

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS – UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
NÍVEL MESTRADO**

SABRINA SCHWEIG RODRIGUES

**ANÁLISE DOS PROCESSOS DE EROÇÃO HÍDRICA E PRODUÇÃO DE
SEDIMENTOS NA MICROBACIA DO ARROIO MORUNGAVA, GRAVATAÍ-RS.**

SÃO LEOPOLDO

2010

Sabrina Schweig Rodrigues

**ANÁLISE DOS PROCESSOS DE EROÇÃO HÍDRICA E PRODUÇÃO DE
SEDIMENTOS NA MICROBACIA DO ARROIO MORUNGAVA, GRAVATAÍ-RS.**

Dissertação apresentada à UNISINOS
como requisito para a obtenção do título
de **Mestre** em Geologia – Área de
Concentração Meio Ambiente e Recursos
Minerais.

Orientador: Prof. Dr. Osmar Gustavo
Wöhl Coelho.

São Leopoldo

2010

“A minha amada filha Amábily e ao meu esposo Rodrigo, vocês
são o sol da minha vida, luz dos meus dias, meus tesouros
imensuráveis... Dedico-lhes”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pela vida e as oportunidades que a mim são dadas. Aos meus pais Siloé e Nauraci por serem exemplos de persistência e luta e por muitas vezes terem abdicado de seus sonhos em prol dos meus, em especial a minha mãe que JAMAIS hesitou cuidar da minha filha para que este trabalho obtivesse êxito. A minha filha Amábily ainda tão pequenina que esteve constantemente presente em meus pensamentos sendo fonte de inspiração, razão para prosseguir, e juntamente a ela meu esposo Rodrigo o meu imenso agradecimento. A minha irmã Silulia que não apenas nesta etapa se fez presente, mas em todas as outras que antecederam. Ao professor Hansen que me motivou a seguir por este caminho, e inerentemente a ele o professor Osmar que me orientou, confiou em mim, reconheceu minhas dificuldades e me fez acreditar que a cada dia nos tornamos melhores no que fazemos, basta querer. Enfim, a todos os amigos e colegas que estiveram presentes nesta caminhada, o meu MUITO OBRIGADA...

RESUMO

O planejamento do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica pode servir como um instrumento preventivo à erosão. É objeto deste estudo, detalhar o fenômeno da erosão hídrica e a produção de sedimentos na microbacia do arroio Morungava, Gravataí, RS. Esse estudo avaliou os indicadores de erosão aqui descritos como matéria orgânica e argila dos solos Argissolos e Hidromórficos, caracterizados neste estudo como perfis-tipo para a realização da caracterização pedológica. A análise quantitativa foi obtida através da coleta do horizonte superficial dos solos, que foi realizada com a aplicação do método do anel volumétrico e a análise espacializada é resultante do uso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) e do emprego de técnicas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's). A avaliação da produção de sedimentos, bem como a distância e a fração deste que chega a atingir a rede de drenagem superficial foi obtida com a aplicação de equações empíricas da Taxa de Produção de Sedimentos (TPS). Os resultados mostram que os indicadores de erosão apresentam correlação, sugerindo que a fração argila exerça um efeito de proteção, reduzindo a oxidação e a perda de matéria orgânica. A erosão da microbacia é de aproximadamente $52.000 \text{ t.ano}^{-1}$, sendo que destes $15.452 \text{ t.ano}^{-1}$ resulta na Produção de Sedimentos (PS). A distância indicativa estimada da área de captação anual desses sedimentos pela rede hídrica é de 42 m.

Palavras – chave: Erosão Hídrica, Equação Universal de Perda de Solo e Produção de Sedimentos.

