circularidade (Ic), segundo Horton (1945), compara a forma da microbacia com a forma de um círculo, sendo expressa ao coeficiente da equação (adimensional) multiplicado pela razão entre área em km<sup>2</sup> e o quadrado do perímetro em km.

$$Ic = 12,57 \cdot \left(\frac{A}{P^2}\right) \quad (4)$$

Onde:

Ic = índice de circularidade

A = área de drenagem (km<sup>2</sup>)

P = perímetro (km)

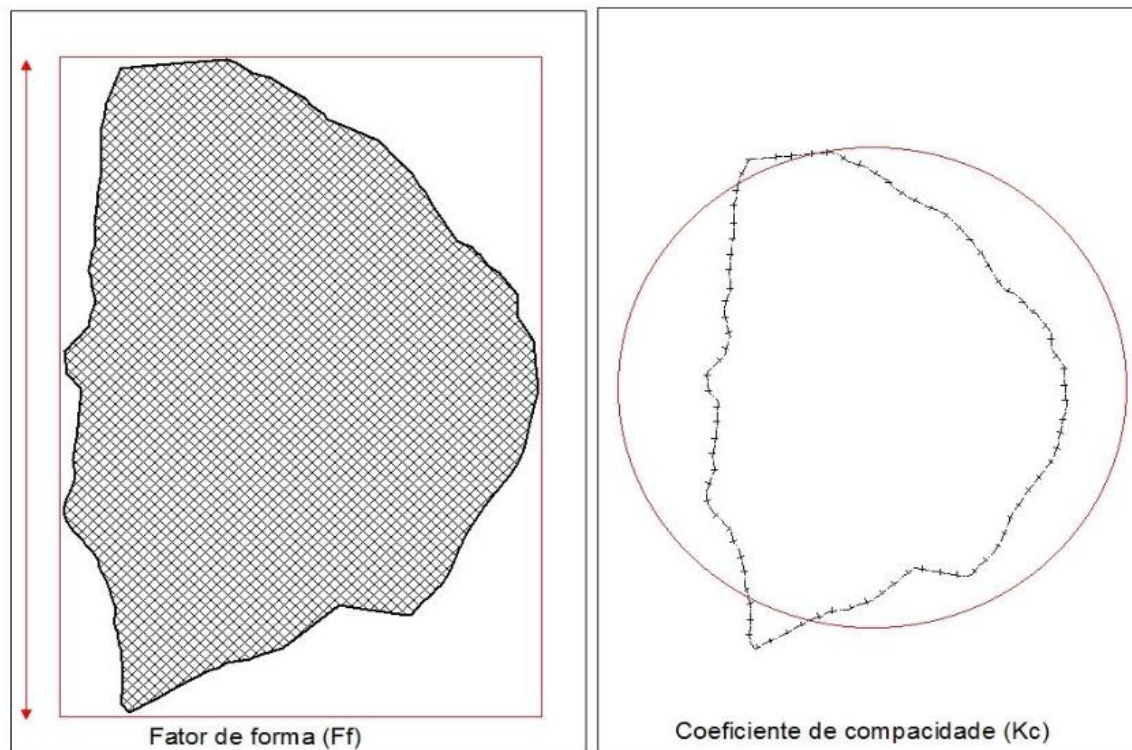


Figura 4. Representação gráfica dos parâmetros dimensionais analisados na morfometria da microbacia

Quando os resultados do fator de forma e o índice de circularidade forem iguais ou próximos de 1,0, a microbacia aproxima-se à forma circular gerando alta tendência a enchentes, a medida que os resultados vão diminuendo de 1,0 a forma torna-se alongada que significa que a microbacia tem tendência a conservação.

➤ O coeficiente de compacidade (Kc) segundo Villela e Mattos (1975), é a relação entre a forma da microbacia com um círculo. Este coeficiente é um número adimensional que varia com a forma, independentemente de seu tamanho. Se a bacia for irregular, maior será o coeficiente de compacidade. O Kc está determinado pelo coeficiente multiplicado pela razão entre o perímetro em km e a raiz quadrada de sua área em Km<sup>2</sup>.

$$Kc = 0,28\left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (5)$$

Onde:

Kc = Coeficiente de compacidade

P = Perímetro em metros

A = Área de drenagem metros

Quando um coeficiente for inferior ou igual a unidade 1,0 corresponde a uma microbacia com forma circular, por tanto terá maior susceptibilidade a enchentes e conseqüentemente assoreamentos da rede de drenagem. Quando o coeficiente for superior a 1,7 corresponde a uma microbacia alongada, com maiores tendências á conservação ambiental (RODRIGUES et al., 2013).

Os valores dos fatores obtidos como fator de forma (Ff), coeficiente de compacidade (Kc) e Índice circularidade (Ic) foram interpretados da Tabela 1, que foi proposta por Villela e Matos (1975).

**Tabela 1.** Valores para interpretação dos resultados do fator de forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e, coeficiente de compacidade (Kc) da microbacia.

Ff	Ic	Kc	Formato da microbacia	Interpretação ambiental da microbacia
1,00 - 0,75	1,00 - 0,8	1,00 – 1,24	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 – 0,50	0,8 – 0,6	1,25 – 1,50	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 – 0,30	0,6 – 0,40	1,50 – 1,70	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Alongada	Microbacia com tendência a conservação

Rodrigues et al. (2013) adaptado de Villela e Matos (1975)

### 3.2.2.3. Parâmetros do relevo da microbacia

Os dados do relevo como amplitude altimétrica em metros, que corresponde a diferença entre a maior altitude à montante e a menor altitude à jusante da microbacia (RODRIGUES et al., 2013) foram obtidos de forma automática com ajuda do software ArcGis 10.2 e utilizando como base um modelo digital de elevação para o desenho das curvas de nível a escala 1:10000.

A razão de relevo, segundo Schumn (1956), é a relação entre a diferença de altitude dos pontos extremos da microbacia (H) e o seu maior comprimento (C), que corresponde a direção do vale principal, entre a foz e o ponto extremo sobre a linha do divisor de águas, para seu cálculo manual foi necessário aplicar a seguinte equação.

$$Rr = \left(\frac{H}{C}\right) \quad (6)$$

Onde:

Rr = razão do relevo

H = amplitude altimétrica (m)

C = comprimento da microbacia (m)

Segundo Strahler (1957), a razão de relevo permite comparar a altimetria das regiões, demonstrando que, quanto maiores os valores, mais acidentado é o relevo predominante na região, maior será o escoamento superficial direto (Qds) da água das chuvas, o que reflete numa menor infiltração/deflúvio, provocando erosão. A razão de relevo indica o declive total ou declividade geral da microbacia.

Para a classificação da razão de relevo foi necessário aplicar a classificação proposta por Piedade (1980), que classificou a razão de relevo em três classes: baixa, média e alta, sendo a razão de relevo baixa entre (0 a 0,1), a razão de relevo média entre (0,11 a 0,30) e razão de relevo alta (0,31 a 0,60).

#### **3.2.2.4. Parâmetros da drenagem**

As variáveis obtidas foram das ordens da drenagem, da densidade, do gradiente de canais e da extensão do percurso superficial da enxurrada.



O gradiente de canais segundo Horton (1945), é a relação entre altitude ou cota máxima em m s.n.m. e o comprimento do canal principal em km.

$$Gc\% = \left(\frac{AM}{Ccp}\right) * 100 \quad (7)$$

Onde:

Gc= Gradiente de canais em (%)

AM= altitude máxima (m)

Ccp= comprimento do canal principal (m)

Extensão do percurso superficial segundo, Christofolletti (1978), representa a distância média percorrida em km pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente.

$$Eps = \left(\frac{1}{2}\right) * Dd * 1000 \quad (8)$$

Onde:

Eps= extensão do percurso de enxurrada (m)

Dd= densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

Índice de sinuosidade, segundo Rodrigues et al. (2013), é uma relação entre o comprimento verdadeiro do canal em km (projeção ortogonal) com a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre dois extremos do canal principal.

$$Is = \left(\frac{Ccp}{dv}\right) \quad (9)$$

Onde:

Is= índice de sinuosidade

Ccp= comprimento do canal (m)

dv= distancia vetorial (m)

Segundo Lana (2001), os valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo, valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos e os valores tortuosos indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Sabendo que a sinuosidade dos canais é influenciada pela carga de sedimentos, pela compartimentação litológica, estruturação geológica e pela declividade dos canais.

A ordem da microbacia (W) foi obtida pelo método de classificação, segundo Strahler (1957). A densidade de drenagem (Dd), foi calculada segundo Horton (1945) e corresponde à relação entre o comprimento total de rios da bacia e a sua respectiva área, sendo expressa em km de rios/km<sup>2</sup>. A densidade de drenagem foi classificada segundo França (1968) em: baixa (< 1,5), média (1,5 a 2,5) e alta (> 2,5) de acordo à Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores e a interpretação dos resultados da densidade de drenagem (Dd)

Dd (valores)	Interpretação Ambiental	Interpretação ambiental da microbacia
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,50 – 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial.
2,5 – 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas.
> 3,0	Super-alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão.

Rodrigues et al., (2013) Adaptado de: Horton (1945), Strahler (1957), França (1968)

### 3.3. Umidade e armazenamento de agua do solo

Para a determinação da umidade do solo, foram necessárias 80 amostras indeformadas, coletadas mensalmente em quatro trincheiras, com 1 m de profundidade cada uma, em quatro estratos de cobertura do solo: floresta, pastagem, cultura de pinus e cultura de pinhão manso.

As amostras foram coletadas com anéis volumétricos, em sentido vertical em cada trincheira. As camadas para coleta de amostras foram de 5 cm, 30 cm, 50 cm, 80 cm e 100 cm, cada faixa com quatro repetições, o processo de coleta se apresenta na Figura 5.



Figura 5. Processo para coleta de amostras de solo em trincheira.

Após a retirada das amostras no campo, os anéis foram identificados com data e código e levados imediatamente para pesagem, onde se registrou seu peso úmido, depois de ficar por 72 horas na estufa a 105°C e quando as amostras estavam completamente secas foi registrado o peso seco para os diferentes cálculos.

As variáveis do solo foram obtidas de acordo com o Manual de Métodos de Análise do Solo-EMBRAPA (1997).

a) Umidade do solo

$$U_{bs}\% = \frac{mu - ms}{ms} \cdot 100 \quad (10)$$

Onde:

$U_{bs}\%$  = umidade do solo (%);

$\mu$  = massa do solo úmido (g);

$m_s$  = massa do solo seco (g).

b) Umidade do solo a base de volume:

$$\theta = \rho \cdot U \quad (11)$$

Onde:

$\theta$  = umidade do solo a base de volume do solo ( $\text{cm}^3$  de  $\text{H}_2\text{O}$  /  $\text{cm}^3$  solo)

$\rho$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$U$  = umidade a base de solo seco (%)

c) Densidade do solo:

$$\rho = \frac{m_s}{V} \quad (12)$$

Onde:

$\rho$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_s$  = massa do solo seco (g)

$V$  = volume total do solo ( $\text{cm}^3$ )

d) Densidade das partículas do solo:

$$\rho_p = \frac{m_s}{V_s} \quad (13)$$

Onde:

$\rho_p$  = densidade das partículas do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$m_s$  = massa do solo seco (g)

$V_s$  = volume das partículas ( $\text{cm}^3$ )

e) Porosidade total do solo:

$$P_s = 1 - \left( \frac{\rho}{\rho_p} \right) \times 100 \quad (14)$$

Onde:

$P_s$  = porosidade do solo (%)

$\rho$  = densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_p$  = densidade das partículas do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

f) Quantificação e armazenamento de água no solo:

$$\Delta S = (\theta \cdot h) \cdot 10 \quad (15)$$

Onde:

$\Delta S$  = armazenamento de água no solo (mm)

$\theta$  = umidade do solo a base de volume do solo ( $\text{cm}^3$  de  $\text{H}_2\text{O}$  /  $\text{cm}^3$  solo)

$h$  = altura do perfil do solo (cm)

g) Quantificação e armazenamento de água no solo nas camadas profundas:

$$\Delta S_3 = \frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3}{3} h_3 * 10 \quad (16)$$

As informações obtidas do armazenamento de água no solo foram processadas de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3.** Registro de dados para obtenção do armazenamento de água no perfil do solo

Profundidade (cm)	Amostra	U (g)	U <sub>bs</sub> (%)	U <sub>bs</sub>	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\Theta$ (cm <sup>3</sup> )	$\Delta s$ (mm)	$\Delta s$ Perfil (mm)
	A1							
	A2							
	A3							
	A4							
	Média							

Fonte: Rodrigues et al. (2013)

### 3.4. Estimativa do potencial de erosão do solo com auxílio da RUSLE

Para obtenção dos fatores do modelo RUSLE foram utilizados dados de precipitação da estação meteorológica da Fazenda São Manuel, localizada na proximidade da microbacia (ver Apêndice 2). Também foi necessário um levantamento do uso do solo em cada uma das coberturas floresta, pastagem, plantio de Pinus e cultura de pinhão manso. As amostras de solos para obtenção dos fatores do modelo RUSLE foram porções de terra deformada coletada com trado nas camadas de 0-20 e 30-50 cm com 24 amostras em total.

As análises física e química do solo foram realizadas no Laboratório, e se apresentam no apêndice 1.

#### 3.4.1. Erosividade da chuva (Fator R)

A erosividade foi calculada nas estações do ano, verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril e maio), inverno (junho, julho e agosto) e primavera (setembro, outubro e novembro). Para o cálculo foi necessária uma série histórica de valores médios mensais de precipitação de 42 anos 1971 até 2012 (Apêndice 3).

Para o cálculo da média mensal do índice de erosão aplicou-se a fórmula proposta por Lombardi e Moldenhauer (1992).

$$EI = 68,730 \left( \frac{p^2}{P} \right)^{0,841} \quad (17)$$

Onde:

EI= média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>

P = precipitação média mensal, em milímetros;

p = precipitação média anual, em milímetros.

### 3.4.2. Erodibilidade do solo (Fator K)

O fator de erodibilidade do solo (k) foi calculado segundo os procedimentos propostos por Mannigel et al. (2002).

$$K = \left( \frac{K_t K_0 + K_s + K_p}{100} \right) \quad (18)$$

Onde:

K= erodibilidade expressa em t.ha.h..MJ.ha<sup>-1</sup>.h.mm<sup>-1</sup>

k<sub>t</sub> = K<sub>tb</sub> = subfator textura;

$$K_{tb} = \frac{2.1[(P_{sl} + P_{vfs})(100 - P_{cl})]^{1.14}}{10000} \quad (19)$$

Se  $P_{sl} + P_{vfs} \leq 68\%$

P<sub>sl</sub> = percentagem de silte, P<sub>vfs</sub> = percentagem de areia muito fina com base no total das partículas do solo primário e não apenas a parte do teor de areia, e P<sub>cl</sub> = percentagem de argila.

K<sub>o</sub> = subfator matéria orgânica;

$$K_0 = 12 - O_m \quad (20)$$

O<sub>m</sub> = percentagem de matéria orgânica do solo.

K<sub>s</sub>) = subfator estrutura;

$$K_s = 3.35(s_s - 2)$$

$$\text{se } K_t K_o + K_s \geq 7 \quad (21)$$

$$K_t K_o + K_s = 7 \quad \text{se } K_t K_o + K_s < 7 \quad (22)$$

$S_s$  = Classe de estrutura do solo

$K_p$ ) = subfator permeabilidade;

$$K_p = 2.5(P_r - 3) \quad (23)$$

$P_r$  = permeabilidade do perfil do solo

Para a classificação dos índices de erodibilidade em t/ha/h/MJ.ha<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>, utilizou-se a tabela proposta por Carvalho (1994).

Tabela 4. Classificação dos índices de erodibilidade

Classes temáticas	Intervalos de valores
Alta	>0,3
Média	0,15 – 0,30
Baixa	<0,15

### 3.4.3. Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)

O fator LS foi calculado a partir de mapas de declividade e comprimento de rampa utilizando os sistemas de informação geográfica. Para calcular L (comprimento da rampa) foi necessário utilizar as equações propostas por McCool et al. (1989), o valor do expoente do comprimento de rampa  $m$  considera a relação entre a erosão em sulcos e a erosão entressulcos e sua determinação é mediante a seguinte equação.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (25)$$



Onde:

$m$  = expoente do comprimento de rampa.

$\beta$  = relação de erosão em sulcos e erosão entressulcos.

O expoente  $m$  aproxima-se a zero quando a erosão entressulcos predomina

O expoente aproxima-se a 1 quando a erosão em sulcos prevalece.

Quando a taxa de erosão entressulcos é semelhante à taxa de erosão em sulcos,  $m = 0,5$ .

Segundo McCool et al. (1989) o cálculo da relação de erosão em sulcos e entressulcos  $\beta$  de acordo com a declividade pode ser determinado a partir da seguinte equação.

$$\beta = \frac{\frac{\text{sen}\theta}{0,0896}}{3 * \text{sen}\theta^{0,8} + 0,56} \quad (26)$$

Onde:

$\theta$  = declividade do terreno, em graus.