ABSTRACT

Use planning and land use in basins can serve as a preventive tool to erosion. It is the object of this study, detailing the phenomenon of erosion and sediment yield in the micro basin of Morungava, Gravataí, RS. This study evaluated the erosion indicators described herein as organic matter and Clay soils and Hydromorphic soils, characterized in this study as profile types to perform the pedological characterization. The quantitative analysis was obtained by collecting the soil surface horizon, which was accomplished with the application of the volumetric ring method is spatially and analysis resulting from the use of Equation Universal Soil Loss (USLE) and the use of techniques of Geographical Information System (GIS). The assessment of sediment yield, and the distance and the fraction of that reaches the surface drainage network was obtained by applying empirical equations of Sediment Production Rate (SPR). The results show that the erosion indicators correlate, suggesting that the clay exerts a protective effect, reducing oxidation and loss of organic matter. The erosion of the watershed is approximately $52,000 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$, out of which $15,452 \text{ t}\cdot\text{year}^{-1}$ results in the Production of Sediment (PS). The estimated distance indicative of the catchment area of these sediments by the annual water supply is 42 m.

Key – words: Water Erosion, Equation Universal Soil Loss and Production of Sediment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de distribuição espacial dos processos de erosão, transporte e sedimentação em bacias hidrográficas.	5
Figura 2 - Organograma geral de mobilização, armazenamento e transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica.	5
Figura 3 - Taxa de produção de sedimentos em relação à área da bacia hidrográfica.	11
Figura 4 - Média anual de produção de sedimentos e vazão média anual de 61 microbacias com diferentes usos do solo no Quênia.	13
Figura 5 - Localização geográfica da área em estudo.	15
Figura 6 - Arenito com estratificação cruzada, Formação Botucatu na microbacia do arroio Morungava, coordenadas UTM (X 0508105 e Y 6708152).	17
Figura 7 - Mapas (a e b) de altitude e relevo da microbacia do arroio Morungava, evidenciando as características topográficas da área.	20
Figura 8 - Em frente relevo plano e ao fundo relevo com coxilhas onduladas.	21
Figura 9 - Em frente relevo plano e ao fundo relevo íngreme (Cerro Morungava).	21
Figura 10 - Mata ciliar às margens do arroio Morungava.	23
Figura 11 - Cultivo hortigranjeiro para agricultura familiar.	23
Figura 12 - Diagrama ilustrativo da abordagem do problema.	25
Figura 13 - Mapa de solos da microbacia do arroio Morungava, evidenciando as coletas dos perfis das Unidades de Mapeamento – Solos Argissolos e Hidromórficos.	28
Figura 14 - Localização dos pontos de coleta no horizonte superficial dos solos na microbacia do arroio Morungava.	30
Figura 15 - Sequência de procedimentos para coleta de amostras no horizonte superficial com anel volumétrico.	31
Figura 16 - Variação do teor de argila nas Unidades de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo e solos Hidromórficos.	40
Figura 17 - Variação do teor de argila do horizonte superficial dos Argissolos e solos Hidromórficos.	42
Figura 18 - Variação do teor de argila com a altitude no horizonte superficial dos Argissolos.	43

Figura 19 - Variação do teor de argila com a altitude no horizonte superficial dos solos Hidromórficos.	43
Figura 20 - Variação do teor de argila com o declive do terreno no horizonte superficial nos Argissolos.	45
Figura 21 - Variação do teor de argila com o tempo de uso no horizonte superficial dos Argissolos.	45
Figura 22 - Distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil dos solos, Argissolos e Hidromórficos.	47
Figura 23 - Distribuição da matéria orgânica do horizonte superficial do solo na microbacia do arroio Morungava.	48
Figura 24 - Relação entre os teores de argila e matéria orgânica nos Argissolos.	49
Figura 25 - Relação entre os teores de argila e matéria orgânica nos solos Hidromórficos. ...	49
Figura 26 - Mapa de erosividade anual da chuva em (tm.mm.ha ⁻¹ .ano ⁻¹) no período de 30 anos.	51
Figura 27 - Índice de erodibilidade do solo Fator (K) no mapa do centro da figura e no entorno os mapas das variáveis que são utilizadas para cálculo da erodibilidade do solo.	53
Figura 28 - Resultado final da (EUPS), e no entorno os mapas das variáveis que multiplicados resultaram na erosão total da microbacia do arroio Morungava.	56
Figura 29 - Esquema representativo da erosão total na microbacia e do percentual de erosão a uma distância de 60 m da rede de drenagem.	58
Figura 30 – Área de influência na produção de sedimentos para a rede de drenagem superficial.	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de erosão.....	7
Quadro 2 - Classes de erosividade da chuva.....	8
Quadro 3 - Classes de erodibilidade dos solos.	9
Quadro 4 - Índices do Fator (C) para situações de cobertura do solo natural e com culturas agrícolas.	10
Quadro 5 - Índices do Fator (P) para diferentes práticas conservacionistas.	10
Quadro 6 - Descrição das etapas, dados e técnicas aplicadas neste estudo.....	26
Quadro 7 - Classes de erosividade da chuva.....	33
Quadro 8 - Classes de erodibilidade do solo.....	34
Quadro 9 - Valores atribuídos para as situações de cobertura do solo na microbacia.....	35
Quadro 10 - Características estruturais da Unidade de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo.....	38
Quadro 11 - Distribuição granulométrica da Unidade de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo.....	38
Quadro 12 - Características estruturais do perfil- tipo solos Hidromórficos.	38
Quadro 13 - Distribuição granulométrica do perfil – tipo solos Hidromórficos.....	39
Quadro 14 - Valores dos atributos do solo e suas respectivas classes de referências	52
Quadro 15 - Atributos e classes analisados da EUPS.....	55
Quadro 16 - Classes de erosão da microbacia do arroio Morungava.....	57
Quadro 17 - Valores de TPS e Produção de Sedimentos.	57

LISTA DE SIGLAS

% - Percentual

a - Matéria orgânica

A - Erosão Bruta

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

Ar - Argissolo

Hi - Hidromórfico

b - Classe de estrutura do solo

BHRG - Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí

c - Classe de permeabilidade do solo

cm - Centímetro

EI - Média mensal do índice de erosão

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ET- Erosão Total

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

FAO - Food and Agriculture Organization

Fator C - Fator de uso e manejo

Fator K - Fator de erodibilidade do solo

Fator L- Comprimento do declive

Fator LS - Fator topográfico

Fator P - Fator de prática conservacionista

Fator R - Índice de erosividade da chuva

Fator S - Grau de declive

FO - Relevo Forte Ondulado

g.cm⁻³ - Gramas por centímetro cúbico

GPS - Sistema de Posicionamento Global

ha - Hectare

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IN - Relevo íngreme

K - Índice de erodibilidade do solo

km² - Quilômetro quadrado

m³ - Milímetro cúbico

M - parâmetro que representa a granulometria solo dado

M1 - Precipitação média mensal

MJ - Megajoule

METROPLAN - Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional

mm - milímetro

MNT - Modelo Numérico do Terreno

MO - Relevo Montanhoso

NBR - Norma Brasileira

ON - Relevo Ondulado

PI - Relevo Plano

P - Precipitação média anual

p - Precipitação média mensal

Prof.- Profundidade

OS - Produção de Sedimentos

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SO - Relevo Suave Ondulado

SP - São Paulo

T - Tonelada

TPS – Taxa de Produção de Sedimentos

Tm- Tonelada metro

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

UTM- Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVOS.....	2
2.1	Objetivo geral.....	2
2.2	Objetivos específicos.....	2
3	JUSTIFICATIVA.....	3
4	ESTADO DA ARTE.....	4
4.1	Características dos processos de erosão hídrica e produção de sedimentos.....	4
4.2	Erosão.....	7
4.2.1	<i>EROSIVIDADE DA CHUVA (R).....</i>	8
4.2.2	<i>ERODIBILIDADE DO SOLO (K).....</i>	8
4.2.3	<i>RELEVO (LS).....</i>	9
4.2.4	<i>USO E MANEJO DOS SOLOS (C).....</i>	10
4.2.5	<i>PRÁTICA CONSERVACIONISTA (P).....</i>	10
4.3	Produção de sedimentos (PS).....	10
4.4	Abordagem para estimativa e predição da produção de sedimentos.....	13
5	ÁREA DE ESTUDO.....	15
5.1	Localização.....	15
5.2	Descrição da área de estudo.....	16
5.2.1	<i>ASPECTOS GEOLÓGICOS.....</i>	16
5.2.3	<i>GEOMORFOLOGIA E SOLOS.....</i>	18
5.2.4	<i>CLIMA.....</i>	22
5.2.5	<i>VEGETAÇÃO.....</i>	22
5.2.6	<i>USO DO SOLO.....</i>	22
6	MÉTODO E TÉCNICAS.....	24
6.1	Caracterização dos perfis-tipo.....	27