O efeito da topografia sobre a erosão do solo na RUSLE apresenta dois componentes: o fator de comprimento de rampa ( $L$ ) e o fator de declividade ( $S$ ). O fator  $L$  foi calculado utilizando-se o conceito de área de contribuição segundo Desmet e Govers (1996) através da expressão:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{(i,j-i,n)} + D^2)^{m+1} - (A_{(i,j-in)})^{m+1}}{(X_{(i,j)})^m * D^{m+2} * (22,13)^m} \quad (27)$$

Onde:

$L_{i,j}$  = fator de comprimento de rampa para a coordenada  $i,j$

$A_{(i,j-i,n)}$  = área de contribuição unitária de uma célula;

$D$  = tamanho do pixel;

X = Fator de correção para forma;

M = expoente do fator L,

$$X_{i,j} = (\text{sen } \theta_{i,j} + \text{cos } \theta_{i,j}) \quad (28)$$

Onde:

$\theta$  = ângulo da direção do fluxo em relação ao Norte nas coordenadas i,j

De acordo com McCool et al. (1987) o fator S (declividade) é determinado para as seguintes equações, de acordo com a declividade da encosta S, expresso em porcentagem.

$$S = 10,8 * \text{sen } \theta + 0,3 \text{ ----- quando } s < 9 \% \quad (29)$$

$$S = 16,8 * \text{sen } \theta - 0,5 \text{ ----- quando } s \geq 9 \% \quad (30)$$

Onde:

$\theta$  é o gradiente de declive expressado em porcentagem (%) e se for do gradiente do declive.

#### 3.4.4. Uso e manejo do solo (Fator C)

Para mapear o Fator C da microbacia do córrego Pimenta, foi necessário gerar um mapa de uso e cobertura do solo, com apoio das imagem gratuitas do Google Earth datadas do 2010, que foram georeferenciadas com ajuda de software especializado (ArcGis), para finalmente obter cada cobertura de solo, presente na microbacia. Com a informação da cobertura foram adotados os valores de uso e manejo do solo segundo a literatura citada por Wischmeier e Smit (1978) e obtidos por Donzelli et al. (1992), Angima et al. (2003), Silva et al. (2010), cujos resultados se apresentam na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores do fator C (uso e manejo do solo)

Culturas/cobertura vegetal	Valores de C	Observações
Solo exposto <sup>1</sup>	1,0	Sem manejo
Soja <sup>2</sup>	0,2086	Convencional
Milho <sup>2</sup>	0,0821	Com restos incorporados
Mandioca <sup>2</sup>	0,7678	Convencional
Café <sup>2</sup>	0,05	Entrelinha vegetada
Cana-de-açúcar <sup>2</sup>	0,1	Sem manejo
Cana-de-açúcar <sup>2</sup>	0,05	Incorporação da palha
Banana <sup>3</sup>	0,122	-
Reflorestamento (Eucalyptus) <sup>4</sup>	0,047	Corte a cada 7 anos
Mata nativa/Vegetação ciliar <sup>4</sup>	0,0004	-
Pastagem <sup>4</sup>	0,05	Degradada
Pastagem <sup>4</sup>	0,01	Sem manejo
Pastagem <sup>4</sup>	0,001	Com manejo
Fruticultura <sup>5</sup>	0,135	Pomares formados

Fonte: <sup>1</sup>Wischmeier e Smith (1978); <sup>2</sup>Donzelli et al. (1992); <sup>3</sup>Angima et al. (2003); <sup>4</sup>Silva et al. (2010); <sup>5</sup>Valor atribuído por Silva et al. (2010) à cultura de citros.

### 3.4.5. Práticas conservacionistas (Fator P)

O fator P determinado pela existência ou ausência de práticas de conservação, para a microbacia do córrego Pimenta foi determinado utilizando o mapa de uso e cobertura do solo e comparando cada uso com as tabelas de práticas de conservação sistematizadas por Bertoni e Lombardi (2005), que foram determinadas por Marques et al. (1961), em parcelas experimentais, como se apresenta na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valor do fator P para algumas práticas conservação

Práticas de conservação	Inclinação do terreno (%)			
	2 - 7	8 - 12	13 - 18	19 - 24
Plantio morro abaixo	1,0	1,0	1,0	1,0
Plantio em nível ou terraço	0,5	0,6	0,8	0,9
Cordões de vegetação permanente	0,25	0,30	0,40	0,45
Terraceamento	0,10	0,12	0,16	0,18

Fonte: Righueto (1998)

As práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternâncias de capinas.

Para as áreas de plantio em curvas de nível presentes na microbacia, utilizou-se a equação proposta por Lombardi Neto (2005).

$$P = 0,69947 - 0,08991 * S + 0,01184 * S^2 - 0,000335 * S^3 \quad (31)$$

Onde:

P = fator de práticas de conservação.

S = declividade do terreno, em porcentagem.

Em declividades < de 5% foram assumidos valores de P=0,6.

Em declividades > de 20% foram assumidos valores de P=1, considerando que em declividades acima deste limiar, o plantio em nível não contribui para a redução da perda de solo por erosão.

### 3.4.6. Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE), da microbacia pimenta foi obtido mediante um processo de álgebra de mapas em Arcgis, com planos de informação como Erosividade, Erodibilidade e fator LS (comprimento da rampa e declividade), de acordo com Donzelli et al. (1992):

$$PNE = R * K * LS \quad (32)$$

Onde:

PNE = Potencial natural de erosão, expresso em t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>

R= Fator da erosividade da chuva, expresso em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>

K = Fator de erodibilidade do solo expresso t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>

LS= Comprimento de rampa e declividade

A estimativa de perda de solo total da RUSLE na microbacia pimenta foi obtida mediante um processo de álgebra de mapas em ArcGis, cujos planos de informação formato raster foram PNE, fator C (uso e cobertura do solo) e fator P (práticas de conservação).

$$A = PNE * C * P \quad (33)$$

Para obter os diferentes fatores da RUSLE da microbacia, foram determinados os diferentes graus de erosão, conforme a classificação proposta por Carvalho (1994), como se descreve na tabela 7.

**Tabela 7.** Ocorrência de graus de erosão hídrica, segundo Carvalho (1994).

Perda de solo $\text{Tha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$	Grau de erosão
< 10	Nula a moderada
10 - 50	Média
50-200	Média a forte
>200	Muito forte

Fonte: Carvalho, (1994)

### 3.5. Análise estatística dos resultados

Os resultados analisados estatisticamente foram aos relacionados com a umidade e armazenamento de água no solo, comparando cada cobertura e em profundidade. Para observar as diferenças aplicou-se a análise de variância (ANOVA), no programa Infostat versão livre, com o teste Tukey, com o 5 % de significância.

## 4. Resultados e discussão

### 4.1. Caracterização morfométrica da microbacia

#### 4.1.1. Parâmetros dimensionais da microbacia

Os parâmetros dimensionais analisados para a caracterização morfométrica da microbacia foram área, perímetro, comprimento axial e largura média. Na Tabela 8, se apresentam os resultados.

**Tabela 8.** Parâmetros dimensionais analisados na morfometria da microbacia

Parâmetro	Valor	Unidade
Área	1,83	km <sup>2</sup>
Perímetro	5,40	km
Cumprimento axial	1,80	km
Largura média	1,02	km

De acordo com a Tabela 8 a área total da microbacia é de 1,83 km<sup>2</sup>, seu perímetro de 5,4 km o comprimento axial como a maior longitude desde a saída da microbacia até a divisória é de 1,8 km e largura média de 1,02 km. Estes valores indicam que a microbacia apresenta uma forma alongada, com facilidade de fluxo superficial da água chuva.

#### 4.1.2. Características morfométricas da microbacia.

As características morfométricas da microbacia analisadas foram fator de forma (Ff), Índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc). Na Tabela 9 se apresentam os resultados.

**Tabela 9.** Características geométricas da microbacia

Características do relevo da microbacia	Valor
Fator de Forma (Ff)	0,56
Índice de circularidade (Ic)	0,78
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,12

De acordo com a Tabela 9, das características geométricas, da microbacia apresenta-se um fator de forma 0,56, o índice de circularidade 0,78 e um coeficiente de compacidade de 1,2, o que significa segundo Villela e Matos (1975) que a microbacia tem uma forma ovalada com tendência mediana-alta a enchentes.

#### 4.1.3. Características do relevo da microbacia

As características do relevo da microbacia analisadas foram declividade (D), altitude média (Hm), maior altitude (HA) e menor altitude (mA). Na Tabela 10 se apresentam os valores.

**Tabela 10.** Características altitudinais da microbacia do córrego Pimenta

Características do relevo declividade e altitude	Valor
Altitude média (Hm)	787,3
Maior altitude (MA)	838,9
Menor altitude (mA)	735,8

A microbacia tem a menor altitude (mA) em 735 m s.n.m. e a maior altitude (MA) em 838 m s.n.m. tendo assim uma amplitude altimétrica de 103 m em 1,8 km de comprimento axial, esta característica gera uma declividade média de 5,7 %. A maior área com 112,5 ha (61 %) encontra-se em um entre 748 e 793 m s.n.m,

#### 4.1.4. Padrão da Rede de Drenagem

Os parâmetros analisados foram de ordem, densidade de drenagem, gradiente de canais, extensão do percurso superficial da enxurrada, razão de textura, índice de sinuosidade dos canais. Os resultados se apresenta na Figura 6 e Tabela 11.

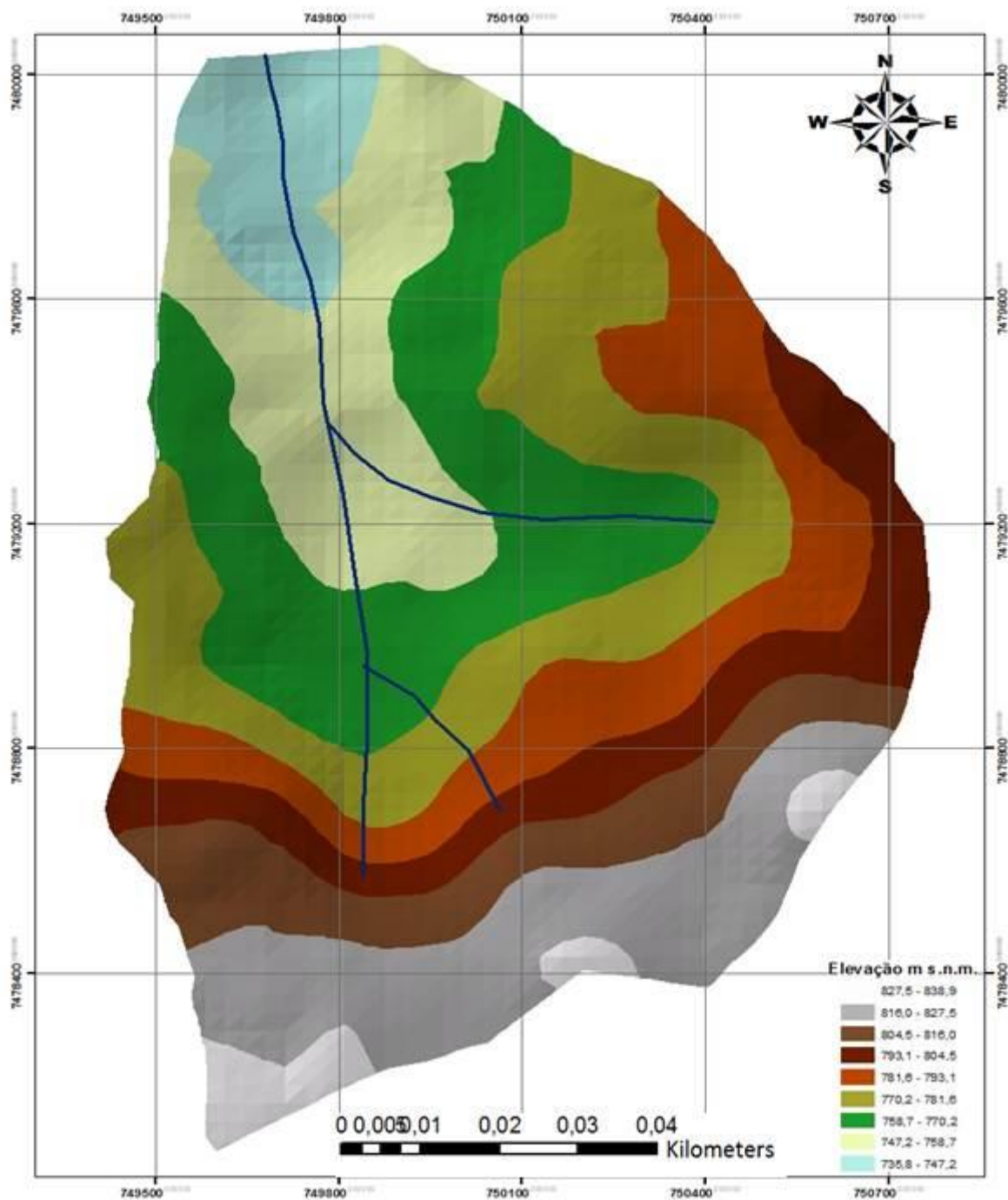


Figura 6. Rede de drenagem da microbacia do córrego Pimenta



**Tabela 11.** Parâmetros da rede de drenagem analisados na microbacia do córrego Pimenta

Características da drenagem	Unidade	Valor
Ordem da microbacia (W)	-	2
Cumprimento total de rios	km	2,9
Densidade de drenagem (Dd)	Km/km <sup>2</sup>	1,6
Extensão do percurso superficial (Eps)	km	1,62
Extensão do percurso superficial (retilíneo)	Km	1,45
Sinuosidade do rio principal	%	10,4
Gradiente de canais	%	69
Índice de sinuosidade	-	1,1

De acordo com os critérios estabelecidos por Strahler (1957), a rede de drenagem da microbacia está classificada em ordem 2, que significa que a microbacia tem poucos tributários para o rio principal. A densidade de drenagem de 1,6 significa que a microbacia tem uma tendência mediana de escoamento superficial. O gradiente de canais indica que a declividade do curso de água é 69, segundo a extensão do percurso superficial de 800 m constituiria a distância média que percorrem as enxurradas antes de encontrar um canal permanente e o índice de sinuosidade do rio principal, segundo Lana (2001), indica que o canal tende a ser retilíneo pelo valor menor que 20.

O análise morfométrica representa que pode-se inferir num preliminar diagnóstico ambiental, sendo que, pela declividade baixa não apresenta riscos de perda do solo pela erosão hídrica, tendo uma tendência a infiltração pela cobertura do solo, baixa densidade de drenagem com poucos tributários e rio principal quase retilíneo, tem menor riscos de enchentes.

## 4.2. Capacidade de armazenamento de água no solo nos quatro tipos de coberturas da microbacia do córrego Pimenta

### 4.2.1 Umidade do solo

Os valores da umidade período janeiro a dezembro 2012 nas quatro coberturas do solo da microbacia Pimenta se apresenta na Tabela 12.

**Tabela 12.** Valores da umidade do solo no período de janeiro a dezembro, 2012, nas quatro coberturas da microbacia do córrego Pimenta.

Cobertura do solo	Profundidade (cm)	Meses de amostragem												Média anual (%)
		Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maió	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
Floresta	5	11,1	11,1	10,8	9,0	8,4	6,9	6,9	6,8	7,8	8,9	9,2	10,5	9,0
	30	11,6	11,2	10,4	8,7	8,8	6,3	6,2	6,4	7,5	8,7	9,3	10,4	8,8
	50	12,4	13,1	11,9	11,1	11,4	9,3	8,6	8,6	10,1	11,6	12,0	11,3	11,0
	80	15,4	15,6	14,8	14,8	13,4	13,2	13,0	13,0	13,8	15,3	15,0	14,6	14,3
	100	18,2	16,9	16,0	15,5	15,3	17,8	10,1	9,1	11,9	16,5	18,2	19,6	15,4
Média		13,7	13,6	12,8	11,8	11,5	10,7	9,0	8,8	10,2	12,2	12,7	13,3	
Pastagem	5	10,2	8,8	7,9	6,5	6,3	6,4	4,4	4,0	5,1	6,9	9,0	9,5	7,1
	30	10,7	10,2	8,0	7,2	7,2	7,9	4,7	5,5	6,3	7,4	9,0	10,9	7,9
	50	12,6	11,1	9,3	8,3	7,8	8,2	8,2	8,3	8,7	8,6	11,3	11,8	9,5
	80	16,2	13,8	14,3	13,1	12,5	12,7	8,2	8,2	11,4	15,2	15,4	16,2	13,1
	80-100	17,6	16,4	14,9	14,2	13,4	14,7	8,6	8,7	11,4	16,0	17,6	17,1	14,2
Média		13,4	12,1	10,9	9,8	9,5	10,0	6,8	6,9	8,6	10,8	12,4	13,1	
Pinus	5	8,3	7,7	6,5	5,8	5,4	6,9	5,6	3,9	5,2	6,4	7,9	8,1	6,5
	30	9,1	7,6	6,3	5,6	5,6	4,6	5,4	5,2	6,0	6,7	8,0	8,8	6,6
	50	11,4	7,8	7,2	7,0	6,4	5,5	6,4	6,6	7,4	8,1	10,7	11,9	8,0
	80	15,5	14,8	14,0	13,1	14,0	11,1	13,7	11,5	13,1	14,8	15,5	17,4	14,1
	100	15,3	14,9	14,8	14,3	14,4	12,4	8,9	8,2	11,9	15,6	16,1	19,6	13,9
Média		11,9	10,6	9,8	9,2	9,2	8,1	8,0	7,1	8,7	10,3	11,6	13,2	
Cultura de pinhão manso	5	6,3	5,8	5,5	5,2	4,3	3,2	1,9	1,9	3,1	4,3	5,5	6,0	4,4
	30	6,7	6,9	6,4	5,6	5,4	4,6	2,8	2,9	4,5	6,2	6,4	7,0	5,5
	50	8,1	8,1	7,8	6,6	6,4	5,0	3,6	3,8	5,8	7,8	8,4	8,8	6,7
	80	8,9	8,3	8,0	7,8	7,3	7,6	4,9	4,8	7,0	8,5	8,6	8,9	7,5
	100	9,1	8,9	8,6	8,4	8,5	6,6	5,2	5,2	8,2	9,2	9,4	9,5	8,1
Média		7,8	7,6	7,3	6,7	6,4	5,4	3,7	3,7	5,7	7,2	7,7	8,0	

As faixas superficiais de 5 e 30 cm de profundidade são as faixas que apresentam a menor umidade volumétrica do solo, com uma média anual de 8,9 % para floresta, 7,5 % para cobertura com pastagem, 6,5 % para cobertura com plantio de Pinus e 4,9 % para a cobertura com cultura de pinhão manso.