6.2	Distribuição das amostras do horizonte superficial	29
6.3	Estimativa da erosão.....	32
6.3.1	<i>EROSIVIDADE DA CHUVA (R)</i>	32
6.3.2	<i>ERODIBILIDADE DO SOLO (K)</i>	34
6.3.3	<i>FATOR RELEVO (LS)</i>	35
6.3.4	<i>USO E MANEJO DO SOLO (C)</i>	35
6.3.5	<i>PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)</i>	36
6.4	Produção de sedimentos.....	36
6.4.1	<i>ÁREA DE INFLUÊNCIA DA PRODUÇÃO E SEDIMENTOS</i>	36
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
7.1	Distribuição e Características dos Solos.....	37
7.1.1	<i>UNIDADE DE MAPEAMENTO – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO</i>	37
7.1.2	<i>UNIDADE DE MAPEAMENTO - SOLOS HIDROMÓRFICOS</i>	38
7.2	Análise de indicadores de erosão	39
7.2.1	<i>FRAÇÃO ARGILA</i>	39
7.2.2	<i>MATÉRIA ORGÂNICA</i>	46
7.3	Estimativa da Erosão através de Modelos SIG	50
7.3.1	<i>EROSIVIDADE DA CHUVA (R)</i>	50
7.3.2	<i>FATOR TOPOGRÁFICO (LS)</i>	54
7.3.3	<i>USO E MANEJO DO SOLO (C)</i>	54
7.3.4	<i>PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)</i>	54
7.3.5	<i>EUPS</i>	55
7.4	Estimativa da produção de sedimentos	57
8	CONCLUSÕES	60
9	RECOMENDAÇÕES	61
10	LITERATURA CITADA.....	62

1 INTRODUÇÃO

A degradação das bacias hidrográficas devido às ações antrópicas, incluindo uso inadequado do solo e a crescente urbanização, associada aos fenômenos naturais, resulta em grande quantidade de sedimentos que são mobilizados e transportados em curto espaço de tempo. Esses sedimentos são na maioria das vezes, em maior volume que aqueles produzidos em centenas de anos nas condições de equilíbrio natural (PAIVA e PAIVA, 2003). De acordo com estes autores, estudos sobre o fenômeno da erosão são essenciais para qualquer tomada de decisão em termos de uso e manejo das terras, possibilitando a formulação de propostas e medidas mitigadoras.

Através de um planejamento e monitoramento da ocupação do espaço geográfico, cada vez mais se amplia a visão sobre as necessidades da população, quais os recursos disponíveis e o conhecimento sobre o comportamento dos processos naturais, para que seja viável compatibilizar as necessidades crescentes com recursos limitados (TUCCI, 2000).

Os modelos matemáticos de previsão de erosão, quando devidamente aplicados, são considerados ferramentas apropriadas para o estudo dos fatores intervenientes no processo erosivo e direcionamento das decisões de gerenciamento do uso do solo (RENNÓ E SOARES, 2001).

Estes mesmos modelos são ferramentas utilizadas para a simulação, predição e quantificação de erosão hídrica, fornecendo subsídios para o planejamento e definição de práticas conservacionistas do solo. Dentre os modelos para estimativa de erosão, a EUPS (Equação Universal de Perda de Solos – Wischmeier e Smith, 1978) vem sendo aplicada devido sua qualidade nas informações. No entanto para se obter resultados significativos com estes modelos, faz-se necessário que haja a disponibilidade de dados experimentais locais para derivar os valores referentes aos fatores da equação.

Após a determinação de um modelo, é necessária a utilização de sistemas capazes de tratar e analisar as informações multimatemáticas. Com este propósito a utilização do geoprocessamento propõe o gerenciamento e modelagem dos sistemas erosivos encontrados na microbacia (FILHO, 1994).

De forma a avaliar os impactos advindos da erosão hídrica e consequente estimativa da produção de sedimentos, este estudo tem como finalidade diagnosticar os processos atuantes na microbacia Morungava, através de aplicações de técnicas SIG utilizando a EUPS.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os processos de erosão hídrica e estimar a produção de sedimentos com aplicação de técnicas SIG, visando servir de subsídios aos setores públicos e privados que possuam interesse na elaboração de um plano de uso, manejo e conservação da microbacia do arroio Morungava, Gravataí, RS.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar indicadores de processos erosivos;
- Analisar a distribuição espacial de atributos dos solos;
- Estimar a erosão da microbacia com utilização de técnicas SIG;
- Avaliar a produção de sedimentos da microbacia, e
- Estimar a distância indicativa da área de captação anual de sedimentos pela rede hídrica.

3 JUSTIFICATIVA

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) quando utilizados na elaboração do banco de dados para simulação de modelos numéricos, tornam-se ferramentas essenciais, permitindo a manipulação de dados de diversas fontes, recuperando e combinando informações permitindo diversas análises.

O conhecimento sobre a erosão, a produção de sedimentos bem como a distância e a quantidade anual de sedimentos indicativa da área de influência em uma bacia hidrográfica, é ainda objeto de estudo de inúmeras pesquisas. Pouco se sabe sobre estes fenômenos e a grandeza das variáveis envolvidas, para tal a importância desta pesquisa reside em um plano de ações mitigadoras, visando à redução da produção de sedimentos, bem como a restauração de outras funções ambientais na microbacia do arroio Morungava.

4 ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta uma revisão dos conceitos referentes aos processos de erosão hídrica superficial e de produção de sedimentos.

4.1 Características dos processos de erosão hídrica e produção de sedimentos

A erosão hídrica e a produção de sedimentos são processos interrelacionados, sendo a erosão hídrica o total anual de materiais mobilizados por erosão, não importando se a erosão é depositada dentro ou fora da bacia hidrográfica. E a produção de sedimentos definida como o total de sedimentos que deixa a bacia hidrográfica através da rede hídrica. Assim o fornecimento de sedimentos é controlado em grande parte pelos processos erosivos (COOKE E DOORNKAMP, 1974).

Os processos de erosão, transporte e sedimentação tem intensidades variáveis ao longo das bacias hidrográficas. Um modelo conceitual de distribuição espacial da atuação destes processos é apresentado na (Figura 1), evidenciando que a área objeto desta pesquisa representa uma parte de todo o modelo proposto por (COOKE E DOORNKAMP, 1974).

Paiva e Paiva (2003) citam que nem todo sedimento gerado por erosão atinge efetivamente a calha do rio. A relação entre os processos de erosão e produção de sedimentos é ilustrada na (Figura 2), onde se verifica que parte dos sedimentos mobilizados pela erosão são armazenados em depósitos intermediários, como nas encostas, planícies de inundação e canais. A quantificação das taxas de armazenamento e de produção de sedimentos é ainda objeto de pesquisa.