Nas camadas profundas 80 – 100 cm pode-se observar que são as faixas que apresentam a maior umidade volumétrica, com uma média anual da amostragem de 14,9 % para floresta, 13,6 % para cobertura com pastagem, 14,0 % para cobertura com plantio de Pinus e 7,8 % para cobertura com cultura de pinhão manso. Destas áreas a cobertura com cultura de pinhão manso e cobertura com pastagem apresentam a menor umidade no solo, e a cobertura com floresta a maior, seguida da cobertura com plantio de Pinus.

Na camada intermedia-na de 50 cm de profundidade, pode-se observar que a umidade volumétrica tem uma média anual de 11,0 % para floresta, 9,5 % para cobertura com pastagem, 8,0 % para cobertura com plantio de Pinus e 6,7 % para cobertura com cultura de pinhão manso.

A cobertura com cultura de pinhão manso e a cobertura com plantio de Pinus apresentam a menor umidade no solo e a cobertura com floresta a maior, seguida da cobertura com pastagem. Os meses de janeiro, fevereiro e março período da estação de verão (20 dezembro - 20 março) são os meses com maior precipitação do ano (Ver Apêndice 3), onde o solo atingiu os maiores valores da umidade e de armazenamento de água. Na Figura 7, se observa a umidade do solo nos quatro tipos de cobertura.

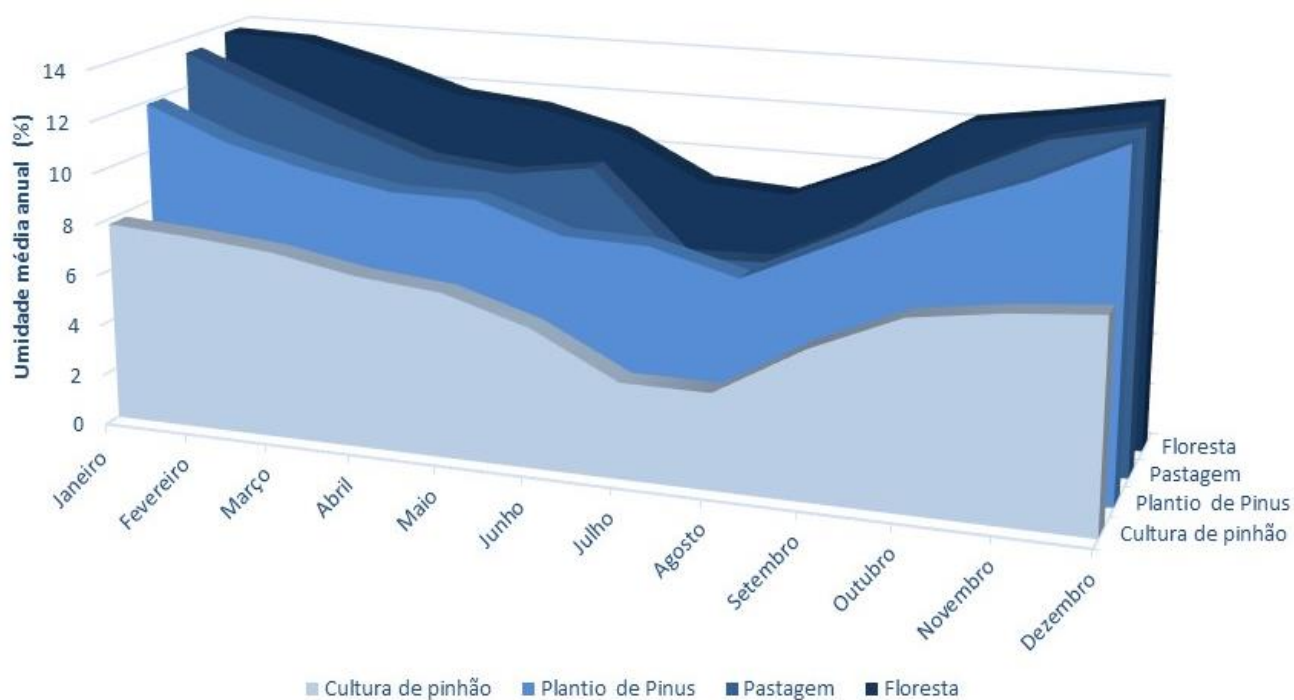


Figura 7. Umidade média anual do solo, nos quatro tipos de cobertura da microbacia.

De acordo com a Figura 7, a primeira camada em cobertura com floresta na faixa superficial de até 30 cm de profundidade tem uma umidade de 8,9 %, estes valores vão diminuindo, conforme muda a cobertura e uso de solo, tendo que, de floresta para pastagem com construção terraços, ocorre uma perda de 1,4 % de umidade, e de floresta para plantio de Pinus de 20 anos, uma perda de 2,4 % da umidade no solo, e na área de floresta e cultura de pinhão tem o valor mais alto de perda de umidade, com 4,0 %.

De acordo com Tucci (1997), nos diferentes estados de umidade do solo na condição em que a bacia está com floresta, a disponibilidade de umidade do solo mostram a variação sazonal em profundidades superiores a 2 m e é mais acentuada na floresta porque as árvores retiram a umidade em profundidades superiores a 3,6 m.

Estes valores de umidades obtidos são concordantes com os valores apresentados por Rodrigues et al. (2012), num estudo da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis* onde verificou que os maiores teores de umidade estão na camada

profunda, os teores encontrados foram 13,5 % de umidade e para a camada de 60 a 100 cm e para a camada superficial de 0 a 20 cm 12,3 % de umidade.

De acordo com Rodrigues et al. (2013), em um estudo onde quantificou-se a água no solo com uma cobertura de seringueira, verificou-se que a umidade média na profundidade 0 a 100 cm é de 27,1 % para uma área de mata ciliar e de 6,47 % para o resto da microbacia. Segundo o autor, a área de mata ciliar por se encontrar perto do rio apresenta maiores teores de umidade no solo.

#### 4.2.2. Armazenamento de água no solo na microbacia

O armazenamento de água no solo, nas coberturas de floresta, pastagem, plantio de Pinus e cultura de pinhão manso pode ser observado na Tabela 13, e se apresenta os valores do período janeiro a dezembro 2012.

**Tabela 13.** Armazenamento da água na microbacia do córrego Pimenta.

Tipo de cobertura	Profundidade (cm)	Ubs	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\theta$	$\Delta s$ volumétrico (mm)	$\Delta s$ no perfil (mm)	Ubs	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\theta$	$\Delta s$ volumétrico (mm)	$\Delta s$ no perfil (mm)
		Janeiro					Fevereiro				
Floresta	5	0,11	1,51	0,166	6,64	8,31	0,11	1,48	0,163	6,51	8,14
	30	0,11	1,50	0,165	6,62	49,67	0,11	1,52	0,170	6,65	49,85
	50	0,12	1,72	0,206	7,43	92,85	0,13	1,54	0,200	7,39	92,44
	80	0,15	1,80	0,270	9,53	190,56	0,15	1,77	0,266	9,31	186,28
	100	0,18	1,68	0,302	11,45	286,20	0,16	1,78	0,285	11,01	275,15
Pastagem	5	0,10	1,54	0,154	9,13	7,70	0,08	1,57	0,126	8,21	6,28
	30	0,10	1,61	0,161	6,30	47,25	0,10	1,60	0,160	5,71	42,84
	50	0,12	1,67	0,200	7,23	90,35	0,11	1,58	0,174	6,68	83,45
	80	0,16	1,67	0,267	9,35	187,04	0,13	1,64	0,213	7,74	154,80
	100	0,17	1,61	0,274	10,82	270,45	0,16	1,66	0,266	9,58	239,40
Plantio de Pinus	5	0,08	1,55	0,124	7,95	6,20	0,07	1,64	0,115	7,61	5,74
	30	0,09	1,64	0,148	5,43	40,74	0,07	1,65	0,116	4,61	34,55
	50	0,11	1,47	0,162	6,19	77,33	0,07	1,57	0,110	4,51	56,35
	80	0,15	1,58	0,237	7,97	159,48	0,14	1,70	0,238	6,96	139,16
	100	0,15	1,69	0,254	9,81	245,25	0,14	1,74	0,244	9,63	240,80
Cultura de pinhão manso	5	0,06	1,67	0,100	7,07	5,01	0,05	1,71	0,086	6,58	4,28
	30	0,06	1,74	0,104	4,09	30,69	0,06	1,74	0,104	3,80	28,49
	50	0,08	1,65	0,132	4,73	59,10	0,08	1,69	0,135	4,79	59,90
	80	0,08	1,68	0,134	5,33	106,56	0,08	1,75	0,140	5,50	110,08
	100	0,09	1,70	0,153	5,75	143,70	0,08	1,72	0,138	5,55	138,80
		Março					Abril				
Floresta	5	0,10	1,48	0,148	5,92	7,40	0,08	1,49	0,119	4,77	5,96
	30	0,10	1,54	0,154	6,04	45,30	0,08	1,57	0,126	4,90	36,72
	50	0,11	1,56	0,172	6,51	81,40	0,11	1,58	0,174	5,99	74,85
	80	0,14	1,79	0,251	8,44	168,88	0,14	1,78	0,249	8,46	169,20
	100	0,15	1,77	0,266	10,32	258,05	0,15	1,79	0,269	10,35	258,85
Pastagem	5	0,07	1,58	0,111	7,52	5,53	0,06	1,62	0,097	7,31	4,86
	30	0,07	1,62	0,113	4,48	33,60	0,07	1,65	0,116	4,25	31,91

	50	0,09	1,61	0,145	5,17	64,58	0,08	1,62	0,130	4,90	61,28
	80	0,13	1,65	0,215	7,19	143,76	0,13	1,65	0,215	6,88	137,64
	100	0,14	1,74	0,244	9,16	229,05	0,14	1,72	0,241	9,11	227,65
Plantio de Pinus	5	0,06	1,66	0,100	6,86	4,98	0,05	1,68	0,084	6,50	4,20
	30	0,06	1,66	0,100	3,98	29,88	0,05	1,65	0,083	3,33	24,98
	50	0,07	1,58	0,111	4,20	52,55	0,06	1,58	0,095	3,55	44,33
	80	0,14	1,71	0,239	7,00	140,00	0,13	1,73	0,225	6,39	127,88
	100	0,14	1,74	0,244	9,66	241,50	0,14	1,75	0,245	9,40	234,95
Cultura de pinhão manso	5	0,05	1,71	0,086	6,58	4,28	0,05	1,72	0,086	6,62	4,30
	30	0,06	1,74	0,104	3,80	28,49	0,05	1,76	0,088	3,48	26,10
	50	0,07	1,71	0,120	4,48	56,03	0,06	1,71	0,103	3,81	47,65
	80	0,07	1,75	0,123	4,84	96,88	0,07	1,75	0,123	4,50	90,04
	100	0,08	1,72	0,138	5,20	130,05	0,08	1,73	0,138	5,22	130,45
		Maio					Junho				
Floresta	5	0,08	1,50	0,120	4,80	6,00	0,06	1,49	0,089	3,58	4,47
	30	0,08	1,54	0,123	4,86	36,48	0,06	1,62	0,097	3,73	27,99
	50	0,11	1,54	0,169	5,85	73,15	0,09	1,61	0,145	4,84	60,53
	80	0,13	1,78	0,231	8,02	160,32	0,13	1,75	0,228	7,45	148,96
	100	0,15	1,79	0,269	10,00	249,95	0,17	1,57	0,267	9,89	247,20
Pastagem	5	0,06	1,61	0,097	7,30	4,83	0,06	1,58	0,095	7,23	4,74
	30	0,07	1,63	0,114	4,21	31,61	0,07	1,37	0,096	3,81	28,61
	50	0,07	1,64	0,115	4,58	57,23	0,08	1,54	0,123	4,38	54,78
	80	0,12	1,65	0,198	6,26	125,12	0,12	1,61	0,193	6,33	126,56
	100	0,13	1,73	0,225	8,46	211,45	0,14	1,55	0,217	8,20	205,10
Plantio de Pinus	5	0,05	1,66	0,083	6,16	4,15	0,06	1,64	0,098	6,31	4,92
	30	0,05	1,64	0,082	3,30	24,75	0,04	1,78	0,071	3,39	25,44
	50	0,06	1,61	0,097	3,57	44,65	0,05	1,76	0,088	3,18	39,80
	80	0,14	1,71	0,239	6,72	134,40	0,11	1,87	0,206	5,87	117,48
	100	Ubs%= umidade do solo em %, ρ= densidade do solo, Θ= Umidade de solo em base a volume (cm <sup>3</sup> de h <sub>2</sub> O/cm <sup>3</sup> solo, (g/cm <sup>3</sup> ))									
	100	0,14	1,74	0,244	9,66	241,50	0,12	1,93	0,232	8,75	218,65
Cultura de pinhão manso	5	0,04	1,73	0,069	6,26	3,46	0,03	1,80	0,054	5,71	2,70
	30	0,05	1,77	0,089	3,15	23,66	0,04	1,86	0,074	2,57	19,26
	50	0,06	1,73	0,104	3,85	48,08	0,04	1,78	0,071	2,91	36,40
	80	0,07	1,75	0,123	4,53	90,52	0,07	1,72	0,120	3,83	76,64
	100	0,08	1,73	0,138	5,22	130,45	0,06	1,03	0,062	3,64	91,10
		Julho					Agosto				
Floresta	5	0,06	1,48	0,089	3,55	4,44	0,06	1,48	0,089	3,55	4,44
	30	0,06	1,63	0,098	3,73	27,99	0,06	1,63	0,098	3,73	27,99
	50	0,08	1,65	0,132	4,60	57,45	0,08	1,65	0,132	4,60	57,45
	80	0,13	1,76	0,229	7,22	144,32	0,13	1,76	0,229	7,22	144,32
	100	0,10	1,73	0,173	8,04	200,90	0,09	1,76	0,158	7,74	193,60
Pastagem	5	0,04	1,15	0,046	4,38	2,30	0,04	1,26	0,050	4,18	2,52
	30	0,04	1,13	0,045	1,82	13,68	0,05	1,12	0,056	2,13	15,96
	50	0,08	1,53	0,122	3,35	41,90	0,08	1,53	0,122	3,57	44,60
	80	0,08	1,46	0,117	4,78	95,68	0,08	1,45	0,116	4,77	95,36
	100	0,08	1,60	0,128	4,90	122,40	0,08	1,63	0,130	4,93	123,20
Plantio de Pinus	5	0,05	1,56	0,078	4,12	3,90	0,03	1,59	0,048	3,56	2,39
	30	0,05	1,44	0,072	3,00	22,50	0,05	1,45	0,073	2,40	18,03
	50	0,06	1,45	0,087	3,18	39,75	0,00	1,43	0,000	1,45	18,13
	80	0,13	1,59	0,207	5,87	117,48	0,11	1,62	0,178	3,56	71,28
	100	0,08	1,71	0,137	6,87	171,75	0,08	1,72	0,138	6,32	157,90
Cultura de pinhão manso	5	0,01	1,53	0,015	3,04	0,77	0,01	1,52	0,015	3,06	0,76
	30	0,02	1,68	0,034	0,98	7,34	0,02	1,67	0,033	0,97	7,29
	50	0,04	1,67	0,058	1,84	23,01	0,03	1,63	0,049	1,65	20,58
	80	0,05	1,87	0,090	2,96	59,28	0,04	1,87	0,075	2,47	49,48
	100	0,05	1,55	0,078	3,35	83,63	0,05	1,55	0,078	3,05	76,15
		Setembro					Outubro				
Floresta	5	0,07	1,49	0,104	4,17	5,22	0,08	1,50	0,120	4,80	6,00
	30	0,07	1,60	0,112	4,33	32,45	0,08	1,58	0,126	4,93	36,96
	50	0,10	1,61	0,161	5,46	68,25	0,11	1,58	0,174	6,00	75,05
	80	0,13	1,77	0,230	7,82	156,44	0,15	1,78	0,267	8,82	176,32
	100	0,11	1,38	0,152	7,64	190,95	0,16	1,79	0,286	11,07	276,70
Pastagem	5	0,05	1,04	0,052	4,08	2,60	0,06	1,62	0,097	7,67	4,86