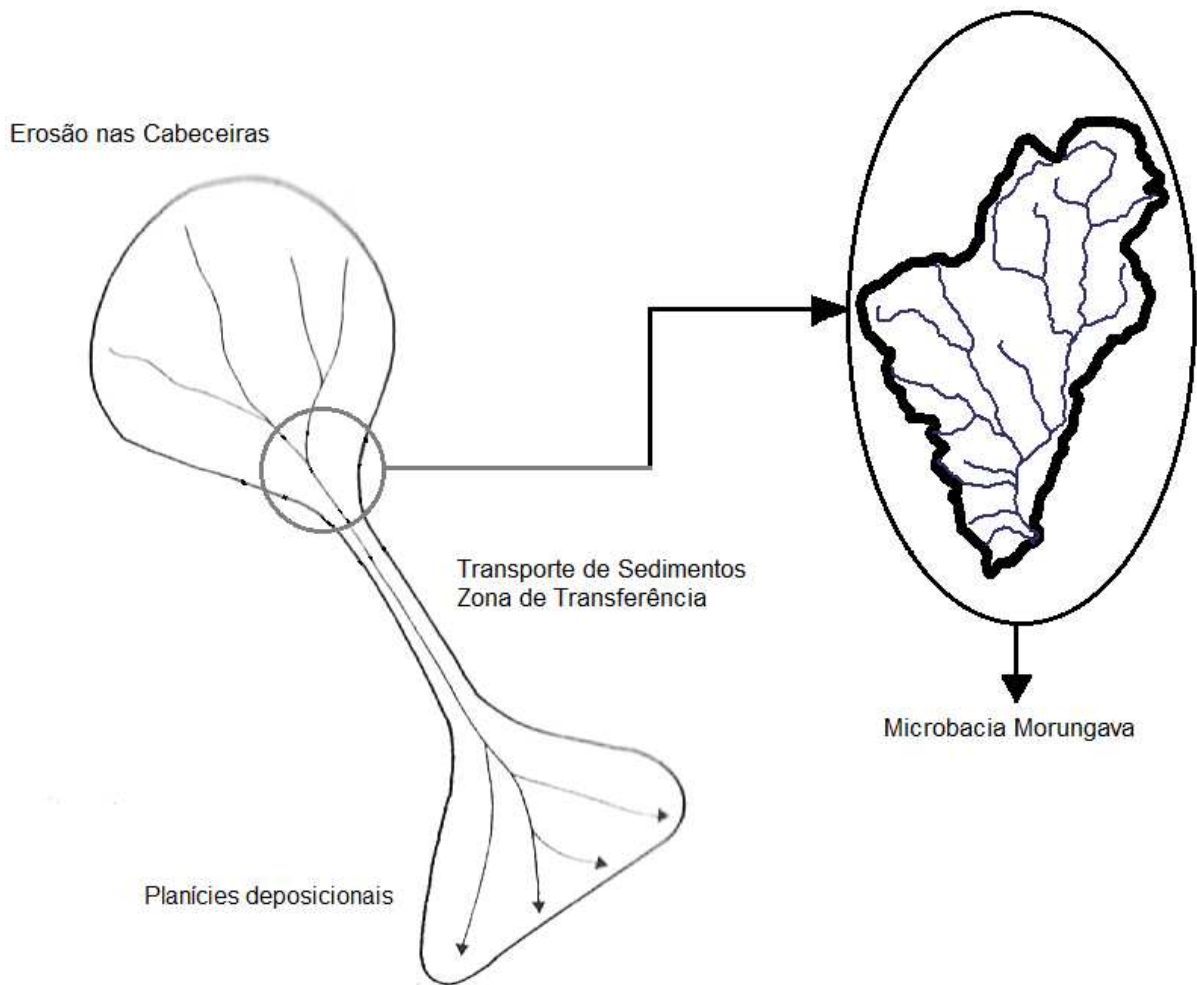


Figura 1 - Esquema de distribuição espacial dos processos de erosão, transporte e sedimentação em bacias hidrográficas.

Fonte: Adaptado de Cooke e Doornkamp (1974).