	30	0,06	1,96	0,118	3,39	25,44	0,07	1,66	0,116	4,27	32,01
	50	0,08	1,51	0,121	4,77	59,60	0,08	1,62	0,130	4,92	61,45
	80	0,11	1,14	0,125	4,92	98,48	0,15	1,65	0,248	7,54	150,84
	100	0,11	1,31	0,144	5,39	134,71	0,16	1,71	0,274	10,42	260,55
Plantio de Pinus	5	0,05	1,63	0,082	4,51	4,08	0,06	1,68	0,101	7,49	5,04
	30	0,05	1,54	0,077	3,17	23,78	0,06	1,64	0,098	3,98	29,88
	50	0,07	1,50	0,105	3,64	45,50	0,08	1,58	0,126	4,50	56,20
	80	0,13	1,67	0,217	6,44	128,84	0,14	1,73	0,242	7,37	147,44
	100	0,11	1,23	0,135	7,05	176,20	0,15	1,75	0,263	10,09	252,35
Cultura de pinhão manso	5	0,03	1,13	0,034	3,38	1,70	0,04	1,73	0,069	6,63	3,46
	30	0,04	1,21	0,048	1,65	12,35	0,06	1,75	0,105	3,48	26,13
	50	0,05	1,17	0,059	2,14	26,73	0,07	1,70	0,119	4,48	56,00
	80	0,07	1,16	0,081	2,79	55,88	0,08	1,74	0,139	5,16	103,28
	100	0,08	1,94	0,155	4,73	118,20	0,09	1,72	0,155	5,88	147,00
		Novembro					Dezembro				
Floresta	5	0,09	1,53	0,138	5,51	6,89	0,10	1,51	0,151	6,04	7,55
	30	0,09	1,56	0,140	5,56	41,72	0,10	1,55	0,155	6,12	45,90
	50	0,11	1,73	0,190	6,61	82,68	0,11	1,73	0,190	6,91	86,33
	80	0,15	1,80	0,270	9,21	184,12	0,14	1,80	0,252	8,85	176,92
	100	0,18	1,68	0,302	11,45	286,20	0,19	1,68	0,319	11,42	285,60
Pastagem	5	0,08	1,54	0,123	8,51	6,16	0,09	1,54	0,139	9,16	6,93
	30	0,08	1,61	0,129	5,04	37,80	0,10	1,58	0,158	5,93	44,49
	50	0,11	1,67	0,184	6,25	78,13	0,11	1,65	0,182	6,79	84,88
	80	0,15	1,68	0,252	8,71	174,28	0,16	1,67	0,267	8,97	179,48
	100	0,17	1,61	0,274	10,51	262,85	0,17	1,61	0,274	10,82	270,45
Plantio de Pinus	5	0,07	1,55	0,109	7,64	5,43	0,08	1,55	0,124	7,95	6,20
	30	0,07	1,65	0,116	4,48	33,60	0,08	1,64	0,131	5,10	38,28
	50	0,10	1,52	0,152	5,35	66,88	0,11	1,48	0,163	5,88	73,50
	80	0,15	1,58	0,237	7,78	155,60	0,17	1,56	0,265	8,56	171,20
	100	0,16	1,68	0,269	10,12	252,90	0,19	1,66	0,315	11,61	290,30
Cultura de pinhão manso	5	0,05	1,67	0,084	7,05	4,18	0,05	1,67	0,084	7,98	4,18
	30	0,06	1,74	0,104	3,76	28,19	0,07	1,74	0,122	4,11	30,80
	50	0,08	1,64	0,131	4,71	58,90	0,08	1,64	0,131	5,06	63,25
	80	0,08	1,68	0,134	5,31	106,24	0,08	1,68	0,134	5,31	106,24
	100	0,09	1,70	0,153	5,75	143,70	0,09	1,69	0,152	5,73	143,25
Ubs%= umidade do solo em %, $\rho$ = densidade do solo, $\Theta$ = Umidade de solo em base a volume ( $\text{cm}^3$ de $\text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$ solo, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ))											

De acordo a Tabela 13, pode-se observar que as faixas superficiais de 5 e 30 cm de profundidade são as faixas que apresentam o menor teor de água armazenada no solo, tendo que para uma cobertura com floresta a média anual é 22,25 mm no perfil. Em cobertura com pastagem o armazenamento é 18,5 mm, para cobertura com plantio de Pinus é 16,85 mm e para cobertura com cultura de pinhão manso é de 12,85 mm.

De acordo com Rodrigues et al. (1999), a água no solo com uma cobertura de seringueira, apresentou as maiores variações de umidade do solo, na superfície aproximadamente de 20 cm de profundidade. Nesta faixa superficial, segundo o autor se apresenta a maior dinâmica da água no solo.

De acordo com Gonzalez e Alves (2005), em estudos de armazenamento de água e densidade do solo em três condições de superfície, em um Cambissol gleico de Lugo, Espanha, encontrou-se que maior variação da umidade de ( $0,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para um solo com pastagem de 4 anos de plantado é ( $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) para um solo descoberto, fato explicado pela maior distribuição espacial num solo com cobertura e a menor distribuição do solo sem cobertura onde por se encontrar na área evaporável este último tem maior probabilidade de se evaporar.

Na camada profunda de 80 e 100 cm de profundidade são as faixas que apresentam o maior armazenamento da água no solo (Figura 8), com uma média anual de 209,0 mm para um solo com cobertura de floresta, 176,1 mm para um solo com cobertura de pastagem, 180,6 mm para cobertura com plantio de Pinus e 105,6 mm para cobertura com cultura de pinhão manso.

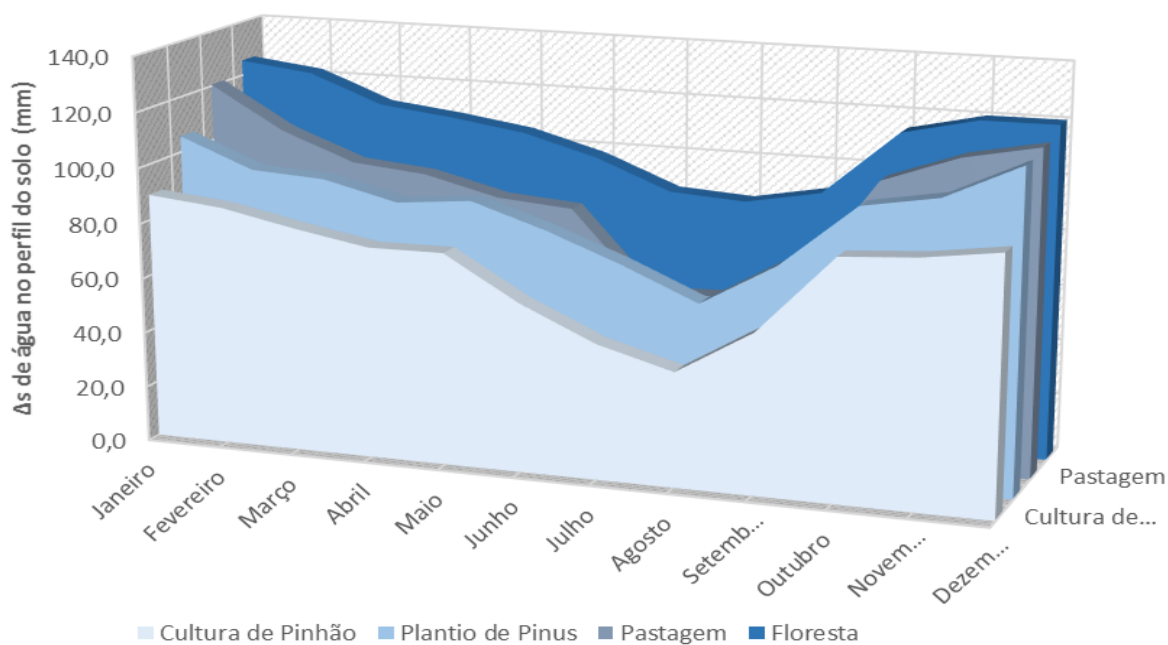


Figura 8. Armazenamento de água no perfil do solo nas quatro coberturas da microbacia.

De acordo com a Figura 8, as áreas com cultura de pinhão manso junto com a cobertura com plantio de Pinus apresentam o menor armazenamento de água



no solo. A cobertura com floresta apresenta o maior teor, seguido da cobertura com pastagem.

Os meses de janeiro, fevereiro e março onde se tem a estação de verão (20 dezembro a 20 março) são os meses com maior precipitação do ano. Estes níveis de precipitação fazem que o solo atinja os maiores valores da umidade e porém de armazenamento da água no solo.

Os meses de junho, julho e agosto, onde apresenta-se a época de seca, se tem o menor número de eventos chuvosos, conseqüentemente, apresenta-se os menores teores de armazenamento de água no solo sendo de 77,06 mm para junho, 62,02 mm para julho e 56,57 mm para agosto. A partir de setembro e com as primeiras precipitações de inverno, o solo aumenta os teores de umidade e o armazenamento de água.

Segundo Rodrigues et al. (2012), em um estudo da estimativa da água no solo em floresta de *Eucalyptus grandis* foi determinado que para o período chuvoso de 2008, o armazenamento de água no perfil do solo até 100 cm foi de 158,7 mm para um solo com cobertura de Eucalyptus e 209,8 mm para um solo descoberto. Para o final do período seco do mesmo ano, o armazenamento foi de 112,4 mm para um solo com cobertura de Eucalyptus e 171,6 mm para um solo descoberto. Os meses de junho e outubro apresentam os valores mais baixos de armazenamento de água no solo, tendo que para a camada profunda de 100 cm são de 152,9 mm e 112,4 mm respectivamente. Para o solo sem cobertura, os teores mais baixos foram encontrados no meses de Outubro e junho com 171,6 e 202,3 mm respectivamente.

A densidade do solo nas quatro coberturas em média foram 1,63 (g/cm<sup>3</sup>) para floresta, 1,59 (g/cm<sup>3</sup>) para pastagem, 1,63 (g/cm<sup>3</sup>) para plantio com pinus e 1,66 (g/cm<sup>3</sup>) para cultura de pinhão manso. De acordo com Camargo e Alleoni (1997) os valores médios considerados ideais estão compreendidos na faixa de 1,0 e 1,2 g/cm<sup>-3</sup> neste caso os maiores valores obtidos na microbacia Pimenta para densidade podem resultar pela degradação por compactação do solo na área de pastagem e o preparo do solo para cultura

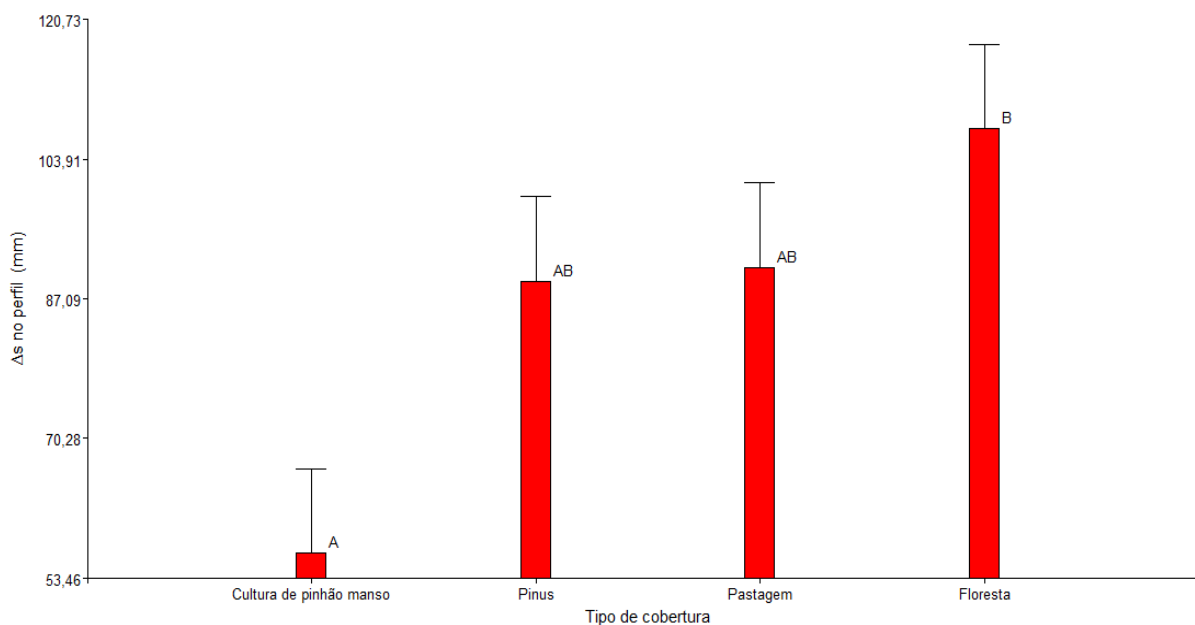
de pinhão. Entretanto, Moraes et al. (2002) descrevem valores de densidade de  $1,43 \text{ g cm}^{-3}$  sob pastagem degradada com baixa cobertura vegetal e valores de 1,23 e  $1,13 \text{ g/cm}^3$  sob pastagens com cobertura vegetal. Prevedello et al. (2007) encontraram valores de densidade na profundidade de 10 a 20 cm, de 1,58; 1,37; 1,32 e  $1,53 \text{ g/cm}^{-3}$  em um solo Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo de Eucalyptus.

Em análise estatístico de variância Tukey com 5 % de erro demonstrou que o solo com cobertura de floresta estatisticamente no apresenta diferenças significativas em armazenamento de água com área de pastagem mas e diferente com área com cultura de pinhão manso. Os dados se apresentam na Tabela 14 e Figura 9

**Tabela 14.** Análise de variância (ANOVA), do armazenamento de água no solo pelo tipo de cobertura

Tipo de cobertura	Médias anuais de armazenamento (%)	Erro (5%)	Test:Tukey
Cultura de pinhão manso	56,52	10,13	A
Plantio de pinus	89,22	10,13	AB
Pastagem	90,88	10,13	A B
Floresta	107,54	10,13	B

Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes Tukey ( $p > 0,05$ )



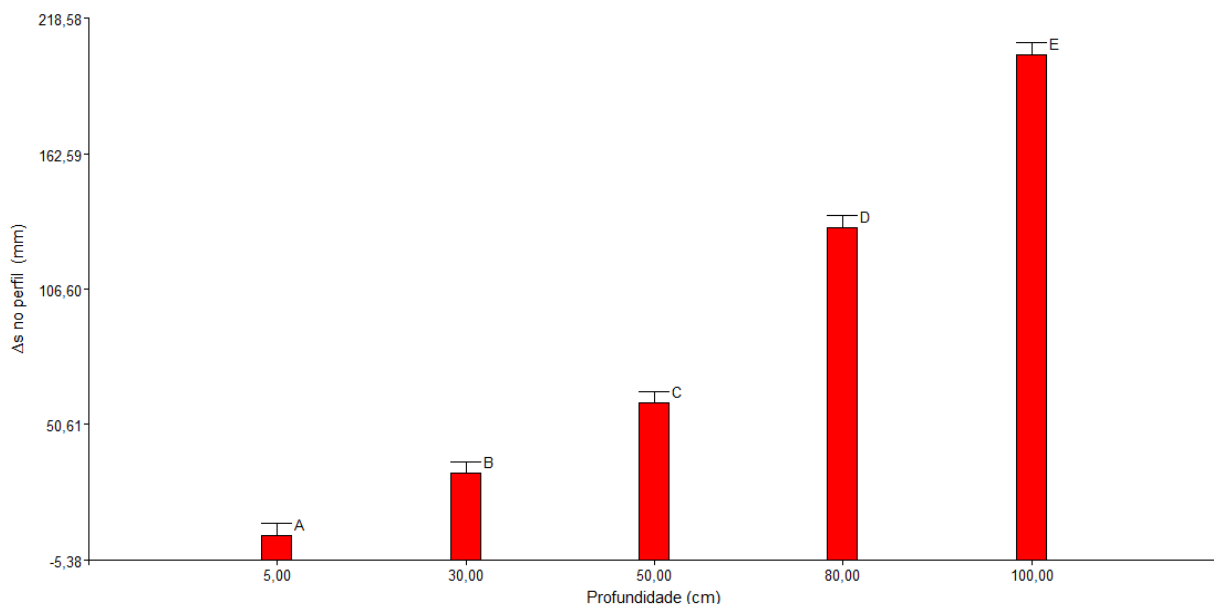
**Figura 9.** Representação gráfica do análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água no solo pelo tipo de cobertura

De acordo com a profundidade o análise de variância (ANOVA) as 5 camadas apresentam diferenças significativas no teor de água do solo. Os dados se apresentam na Tabela 15 e Figura 10

**Tabela 15.** Análise de variância (ANOVA), do armazenamento de água no solo segundo à profundidade do solo

Profundidade (cm)	Médias anuais de armazenamento (%)	Erro (5%)	Test:Tukey
5	4,8	4,92	A
30	30,4	4,92	B
50	59,48	4,92	C
80	132,02	4,92	D
100	203,48	4,92	E

Médias com uma letra comum não são significativamente diferentes Tukey ( $p > 0,05$ )



**Figura 10.** Representação gráfica do análise de variância (ANOVA) do armazenamento de água no solo.

### 4.3. Estimativa da perda do solo com auxílio da RUSLE

#### 4.3.1. Erosividade da chuva (fator R)

Para a erosividade da chuva utilizou-se as precipitações médias mensais de uma série histórica 1971-2012 da estação São Manuel (Ver apêndice 2). Na Tabela 16 se apresenta os valores em MJ mmh<sup>-1</sup>ha.

**Tabela 16.** Erosividade média mensal na microbacia do córrego Pimenta

Mês	Precipitação média mensal (1971-2012 mm)	Erosividade mensal (MJ mmh <sup>-1</sup> ha)	Erosividade mensal acumulada (MJ mmh <sup>-1</sup> ha)	Porcentagem de erosividade (%)	Porcentagem de erosividade acumulada (%)
Janeiro	241,1	1553,9	1553,9	24,0	24,0
Fevereiro	181,1	960,7	2514,5	14,8	38,8
Março	155,4	742,5	3257,0	11,5	50,3
Abril	75,3	219,7	3476,7	3,4	53,7
Mai	82,4	255,4	3732,1	3,9	57,6
Junho	58,4	143,0	3875,0	2,2	59,8

Julho	41,6	80,9	3955,9	1,2	61,1
Agosto	36,5	65,0	4020,9	1,0	62,1
Setembro	77,9	232,6	4253,5	3,6	65,7
Outubro	117,4	463,3	4716,9	7,2	72,8
Novembro	129,7	547,6	5264,5	8,5	81,3
Dezembro	208,1	1213,3	6477,9	18,7	100,0

De acordo com a Tabela 16, os meses de janeiro, fevereiro e março onde se tem a estação de verão (20 dezembro a 20 março), são os meses com maior erosividade do ano 3257,1 MJ mmh<sup>-1</sup>ha, representando 50,3% da erosividade total da microbacia. Estes dados são definidos porque é o mês com a precipitação pico de chuvas do ano, que é janeiro o mês onde ocorrem mudanças rápidas nas condições diárias do tempo, gerando chuvas de curta duração e forte intensidade (IMPE, 2014) apresentando assim condições favoráveis para se produzir erosão laminar por arraste de partículas de solo.

Os meses de outubro, novembro e dezembro, meses da estação de primavera (22 setembro a 20 de dezembro) onde tem começo a época de chuvas apresenta a segunda estação com maior erosividade do ano, tendo assim 2224,2 MJ mmh<sup>-1</sup>ha representando 34,3 % da erosão da microacia, sendo na estação de dezembro o mês com maior erosividade e outubro com o menor valor 463,3 MJ mmh<sup>-1</sup>ha.

Os meses de abril, maio e junho época da estação de outono (20 de março a 20 junho) apresenta a segunda menor época de erosividade com 9,5 % da erosividade da microbacia representando 618,1 MJ mmh<sup>-1</sup>ha sendo junho o mês com menor erosividade da estação com 143 MJ mmh<sup>-1</sup>ha.

Os meses de julho agosto e setembro época da estação de inverno (21 de junho a 21 setembro), apresentam a menor época da erosividade com 5,8 % do total da microbacia tendo 378,5 MJ mmh<sup>-1</sup>ha. Nesta estação, agosto foi o mês com menor erosividade com 65,0 MJ mmh<sup>-1</sup>ha.

O valor total de erosividade 6477,8 MJ mmh<sup>-1</sup>ha da microbacia Pimenta considerada Erosividade Moderada a Forte pela classificação da erosividade das chuvas pelo índice R, segundo Carvalho (2008), modificado para o S.I. métrico de unidades. Na Figura 11 se apresenta a erosividade média mensal em MJ mmh<sup>-1</sup>ha do córrego da microbacia Pimenta e sua relação com a precipitação média mensal.

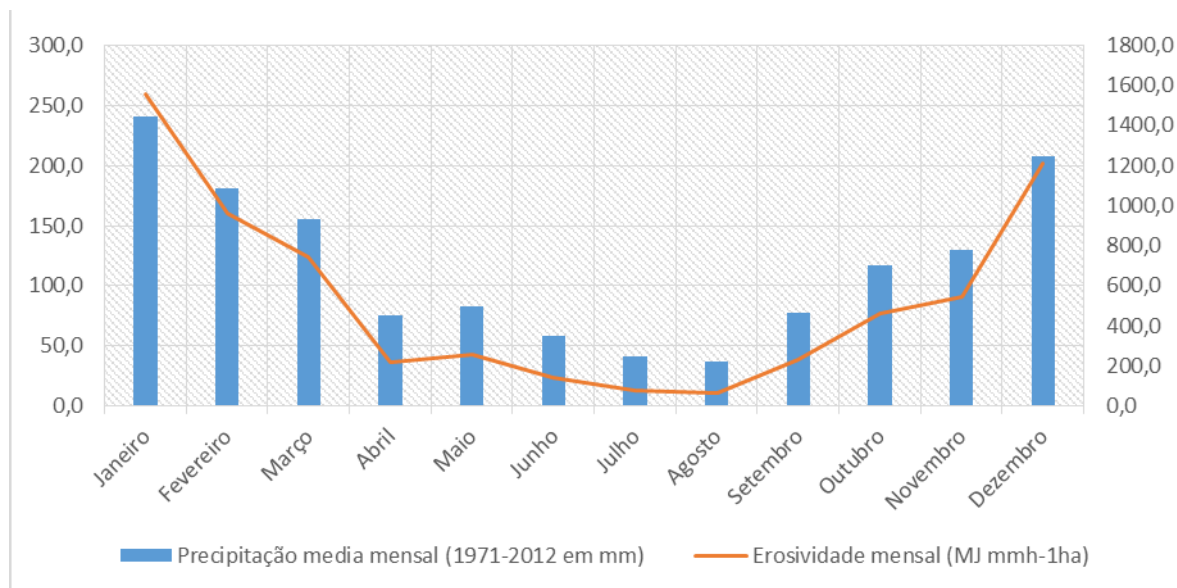


Figura 11. Erosividade média mensal da microbacia do córrego Pimenta

A figura 11 indica haver uma harmonia entre os volumes das precipitações médias mensais e o índice de erosividade média mensal da microbacia Pimenta, o que significa que a intensidade da chuva é a maior agente causando desagregação das partículas de solo que logo são levadas pelo escoamento superficial.

#### 4.3.2. Erodibilidade do solo (fator K)

O fator (k) erodibilidade do solo representa cada tipo de cobertura da microbacia (floresta, pastagem, plantio de Pinus e cultura de pinhão manso) na profundidade de 0 a 50 cm, na Tabela 17 se apresentam os valores.

**Tabela 17.** Erodibilidade do solo de 0 a 50 cm de profundidade nos quatro tipos de cobertura na microbacia do córrego Pimenta.

Tipo de cobertura	$K_t$ $2,1[(\%silte+\%areiafina)(100-\%argila)]^{1,14}/10000$	$K_o$ (12-Mo)	$K_s$ 3,25(Est-2)	$K_p$ 2,5(Per-3)	$K$ $K=k_t+k_o+k_s+k_p/100$
Floresta	3,7	10,4	3,3	2,5	0,059
Pastagem	3,6	10,6	3,3	2,5	0,058
Plantio de Pinus	2,6	11,2	3,3	2,5	0,047
Cultura pinhão manso	3,8	11,3	3,3	2,5	0,064

$K_t$  = Subfator textura,  $K_o$  = Subfator Matéria orgânica,  $K_s$  = Subfator estrutura,  $K_p$  = Subfator permeabilidade,  $K$  = fator erodibilidade.

O solo da microbacia na camada 0 a 50 cm de profundidade e de acordo com a Tabela 17, apresenta uma estreita relação entre o subfator erodibilidade da textura  $K_t$  e seu valor total. O solo que tem cobertura com floresta apresenta o maior valor de  $K_t$  e está relacionado ao conteúdo de areia com 86 % originando um solo com textura arenoso, assim os solos arenosos apresentam maior quantidade de macroporos, o que determina maiores taxas de infiltração em relação aos solos mais argilosos (Bertoni e Lombardi Neto, 2012).

Os teores de argila 7,4 %, e 0,16 % de Mo são muito importantes na hora de reduzir a erodibilidade porquanto evita o deslocamento dos agregados superficiais e aumenta a infiltração, especialmente com precipitações moderadas, para chuvas intensas com altos índices de energia cinética das gotas de chuva em cenários sem interceptação que apresenta a cobertura vegetal provavelmente os baixos conteúdos de argila não logre conter a estrutura do solo e evitar um escoamento superficial. O solo com cobertura de pastagem apresenta o maior teor de argila das quatro coberturas 8,5 % e valores próximos no teor de areia 85,3 % o que faz a diferença neste solo são as construções de terraços em toda a área ajudando assim a manter quase as mesmas condições favoráveis de infiltração que um solo com cobertura de floresta.

O solo com cobertura com plantio de Pinus e cultura de pinhão manso apresentam os menores valores de  $K$  total, mesmo tendo os maiores conteúdos de

areia 90,83 % e 90,92 % respectivamente mas seu teor de Mo fica quase na metade dos teores das outras coberturas 0,08 % e 0,07 % respectivamente e os teores de argila também são menores que as outras coberturas. Assim pode-se observar que a erodibilidade está estreitamente relacionada aos conteúdos de argila e matéria orgânica presentes no solo.

Comparados os valores de K da microbacia Pimenta com os citados na literatura encontra-se que são muito próximos e que enquadra-se em uma erodibilidade para os Latossolos em geral e as diferenças ocorrem principalmente pela composição textural da cada um, assim Lombardi e Bertoni (1975) apresentam um fator K dos horizontes superficiais para Latossolos entre 0,011 e 0,022; em Fujihara (2002), utiliza como referência 0,0175 para os Latossolos em geral; e em Farinasso et al. (2006), que encontrou e utilizou-se o fator K de 0,014 a 0,048 para os Latossolos Vermelhos Distróficos na região do Alto Parnaíba (PI/MA).



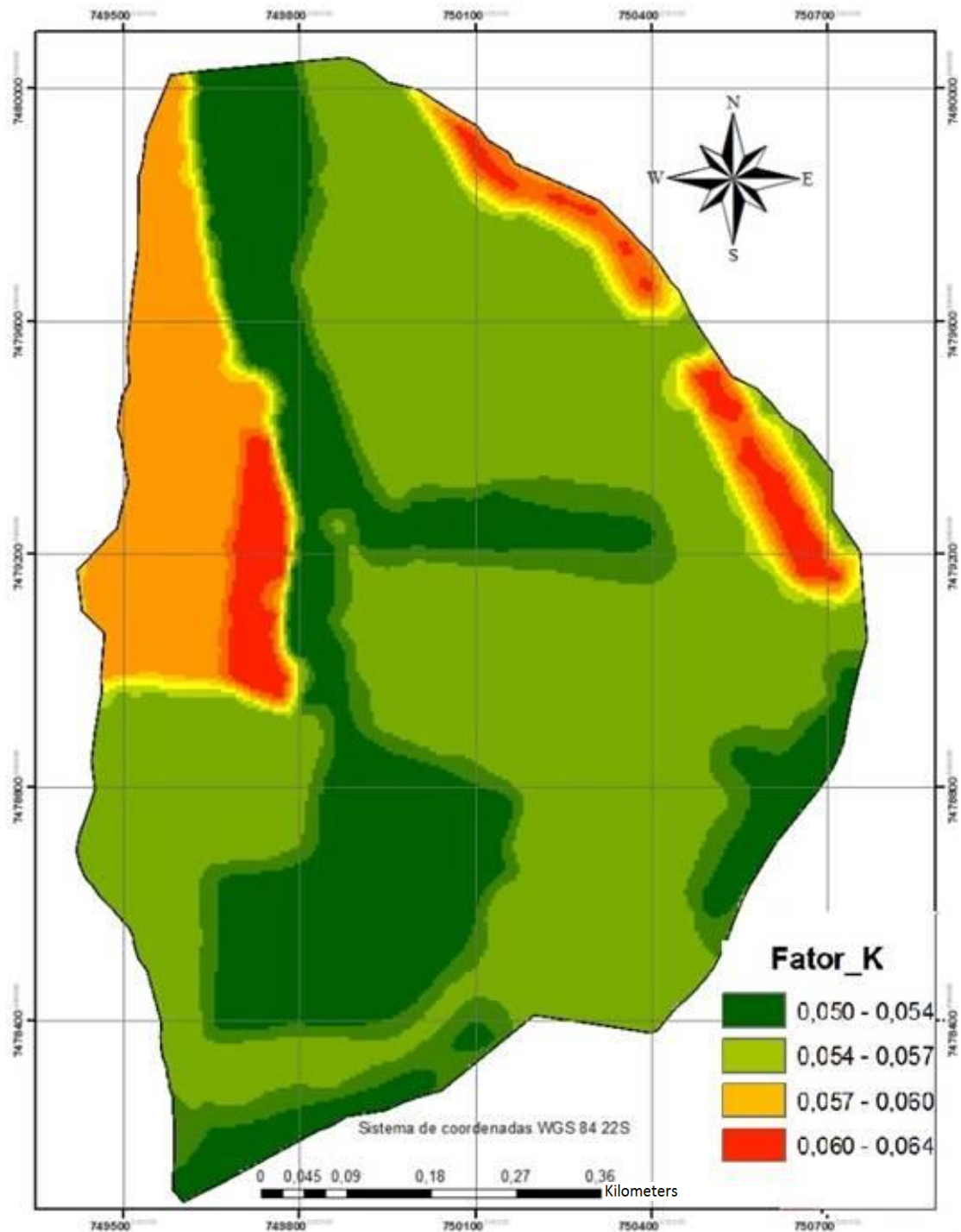


Figura 12. Mapa de erodibilidade na microbacia do córrego Pimenta

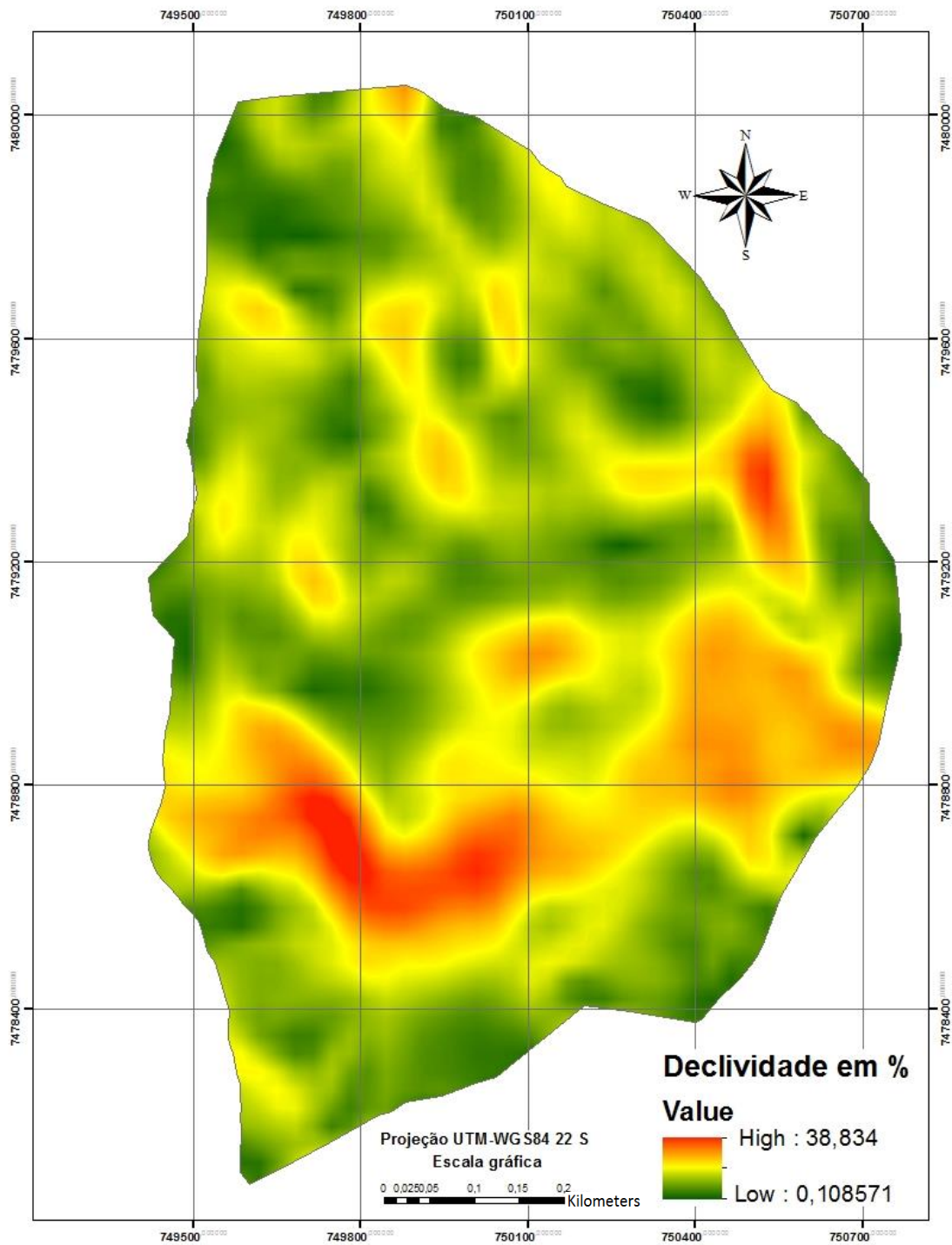


Figura 13. Declividade da microbacia do córrego Pimenta.