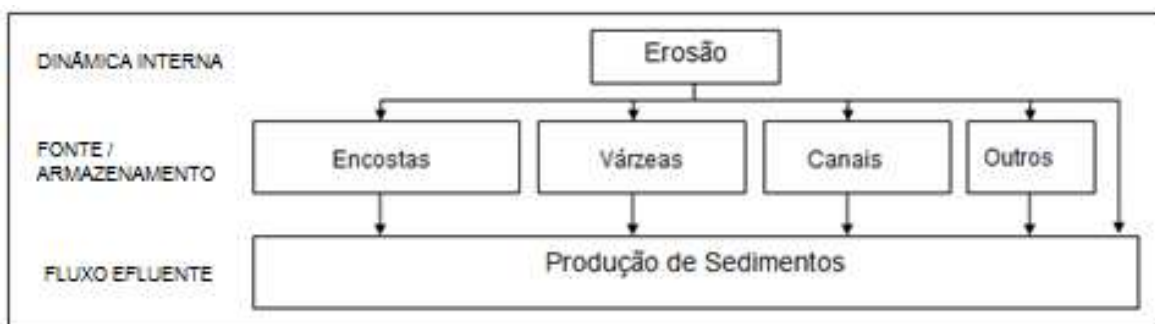


Figura 2 - Organograma geral de mobilização, armazenamento e transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica.

Fonte: Adaptado de Cooke e Doornkamp (1974).

Apesar de inúmeros estudos quantitativos, há franca controvérsia sobre questões críticas como a quantidade e extensão do deslocamento das partículas mobilizadas pela erosão e pelo transporte hídrico. Três conceitos são particularmente importantes para a análise quantitativa deste fenômeno, segundo (COOKE e DOORNKAMP, 1974).

* **Erosão bruta:** Erosão total de uma bacia, decorrentes dos sulcos, voçorocas, erosão do canal, sendo expressa em peso, por unidade de tempo ou quantidade total de redução da superfície do solo por unidade do tempo.

* **Produção de sedimentos:** Vazão total de sedimentos efluentes de uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem, mensuráveis em uma seção transversal de referência e em um determinado período de tempo, sendo geralmente baseada na medição da carga de sedimentos em suspensão.

* **Taxa de produção de sedimentos:** Relação entre a produção de sedimentos e erosão bruta em uma área de drenagem, normalmente expressa em porcentagem. Além de quantificar a proporção da erosão bruta captada e mobilizada até a foz, também descreve a proporção de armazenamento de sedimentos na bacia. Estes três termos são expressos pela equação (1) e (2):

$$TPS = PS \times A^{-1} \quad (1)$$

Onde,

TPS = Taxa de Produção de Sedimentos;

PS = Produção de Sedimentos e

A = Erosão Bruta.

E, por conseguinte,

$$PS = A \times TPS \quad (2)$$

Estes conceitos e fatores envolvidos nos processos de erosão e produção de sedimentos são a seguir abordados em maior detalhe.

4.2 Erosão

A erosão se processa de várias formas, sendo definida como a mobilização e o arrastamento de partículas da superfície da terra pela água corrente, vento, gelo ou outros fatores geológicos (SILVA *et al.*, 2003).

Quando não há interferência antrópica, a erosão é denominada natural, caso contrário o processo erosivo é normalmente acelerado. Sobre isto Guerra *et al.*, (1999) citam que os processos erosivos tendem a se acelerar, à medida que mais terras são incorporadas a produção agrícola ou a exploração de madeiras, uma vez que os solos ficam desprotegidos da cobertura vegetal e conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do terreno.

A vulnerabilidade dos solos à erosão é determinada por vários fatores, como o tamanho das partículas, a sua estrutura, permeabilidade e o teor de matéria orgânica, sendo a erodibilidade dos solos considerada uma das propriedades de maior complexidade devido ao número de variáveis envolvidas (SILVA *et al.*, 2003).

Guerra *et al.*, (1999), citam que a suscetibilidade à erosão não é inerente apenas às características intrínsecas do solo, mas também a fatores como ciclos de cheias e estiagem, composição química e quantidade de água intersticial.

Quanto à granulometria Morgam (1986) cita que “as partículas menos resistentes a processos erosivos são siltes e areias”. Evans (1980), *apud* Morgam (1986) analisou a erodibilidade em função do teor de argila, concluindo que solos que apresentam pouca fração de argila são mais suscetíveis aos processos erosivos.

A erosão teve sua intensidade classificada pela FAO (1980) como apresentado no (Quadro 1).