#### **4.3.3. Comprimento de rampa e declividade (Fator LS)**

A microbacia tem a menor altitude (mA) de 735 m s.n.m. e a maior altitude (MA) de 838 m s.n.m. dando assim uma variabilidade altitudinal de 103 m em 1,8 km de comprimento axial. A declividade da microbacia se apresenta na Figura 13.

De acordo com a Figura 13 a declividade da microbacia Pimenta vai de 2,6 % nas áreas mais planas até 38,8 % na parte com maior inclinação do relevo, é nesta última classe de declividade onde as águas das chuvas escoam mais rapidamente para as nascentes e canais dos rios causando assim maior erosão e perda do solo em áreas sem cobertura vegetal.

A declividade na microbacia que tem uma classe de 0 – 3 % e segundo Embrapa (1999) representa um relevo de classe plano, esta classe representa o 7,5 % da área total da microbacia, a segunda maior área com 45,6 % da área total da microbacia (83,62 ha) apresenta uma declividade de 3-8 % considerado como um relevo suave ondulado.

A maior classe de declividade situa-se com o 46,2 % (84,79 ha) da área total e apresenta um relevo de classe ondulado de 8-20 %, finalmente a menor área da microbacia (0,8 % da área total) apresenta a maior declividade com uma classe de 20-45 %. Na figura 14 se apresenta o fator LS da microbacia Pimenta.

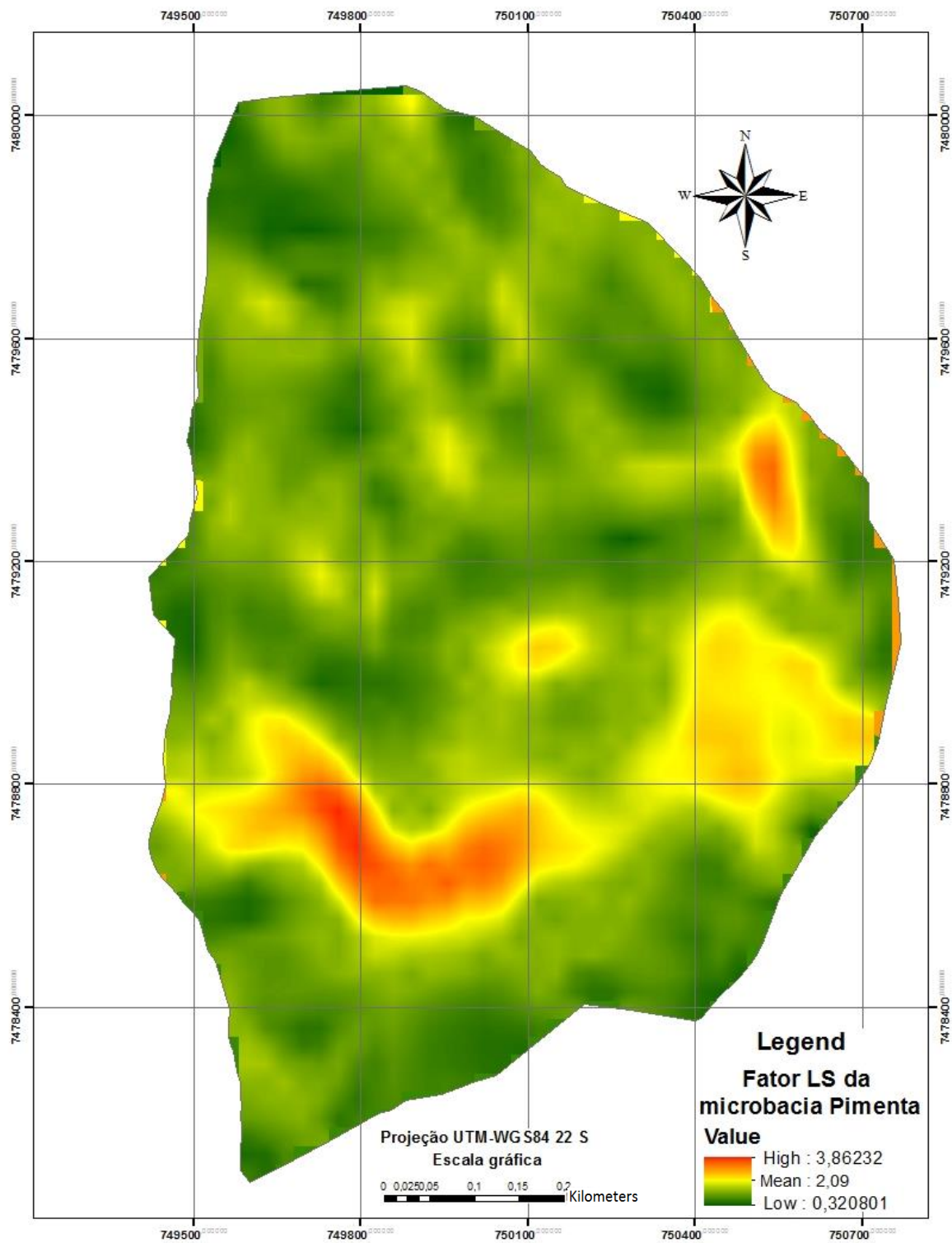


Figura 14: Fator LS da microbacia do córrego Pimenta

#### 4.3.4. Uso e manejo do solo (Fator C)

A microbacia Pimenta apresenta três tipos de uso do solo: plantação (Pinus e Eucalyptus), lavoura e infraestrutura, com respeito a cobertura a microbacia tem três tipos sendo: floresta, mata ciliar e uma área de lagoa. As características de cada um se apresentam na Figura 15 e Tabela 18.

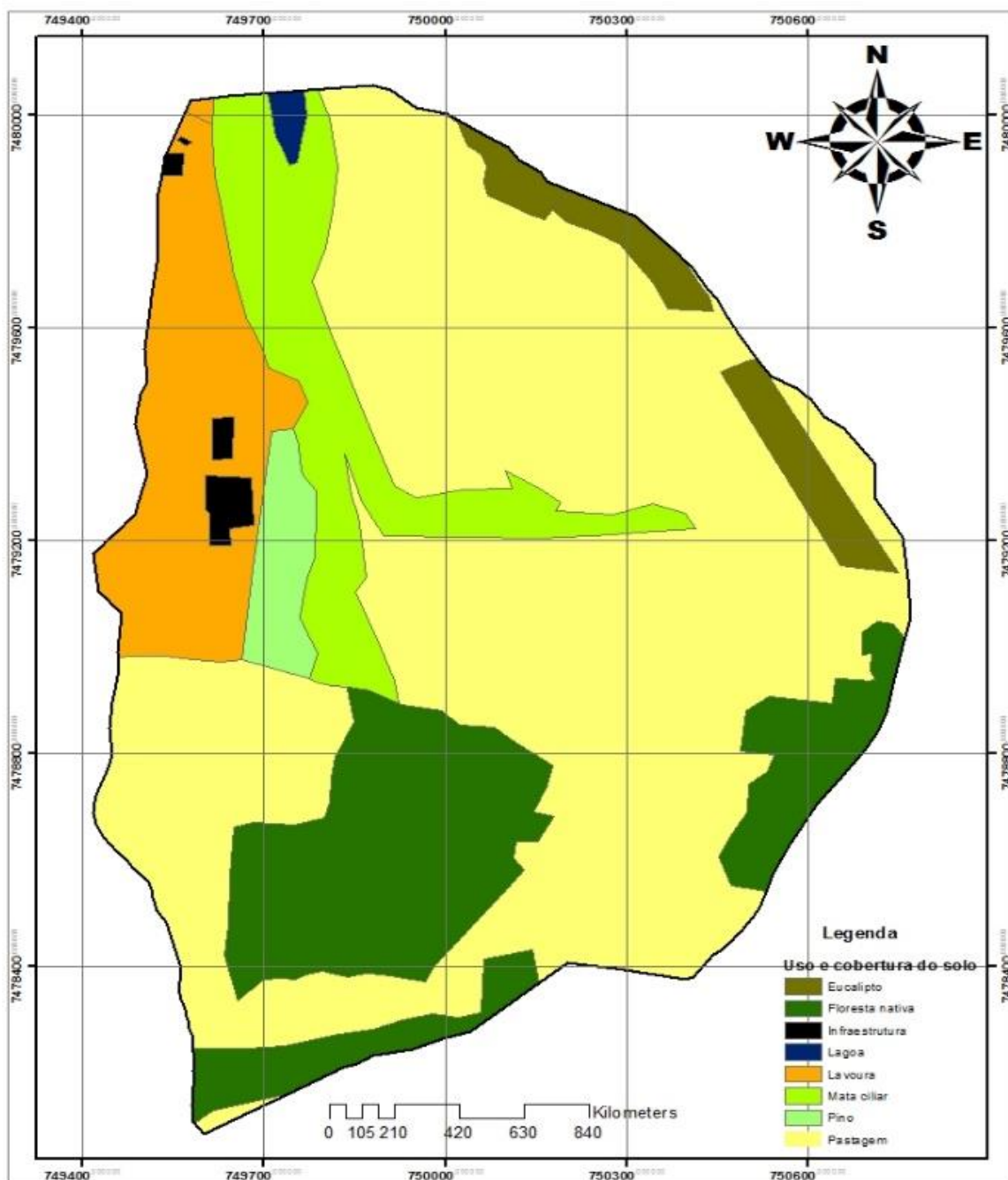


Figura 15. Uso e cobertura do solo na microbacia Pimenta

Tabela 18. Classificação vegetal e uso do solo da microbacia do córrego Pimenta ano 2010.

No Polígono	Uso e cobertura	Área (ha)	Área (%)
1	Floresta Nativa	29,8	16,2
2	Plantação Eucalyptus	6,2	3,4
3	Plantação Pinus	3,9	2,1
4	Mata ciliar	17,7	9,7
5	Lavoura	18,5	10,1
6	Infraestrutura	1,3	0,7
7	Lagoa	0,6	0,3
8	Pastagem	105,5	57,5
	<b>Total</b>	<b>183,4</b>	<b>100,0</b>

De acordo com a Figura 15 e Tabela 18 a maior área da microbacia encontra-se com uso de pastagem (57 %), a segunda área mais importante é a floresta nativa com 16,2 % da área total, a terceira área é lavoura com 10,1 % e a cobertura com mata ciliar representa 9,7 % da área da microbacia, nestas quatro áreas encontra-se perto do 94 % da área total; o restante 6 % encontra-se com plantação de Pinus e Eucalyptus, infraestrutura e uma lagoa.

#### 4.3.5. Tolerância de perda de solo

A tolerância de perda de solos da microbacia Pimenta por cada uma das coberturas e uso de solo se apresentam na Tabela 19.

**Tabela 19.** Tolerância do solo com valores médios de textura e densidade dos horizontes superficiais e subsuperficiais da microbacia Pimenta.

Cobertura	Areia (g/kg)	Argila (g/kg)	Silte (g/kg)	Profundidade (m)	RT	Densidade (gr/c <sup>-3</sup> )	Tolerância (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
Floresta	864,3	74,0	61,8	0,5	0,80	1,49	27,0
Pastagem	857,3	84,5	58,2	0,5	1,27	1,66	43,8
Plantio de Pinus	908,3	63,8	28,0	0,5	1,28	1,51	43,5
Cultura de pinhão	909,2	70,2	20,7	0,5	1,26	1,82	46,5

De acordo com a Tabela 19 a tolerância de perda de solo na microbacia Pimenta é maior para o solo com cultura de pinhão manso ( $46,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), a segunda maior tolerância se dá numa cobertura com plantio de Pinus e finalmente a floresta é a cobertura que menor perda de solo apresenta na microbacia com  $27 \text{ (t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1})$ .

#### **4.3.6. Determinação do Potencial Natural de Erosão (PNE)**

O Potencial Natural de Erosão da microbacia Pimenta que foi obtido a partir da multiplicação dos fatores  $R*K*LS$  (erosividade da chuva, erodibilidade do solo e comprimento de rampa e declividade). Figura 16.

De acordo com a figura 16, o PNE (Potencial Natural da Erosão) tem um valor mínimo de  $26,45 \text{ t.ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$  nas áreas de menor declividade, solos planos onde a chuva tem mínimo impacto de arrastre das partículas, o valor máximo de PNE na categoria de  $317 \text{ t.ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$  correspondem às áreas de maior susceptibilidade por se encontrar nos lugares com maior declive, aqui a chuva principalmente tem uma ação forte de arrastre das partículas de solo por escoamento superficial das partes altas até as partes baixas.



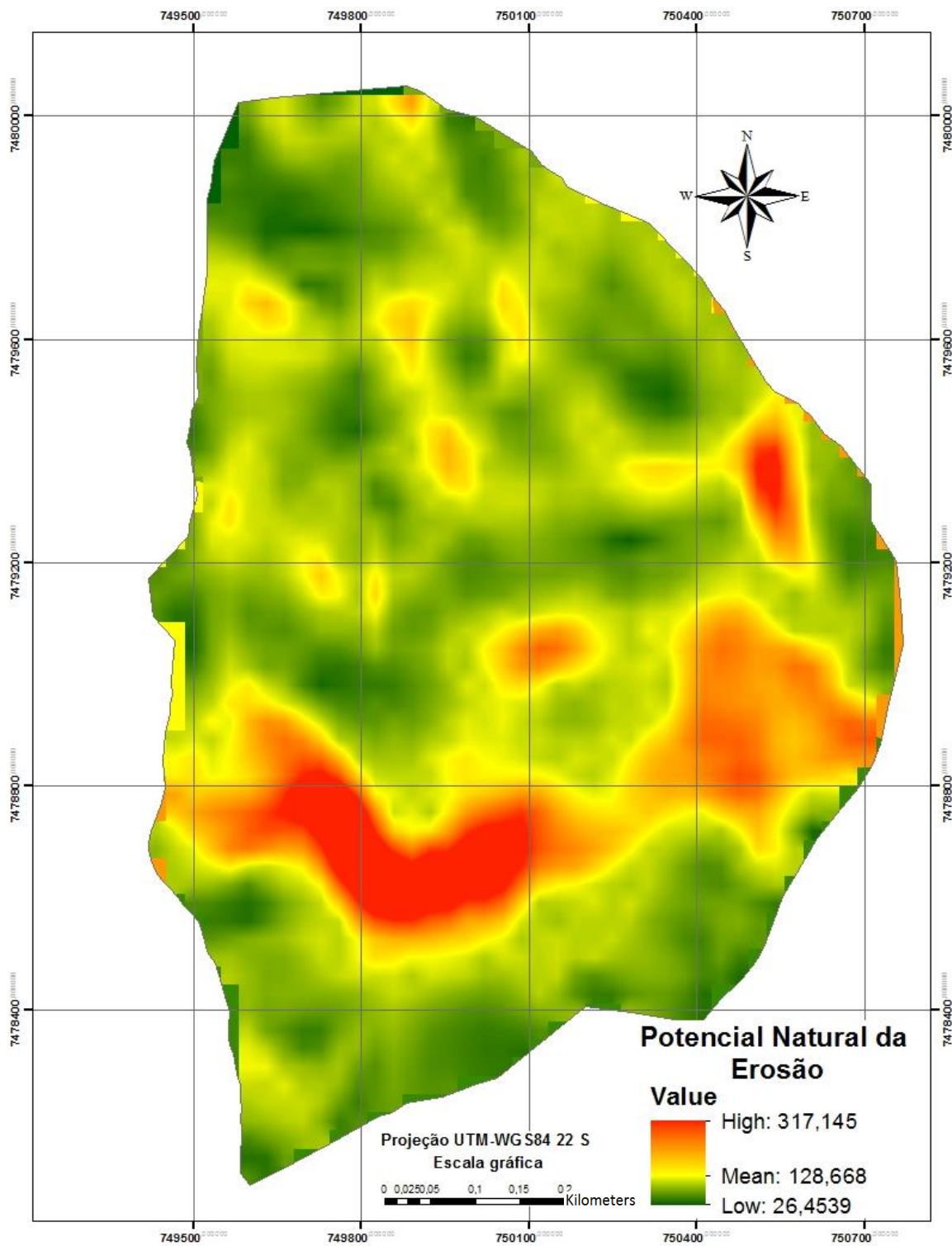


Figura 16. Potencial natural da erosão (PNE) da microbacia do córrego Pimenta



#### **4.3.7. Determinação da perda de solo (modelo RUSLE)**

A Perda do solo pela RUSLE da microbacia Pimenta obtida a partir da multiplicação dos fatores PNE\*C\*P (Potencial natural da erosão, uso e cobertura do solo e práticas de conservação), se apresenta na Figura 17.

A perda do solo da RUSLE, vai de  $1,1 \text{ t ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$  até  $10,8 \text{ t ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$ , apresentando os maiores valores de perda do solo nas áreas destinadas as culturas agrícolas, onde o preparo de solo tem a ver com a remoção da cobertura. Nas áreas onde a cobertura é maior como uma floresta ou pastagem os valores de perda de solo são menores.

A perda do solo na microbacia do córrego Pimenta segundo Carvalho (1994) é classificada como nula a moderada por se encontrar com valores de  $10 \text{ t ha}^{-1}/\text{ano}^{-1}$

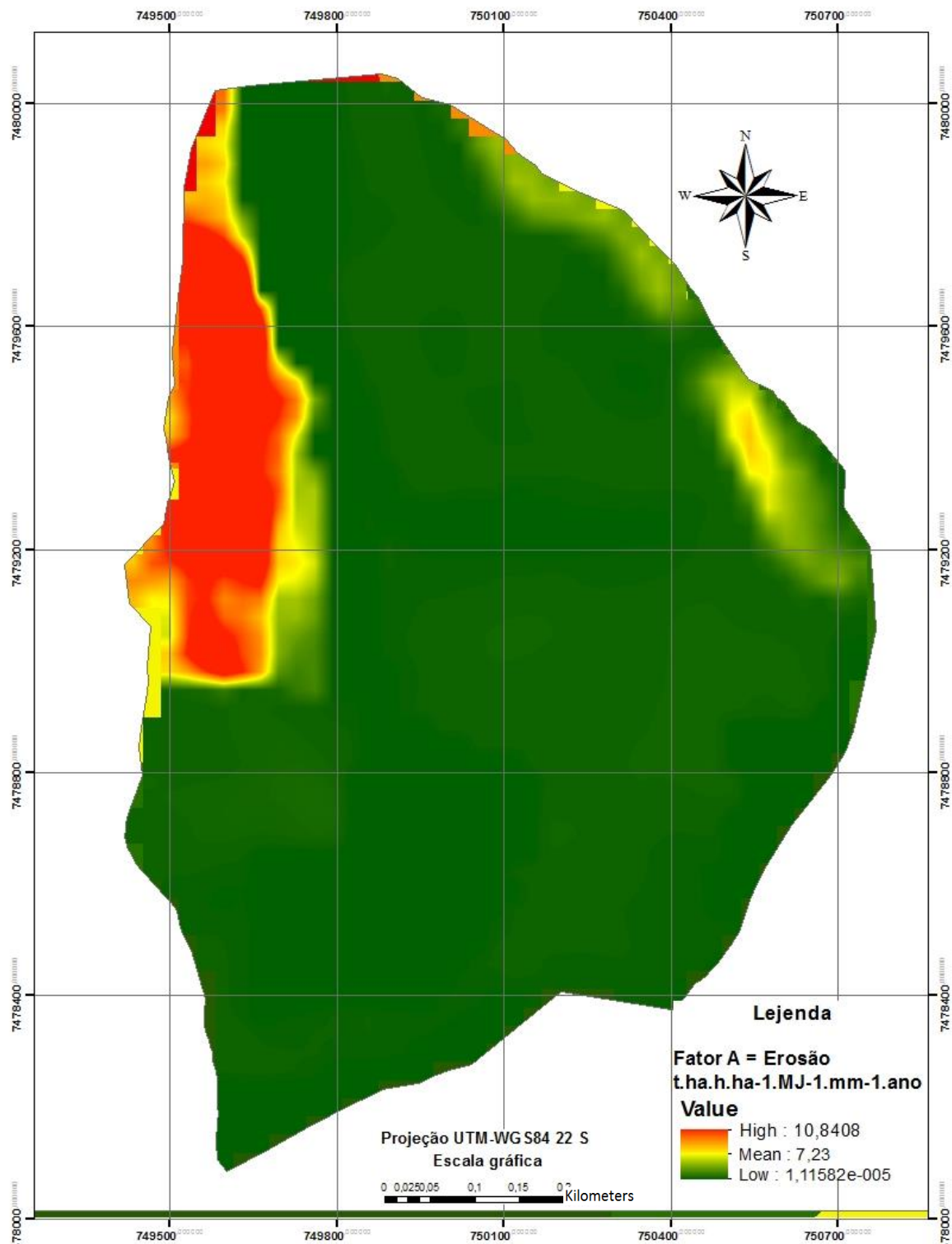


Figura 17. Perda de solo pelo modelo RUSLE na microbacia do córrego Pimenta

## 5. CONCLUSÕES

As características morfométricas como declividade e comprimento da rampa são os fatores de maior incidência para a ocorrência de erosão hídrica.

Os maiores conteúdos de água no solo estão nas camadas profundas 80 a 100, e as camadas superficiais 0 a 30 cm apresentam os menores valores de retenção de água no solo.

A cobertura com floresta apresenta maior retenção de água no solo, a pastagem por ter feito obras de conservação (terraços) apresenta valores muito próximos aos de cobertura com floresta e solos sem cobertura tem os menores teores de água no solo.

A perda de solo por erosão hídrica, podem-se diminuir aumentando áreas com cobertura vegetal e adotando práticas de conservação como terraços em curvas de nível.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. **Recuperação de solos degradados pela agricultura. 2006.** Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/RecSolos/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/RecSolos/index.htm)>. Acesso em: 10/4/2014

ABDO, M. **Recuperação de áreas degradadas: o exemplo da voçoroca em Pindorama-** Monografia. Curso de Especialização em Geografia e Meio Ambiente-FAFICA/UUEL. Catanduva-SP. 1999. p.158

AMORIM, R.; SILVA, D.; PRUSKI, F. **Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas.** Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV. 2009. p75-107.

ANGIMA, S.; STOTT, D.; O'NEILL, M.; ONGC, K.; WEESIESD, G. **Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions.** Agriculture Ecosystems e Environment, Zürich, v. 97, n. 1-3 2003. p295-308,

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O. **Razão de perdas de solo e fator C para as culturas de soja e trigo em três sistemas de preparo em um Cambissolo Húmico Alumínico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 25 2001. p. 451-461.

BARRELLA, W., PETRERE J.; SMITH, W.; MONTAG, L. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo. 2000. p.187-207.

BERTOSSI, A; CECILIO, R; NEVES, M; GARCIA, G. **Qualidade da água em microbacias hidrográficas com diferentes coberturas do solo no sul do Espírito Santo.** Rev. Árvore. vol.37. 2013. p. 107-117.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo Piracicaba**: Livroceres, 1985. p. 368

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005. p355.

BELTRAME, L.; GONDIM, L.; TAYLOR, J. **Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul**. R. Bras. Ci. Solo, 5:145-149, 1981

CAMARGO, O.; ALLEONI, L. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997.132p.

CAVALIERI, A. **Estimativa da adequação de uso das terras na quadrícula de Mogi Mirim (SP) utilizando diferentes métodos**. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998. p87.

CARVALHO, N. **Hidrossedimentologia** Prática. 2a ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2008.

CARVALHO, N. **Hidrossedimentologia prática Rio de Janeiro**: Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais, 1994. p. 372.

CASSOL, E.; LIMA, V. **Erosão em entressulcos sobdiferentes tipos de preparo e manejo do solo**. Pesq.Agropec. Bras. 2003. P.117-124.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Morfologia de bacias de drenagem**. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, n.18, p.130-138, 1978.

CHRISTOFOLETTI A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas.** Notícia Geomorfológica V 18, n 9. 1969. P. 35-64

DEMARCHE J. **Geotecnologias Aplicadas á Estimativa de Perdas de Solo por Erosão Hídrica na Sub-Bacia do Ribeirão das Perobas, Município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP.** Dissertação de Mestre em Agronomia Unesp –Botucatu, 2012. p. 150

CORCINI, A. **Efeito do manejo do solo nas propriedades físicas e no desenvolvimento inicial de Eucalyptus grandis.** XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007.

DESMET, P.; GOVERS, G. **A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units.** Journal of Soil and Water Conservation, Ankeni, v. 51. 1996. p427-433.

DESMET, P.; GOVERS, G. **Algorithms to route flow over Digital Landscapes: a comparison and their implications for predicting ephemeral gullies.** Geomorphologie: relief, 143 processus, environment, Paris, v. 2. 1996. p. 41-50.

DIAS JUNIOR, M.; ESTANISLAU, W. **Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo.** R. Bras. Ci. Solo, 23:45-51, 1999

DISSMEYER, G.; FOSTER, G. **A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land.** Atlanta: USDA Forest Service. 1980. P.40.

DISSMEYER, G.; FOSTER, G. **A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land.** Atlanta: USDA Forest Service. 1980. p.40.

DONZELLI, P. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de Microbacias Hidrográficas.** Documentos IAC,

Campinas, n. 29. 1992. p.91-119.

ELIETE, E. N.; CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F; ALMEIDA, W. S. de. **Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em argissolo vermelho-amarelo, sob condições de chuva natural.** Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2013.

EMBRAPA 1999. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** Ministerio de Agricultura e do abastecimento. 2da edição. Rio de Janeiro. p.212

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER S. **Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues?**. Ecological Economics, Vol. 65. 2008. p 663-674.

EITEN, G. **The Cerrado vegetation of Brasil.** Botanical Review. 2006. Vol. 38 N. 2, p 201-241

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas.** Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FARINASSO, M.; ABÍLIO O. DE; GUIMARÃES, R. F.; TRANCOSO, R. A.; MOREIRA V. **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, Uberlândia, v. 7. 2006. p.73-85.

FUJIHARA, A. K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento.** Dissertação-Mestrado – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002. p118

FRANÇA, G. V. de. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.

FOSTER, G.; MCCOOL, D.; RENARD, K.; MOLDENHAUER, W. **Conversion of the universal soil loss equation to SI units**. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 36. 1981. p. 355-59.

GALIZIA, J; **Água no Siglo XXI. Enfrentando a Escassez**. Editora Rima, Instituto Internacional de Ecologia. sa. p.248

GASPARI, F.; RODRÍGUEZ, A.; SENISTERRA G.; DENEGRI, G.; DELGADO I.; BESTEIRO, S. **Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina**. Apostilla en Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires. 2012. 25p.

GUERRA, A.; CUNHA, S. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

GONZÁLES, A.; ALVES, A. **Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissol Leico de Lugo, Espanha**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v9, n1, 2005). P.45-50.

GREIBER, T. **Pagos por Servicios Ambientales, Marcos Jurídicos e Institucionales**. The Katoomba Grup, UICN 2010. P.45.



HORTON, R. **Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology.** Bulletin of Geological Society of America. 1945.

HUDSON, N. **Soil conservation.** Ithaca, Cornell University Press. 1977. 320p.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios** Brasília 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO **Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema.** v. 6, Relatório 24. São Paulo: 1986.

KLEIN V. A. **Física do Solo.** Universidade de Passo Fundo.RS Editora UPF. 2008. 212 p.

LANA, C. E.; ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. **Análise morfométrica da bacia do rio do Tanque,** MG - Brasil. Revista da Escola de Minas, v.54, n.2, p.1-1212, 2001.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas.** Apostila. Departamento. Ciências Florestais. ESALQ/USP. Piracicaba – SP. 2008

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. **Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas.** Série Técnica IPEF. Departamento de Ciências florestais da ESALQ/USP; v.10. Piracicaba – SP. 1996.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Piracicaba –SP. 1986. 242p.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas.** Campinas: Instituto Agrônômico. Boletim Técnico 27. 1975. p.12

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

LOST, V.; TEIXEIRA, D.; JADYR, D.; COSTA, L.; BUDA B. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. *Revista UNIARA*, n.20, 2007.

MAGALHÃES, R. **A Erosão: definições, tipos e formas de controle**. Simposio nacional de controle de erosão. Goiânia. 2001.

MAGALHÃES, R. A. **Processos erosivos e métodos de contenção**. Ouro Preto: CEEB, 1995.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J.; BARRETO, G. B. **Perdas por erosão no Estado de São Paulo**. *Bragantia*, Campinas, v. 20, n. 47. 1961. p.1143-1182.

MANNIGEL, A.; PASSOS, M.; MORETI D.; ROSA, L. **Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo**. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5. 2002. p.1335-1340.

MARTINS, F.B. **Zoneamento Ambiental da sub – bacia hidrográfica do Arroio Cadena**, Santa Maria (RS). Estudo de caso. *Cerne*, Lavras, v.11, n.3, p.315-322, jul./set. 2005.

MCCOOL, D., FOSTER, G.; MUTCHLER, C.; MEYER, L; 1989. **Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation**. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 32, n. 5. p.1571-1576.

MCCOOL, D., BROWN, L.; FOSTER, G.; MUTCHLER, C.; MEYER, L; 1987. **Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation**. TRANSACTIONS of the ASAE 30(5): 1387-1396.

MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. da. **Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo. 2012. p.12.

MORETI, D.; MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. P. **Fator erosividade da chuva para o município de Pedrinhas Paulista, Estado de São Paulo**. Acta Scientiarum: Agronomy, v.25. 2003. p.137-145.

MORAES, M. F.; OLIVEIRA, G. C.; KLIEMANN, H. J.; SEVERIANO, E. C.; SARMENTO, P. H. L.; NASCIMENTO, M. O. **Densidade e porosidade do solo como diagnóstico do estado de degradação de solos sob pastagens na região dos Cerrados**. In: V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Belo Horizonte– MG: SOBRADE, 2002. P. 256-258.

MORGAN, R. **Soil Erosion and Conservation**. Blackwell, Oxford, 2005. p.304.

MIQUELONI, D; BUENO, C.; FERRAUDO, A. **Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes**. Pesq. agropec. bras. 2012. pp. 1358-1367.

NOGUEIRA, L. ACOSTA G. **Hidrología**. In: Livro BLUCHER, SP. Segunda Edição.1988 p49-50.

OLIVEIRA, A M. M. **Análise da Dinâmica do Uso da Terra: o estudo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2000.

PRIMAVESI A. 1987. O manejo ecológico do solo. São Paulo, Nobel, 541p.

PEIXOTO, M. **PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS**, Aspectos teóricos e proposições legislativas, Textos para Discussão. Senado Federal. 2011.

PIEDADE, G. C. R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu**, SP. Botucatu, 1980. 161 p. (Tese de Livre Docência) - FCA/UNESP, 1980.

PINTO, S. A. F. **Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo preditivo**. 1995.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. **Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico**, Jaboticabal (SP). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 28, n.2, 2004. p. 297-305.

RENARD, K. G., FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL. D. K. **Predicting soil erosion by water: guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington.1997. p.404.

RIVEIRO, A., MARTINS, D. **Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP**. Faculdade Ciências Agrícolas. UNESP. Botucatu SP. 2009. p.1-11.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; MENDONÇA, L. A.; ARAÚJO, J. C.; PALÁCIO H.; ARAÚJO E.; **Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo**. III Reunião Científica da Rede CTPetro Amazônia – Manaus. Rev. bras. eng. Agrícola e ambiente. vol.17.2013. pp. 312-318.

RODRIGUES V. A.; MORAES M.; CANALES A.; REZENDE M.; COSTA L.; BRUDER M. **Variation of Soil and Water Volumes in Riparian Jungle Soil of Brasil**.

**Journal of Agricultural Science and Technology.** Volume 3. Serial Number 31. 2013. p850-856.

RODRIGUES, V.; TORRES, P.; ANGELI, C.; MORAES, M. **Estimativa da água no solo em floresta de eucalyptus grandis.** Irriga, Botucatu, v. 17, n. , p. 523 - 533, 2012

RODRIGUES, V.A.; TORRES, P.; AMARAL, L. DE.; BANTEL, C.A.; IMAÑA, J. ENCINAS, O. **Degradação Ambiental da Microbacia do Riberão Tamanduá em relação com sua morfometria.** Revista Forestal Venezolana. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Mérida, Venezuela. 2011. p.23-28.

RODRIGUES, V. A. **Recuperação de nascentes em Microbacias da Cuesta de Botucatu. Experiências Nacionais em manejo de microbacias hidrográficas.** In: LIVRO, FEPAF, Botucatu - SP, 2006. P.5-27.

RODRIGUES, V. A. **Aspectos da sustentabilidade das microbacias hidrográficas.** In: LIVRO, Workshop em Manejo de Bacias Hidrográficas UNESP, FCA, Botucatu, 2003, p144-146.

RODRIGUES, V. A. **Manejo da seringueira Hevea brasiliensis Muell.** Arg. e seus efeitos na produção de látex e na conservação da microbacia do córrego da Barra Grande. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Rio Claro, IGCE, UNESP, 1999, 113p.

ROSOLEM, C.A.; TOZI, T. DE; GARCIA, R. **Amostragem de terra para fins de fertilidade em função da ferramenta de amostragem.** *Rev. Ceres.* vol.57, n.3. 2010. pp. 405-414.

SALOMÃO, F. X. T. ; IWASA, O Y. **Erosão e a ocupação rural e urbana**. Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995.

SANTANA M. R.; TEIXEIRA W.; CUBAS O.; COSTA A.; COIMBRA G.; BRUM L. **Determinação do fator erodibilidade de diferentes classes de solo do estado do Amazonas (métodos indiretos) e de um Cambissolo Háplico (método direto) na Província Petrolífera de Urucu, Coari - AM.** 2010.

SANTOS, T. do; MONTENEGRO, A. **Erosividade e padrões hidrológicos de precipitação no Agreste Central pernambucano**. Revista Brasileira. Engenharia agrícola ambiental. vol.16 no.8 Campina Grande. 2012

SCHUMM, S. **Evolution of drainage systems and slopes in badland at Perth Amboy, New Jersey**. Bulletin of Geological Society of America. 1956. p.597-646.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union. v38. 1957. p913-920.

STEIN, D. P. **Avaliação da degradação do meio físico da bacia do Rio Santo Anastácio**, Oeste Paulista. 1999.Tese (Dourado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 1999.

SILVA, A. M, SCHULZ, H.E. CAMARGO, P. B.; **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas São Carlos**: Rima. 2003.140p.

SILVA, F. G. B.; MINOTTI R.; LOMBARDI N. F.; PRIMAVERESI O.; CRESTANAET S.; **Predição da perda de solo na Fazenda Canchim – SP (EMBRAPA) utilizando Geoprocessamento e o USLE 2D**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.15. 2010. n.2, p.141-148.

SCOLFORO, J.; MELLO, J. **Inventário Florestal**. Lavras: FLA/FAEPE, 341p.

SILVA, F. D.; RODRIGUES, V. A.; SANTOS, A. M.; JIMENES, F. **Manejo de Microbacias Hidrográficas: Experiências Nacionais e internacionais**. In: LIVRO, FEPAF, Botucatu, SP. 2006. p160-168.

SILVA, R. M.; SANTOS, C.A.G. **Estimativa da produção de sedimento mediante uso de um equação hidrossedimentológico acoplado a um SIG**. 12, n.5. 08. p.520-526.

SENTELHAS, P; ANGELOCCI, L. **Balanço Hídrico Climatológico Normal e Sequêncial, de Cultura e para Manejo da Irrigação**. LCE 306 – Meteorologia Agrícola ESALQ/USP. 2001. p2.

TUCCI, C. **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. In: Livro UFRGS, Rio Grande. Segunda Edição. 2007. 43p.

VALÉRIO FILHO, M. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas** In: FERREIRA, M. E. e CRUZ, M.C.P. Solos altamente suscetíveis à erosão. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994.

VILLÓN, M. **Conceptos Básicos de Hidrologia**. In: LIVRO, Instituto Tecnológico de Costa Rica Escola de Engenharia Agrícola I.T.C.R. Lima-Perú. 2002. p. 15.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, Mcgraw-Hill, 1975. 245p.

QUINTÃO, A., RIBEIRO, A.; PALHA LEITE, A. **Modelagem do Balanço Hídrico em Microbacia Cultivada com Plantio Comercial de Eucalyptus Grandis X Urophylla no Leste de Minas Gerais**, Brasil Revista Árvore. 2013.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. **Determining the universal soil loss equation's length-slope factor for watersheds** Soil erosion: Prediction and control. Soil Conserv. Am.21. 1977. p.217-225,.

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

ZHANG Y.; DEGROOTE J.; WOLTER, C.; SUGUMARAN, R. 2009. **Integration of Modified universal Soil Loss Equation (MUSLE) Into a GIS Framework to Assess Soil Erosion Risk**. Land degradation and development, 20, 84–91.



## 7. Apêndice

## Apêndice 1. Resultados do análise química do solo da microbacia Pimenta-São Manuel

AMOSTRA(S)		pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Labor.	Int.	CaCl <sub>2</sub>	g/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>			mmol/dm <sup>3</sup>						mg/dm <sup>3</sup>
SZ 42	1	4,4	15	6	---	37	0,9	8	2	12	49	24	####
SZ 43	2	3,9	9	3	---	21	0,4	2	1	4	25	15	####
SZ 44	3	4,1	22	6	---	55	0,8	12	2	15	70	22	####
SZ 45	4	4,3	10	4	---	22	0,2	7	1	8	31	27	####
SZ 46	5	4,8	24	10	---	34	1,1	23	7	31	66	48	####
SZ 47	6	4,4	15	4	---	35	0,5	13	3	17	51	33	####
SZ 48	7	5,3	24	7	---	19	0,7	26	6	33	51	64	####
SZ 49	8	5,6	11	3	---	13	0,4	20	4	25	38	65	####
SZ 50	9	5,2	20	7	---	22	3,8	12	6	22	43	50	####
SZ 51	10	5,1	7	3	---	15	0,5	10	3	13	28	47	####
SZ 52	11	5,3	16	9	---	16	3,3	12	8	23	39	59	####
SZ 53	12	4,8	9	4	---	18	1,1	10	4	15	33	44	####
SZ 54	13	4,1	11	5	---	31	0,6	6	2	8	39	22	####
SZ 55	14	4,5	6	3	---	17	0,5	4	2	6	23	25	####
SZ 56	15	4,3	8	4	---	23	0,5	2	2	5	28	17	####
SZ 57	16	4,4	4	3	---	15	0,5	4	1	6	20	27	####
SZ 58	17	4,7	11	5	---	20	0,5	10	3	13	33	40	####
SZ 59	18	4,7	7	4	---	18	0,5	7	4	12	30	40	####
SZ 60	19	5,7	8	29	---	10	0,6	13	6	19	30	65	####
SZ 61	20	5,6	5	8	---	11	0,6	13	6	19	31	63	####
SZ 62	21	5,7	10	25	---	12	0,6	17	10	28	40	69	####
SZ 63	22	5,7	6	8	---	11	0,6	13	4	18	29	62	####
SZ 64	23	5,6	9	30	---	12	0,5	13	5	19	31	61	####
SZ 65	24	5,6	6	8	---	13	0,7	11	5	17	29	57	####

INTERESSADO: Luis Yaguache  
PROCEDÊNCIA:

FCA unesp FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE SOLOS E RECURSOS AMBIENTAIS  
CAMPUS DE BOTUCATU  
LABORATÓRIO DE FERTILIDADE DO SOLO  
# RESULTADOS DE ANÁLISE DE SOLO #

PROGRAMA DE QUALIDADE DE ANÁLISE DE SOLO IAC 30 anos  
2014 BÁSICA + MICRONUTRIENTES + GRANULOMETRIA IAC

Botucatu, 10 de Abril de 2014

Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll  
Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes  
Responsáveis

Classe	P resina				Al KCl	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	K trocadora de íons	Ca	Mg	pH CaCl <sub>2</sub>	V%	Metodologia de Análises
	Florestais	Perenes	Anuais	Hortaliças								
M. Baixo	0 - 2	0 - 5	0 - 6	0 - 10		0,0 - 0,7				Até - 4,3	0 - 25	Análise Química para
Baixo	3 - 5	6 - 12	7 - 15	10 - 25	< 5	0 - 4	0,8 - 1,5	0 - 3	0 - 4	4,4 - 5,0	26 - 50	Avaliação de Fertilidad
Médio	6 - 10	13 - 30	16 - 40	25 - 60		5 - 10	1,6 - 3,0	4 - 7	5 - 8	5,1 - 5,5	51 - 70	de Solos Tropicais
Alto	10 - 20	31 - 60	41 - 80	61 - 120	> 5	>10	3,1 - 6,0	>7	>8	5,6 - 6,0	71 - 90	Raij et al. (2001)
M. Alto	> 20	>60	>80	>120		>6,0				>6,0	>90	IAC. 285 p.

RUA JOSÉ BARBOSA DE BARROS, 1780 - FONE: (14) 3880-7266 / FAX: (14) 3880-7036 - CEP 18610-307 - BOTUCATU - SP - Email: saccds@fca.unesp.br

## Apêndice 1.1. Resultados do análise física do solo da microbacia Pimenta-São Manuel

**FCA – unesp** FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS / CIÊNCIA DO SOLO  
CAMPUS DE BOTUCATU  
LABORATÓRIO DE FÍSICA DE SOLO  
# RESULTADOS DE ANÁLISE DE SOLO #

INTERESSADO: Luis Yaguache  
PROCEDÊNCIA: Rua Jorge Barbosa de Barros, 667 - Botucatu / SP

PROGRAMA DE QUALIDADE DE ANÁLISE DE SOLO IAC 30 anos  
2014 BÁSICA + MICRONUTRIENTES + GRANULOMETRIA IAC

Lab.	Amostra(s)	Areia			Argila	Silte	Umid.	Textura do Solo	Balão Vol.	Torrão Imp.
		Grossa	Fina	Total					Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Solo
Interessado	(g/Kg)						(%)	Partículas		
1	1	277	588	864	73	63	----	Arenosa	----	----
2	2	373	524	897	50	53	----	Arenosa	----	----
3	3	256	585	840	88	72	----	Arenosa	----	----
4	4	235	619	855	73	72	----	Arenosa	----	----
5	5	365	492	857	85	58	----	Arenosa	----	----
6	6	364	508	872	75	53	----	Arenosa	----	----
7	7	228	601	829	77	94	----	Arenosa	----	----
8	8	179	609	788	142	70	----	Arenosa	----	----
9	9	265	591	855	82	63	----	Arenosa	----	----
10	10	258	602	860	85	55	----	Arenosa	----	----
11	11	494	412	907	64	29	----	Arenosa	----	----
12	12	406	499	905	57	38	----	Arenosa	----	----
13	13	506	411	917	61	22	----	Arenosa	----	----
14	14	560	354	914	59	27	----	Arenosa	----	----
15	15	484	431	914	58	28	----	Arenosa	----	----
16	16	474	426	900	67	33	----	Arenosa	----	----
17	17	587	348	935	49	16	----	Arenosa	----	----
18	18	424	445	869	89	42	----	Arenosa	----	----
19	19	488	435	923	56	21	----	Arenosa	----	----
20	20	479	417	896	80	24	----	Arenosa	----	----
21	21	527	396	923	60	17	----	Arenosa	----	----
22	22	526	396	923	62	15	----	Arenosa	----	----
23	23	478	429	907	70	23	----	Arenosa	----	----
24	24	458	426	883	93	24	----	Arenosa	----	----

Botucatu, 05 de março de 2014

Maria Helena Moraes  
Responsável

— RUA JOSÉ BARBOSA DE BARROS, 1780 - FONE / FAX: (14) 3811-7266 - CEP 18610-307 - BOTUCATU - SP - E-mail: sacacs@fca.unesp.br —

## Apêndice 2

Precipitação, temperatura média mensal e dias de chuva na microbacia Pimenta ano 2012

<b>Mês</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Temperatura máxima (°C)</b>	<b>Temperatura mínima (°C)</b>	<b>Dias de chuva</b>
Janeiro	400,15	28,67	15,85	9
Fevereiro	148,00	27,72	16,00	4
Março	195,00	29,22	16,09	12
Abril	154,00	27,58	14,13	7
Maio	143,50	25,76	10,95	5
Junho	156,50	23,18	11,96	9
Julho	19,00	24,88	10,68	1
Agosto	0,00	26,98	10,28	0
Setembro	12,00	27,01	14,43	9
Outubro				
Novembro				
Dezembro				

## Apêndice 3. Precipitação da série histórica (1971-2012) na estação São Manuel.

Ano	Meses de precipitação em (mm)											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
1971	138,2	50,5	312,5	36,0	74,5	112,5	56,0	5,0	93,9	104,4	14,0	111,8
1972	371,2	281,9	41,6	65,1	79,1	7,8	148,7	58,5	137,3	213,2	117,1	137,8
1973	136,7	161,3	249,7	23,6	44,4	74,2	46,4	81,6	19,9	121,1	50,9	200,4
1974	164,7	54,5	464,0	73,5	24,0	122,0	0,0	20,5	60,0	121,0	46,5	364,5
1975	66,5	246,5	42,0	74,0	15,5	4,0	52,0	0,0	66,0	124,0	339,0	162,0
1976	198,5	198,0	106,0	67,2	220,4	116,4	81,0	130,3	176,0	145,1	317,7	156,1
1977	312,5	68,0	182,0	113,0	15,0	49,0	43,0	9,5	132,0	106,0	198,0	205,0
1978	113,0	101,0	268,0	0,0	180,0	36,0	87,0	6,0	68,0	107,0	184,0	158,0
1979	88,0	103,0	57,5	28,0	72,0	0,0	36,0	91,0	128,6	83,0	88,0	194,0
1980	178,0	238,5	106,5	113,0	19,0	58,5	0,0	24,0	57,0	69,0	167,0	351,0
1981	318,0	86,0	76,0	88,0	44,0	113,0	12,0	21,0	19,0	194,0	116,0	159,0
1982	270,0	209,0	131,0	34,0	65,0	110,8	40,0	21,0	21,0	216,0	282,5	318,0
1983	340,0	169,0	127,0	154,0	260,0	217,0	23,0	0,0	218,0	121,0	132,0	252,0
1984	209,0	80,0	95,0	90,0	20,0	0,0	4,0	98,0	82,0	22,0	133,0	142,0
1985	91,0	228,0	181,0	175,5	63,0	24,0	15,0	20,0	86,0	35,0	85,0	69,0
1986	151,0	256,0	288,0	62,0	78,0	0,0	5,0	154,0	72,0	47,0	137,0	405,0
1987	265,0	268,0	52,0	39,0	186,0	146,0	21,0	13,0	89,0	57,0	246,0	128,0
1988	251,0	177,0	148,0	97,0	110,0	35,0	0,0	0,0	36,0	234,0	136,0	197,0
1989	409,0	163,0	140,0	59,0	82,0	51,0	99,0	43,0	80,0	44,0	115,0	240,6
1990	273,0	189,0	291,2	42,0	69,0	25,0	76,0	86,0	83,0	160,0	148,0	137,0
1991	232,0	302,0	294,0	144,0	48,0	63,0	31,0	16,0	97,0	140,0	109,0	166,0
1992	74,5	250,5	239,0	145,8	126,0	3,0	19,0	23,0	120,0	204,0	132,0	130,2
1993	290,0	296,0	157,0	58,0	162,0	66,2	8,0	38,8	209,5	50,0	81,0	130,0
1994	206,0	198,0	121,0	70,5	32,0	31,5	25,0	0,0	0,0	75,0	131,0	294,0
1995	235,0	270,0	127,5	33,0	175,0	43,0	45,6	0,0	82,0	184,3	56,0	164,4
1996	141,0	127,0	195,0	91,0	43,0	19,0	5,0	33,1	119,0	181,0	96,0	276,6
1997	552,0	113,0	72,0	35,5	105,0	160,0	26,0	9,0	115,0	136,5	147,0	114,0
1998	77,0	330,0	266,5	66,0	107,0	15,0	15,0	53,0	106,0	159,5	35,5	294,5
1999	213,0	178,5	99,0	66,0	46,0	93,0	6,0	0,0	59,5	42,0	49,5	111,5
2000	240,0	269,7	128,5	11,0	13,0	22,0	59,0	75,0	91,0	22,0	208,5	233,5
2001	245,0	179,0	83,0	24,0	89,5	77,5	32,0	70,0	72,0	134,5	200,5	194,0
2002	164,0	168,0	71,0	43,0	135,5	0,0	48,0	89,0	41,0	19,0	142,0	156,0
2003	255,5	99,0	281,5	105,0	60,0	22,0	18,0	31,0	17,0	123,0	116,5	215,0
2004	243,5	205,5	91,0	145,0	123,5	25,0	86,0	0,0	14,0	134,0	107,0	187,0
2005	306,0	76,0	132,0	40,5	108,0	58,0	16,0	52,0	45,5	185,5	78,0	191,5
2006	159,0	271,5	189,5	72,0	9,0	21,0	30,5	16,5	57,0	157,0	113,5	197,5
2007	458,5	131,0	57,5	55,0	39,5	19,0	180,0	0,0	3,0	74,0	175,5	218,0
2008	198,4	118,5	131,0	131,5	92,0	31,0	0,0	68,0	37,5	173,0	41,5	157,0
2009	310,0	158,5	65,5	75,0	60,5	58,5	121,0	73,5	145,0	83,0	182,0	236,0
2010	475,5	37,0	143,0	61,0	30,0	18,0	57,0	0,0	23,5	57	39	327
2011	329,0	290,5	128,0	43,5	20,0	50,0	0,0	4,0	0,0	165,0	47,0	121,0
2012	375,3	209,5	95,0	214,0	115,0	253,0	73,5	0,0	94,5	108,0	105,3	536,6