Quadro 1 - Classes de erosão.

Erosão bruta (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classe de erosão
<10	Baixa
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
>200	Muito Alta

Fonte: FAO (1980).

Uma proposta para quantificar a erosão, formulada por Wischmeier e Smith (1978), é expressa pela Equação Universal de Perda de Solos, expressa pela equação (3).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (3)$$

A - erosão calculada por unidade de área ($t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);

R - índice de erosividade da chuva;

K - fator de erodibilidade do solo;

LS - fator topográfico;

C - fator de uso e manejo e

P - fator de prática conservacionista.

Os fatores considerados na Equação Universal de Perda de Solos são a seguir analisados.

4.2.1 *EROSIVIDADE DA CHUVA (R)*

A erosividade da chuva é variável de acordo com a sua intensidade, atribuindo-se valores conforme (Quadro 2). O fator de erosividade da chuva (R) pode ser mapeado utilizando-se o método aplicado das isoietas, ou seja, em locais, que possuam pluviógrafos pode-se obter o valor de R, assinalando-se os pontos no mapa da região e interpolando-os, dando origem às linhas isoerodentes ou de mesma erosividade. Este mapeamento da erosividade utiliza valores médios anuais, sendo muito usual em países que utilizam a Equação Universal de Perda de Solo (OLIVEIRA, 1996).

Quadro 2 - Classes de erosividade da chuva.

Intervalos de erosividade médio anual ($t \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$)	Classes de erosividade da chuva
< 250	Fraca
250 – 500	Média
500 – 750	Média forte
750 – 1000	Forte
> 1000	Muito forte

Fonte: Adaptado de Carvalho (1994).

4.2.2 *ERODIBILIDADE DO SOLO (K)*

É definida como a taxa de erosão do solo por unidade de erosividade da chuva para um solo sem cobertura e com operações culturais normais, em um declive de 9% e

comprimento de rampa de 25 metros. Este índice é expresso em $(t \text{ ha ano } tm^{-1}.ha^{-1}.mm^{-1})$. O (Quadro 3) apresenta classes de interpretação para os índices de erodibilidade do solo, conforme Carvalho (1994), citado por (SILVA *et al.*, 2003).

Quadro 3 - Classes de erodibilidade dos solos.

Intervalos de erosão anual - K $(t.ha.ano.tm^{-1}.ha^{-1}.mm^{-1})$	Classes de erodibilidade do solo
< 0,15	Baixa
0,15 – 0,30	Média
> 0,30	Alta

Fonte: Carvalho (1994).

O fator K pode ser determinado diretamente em campo com a chuva natural ou simulada em parcelas padrão, ou ainda por determinações indiretas empregando-se métodos empíricos. Quando determinado em parcelas padrão Wischmeier e Smith (1978), este é considerado como valor real da erodibilidade do solo. As propriedades do solo que influenciam a erodibilidade pela água, tais como: a granulometria, estrutura e porosidade, são aquelas que afetam a velocidade de infiltração, a permeabilidade e a capacidade total de armazenamento de água, assim como as que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

4.2.3 RELEVO (LS)

A influência do relevo é substancial na erosão, sendo determinantes os fatores declividade (S) e comprimento de rampa (L). Moore e Burch (1986) relatam que as formas de declive (côncava e convexa), declividade e comprimento de rampa, em uma bacia hidrográfica, são importantes na determinação da erosão e realocação de sedimentos dentro da própria bacia. Uma área com a forma côncava concentra o fluxo de escoamento aumentando a velocidade e, com isso, aumenta a capacidade de transporte de sedimentos. Assim a forma do declive côncava tem maior impacto na erosão enquanto a forma do declive convexa tem menor influência na erosão.

4.2.4 USO E MANEJO DOS SOLOS (C)

É a quantidade erosão durante um determinado estágio de cultura comparada à erosão na parcela padrão, durante o mesmo período (TIWARI *et al.*, 2000). Para a determinação desse fator são considerados os valores indicados no (Quadro 4):

Quadro 4 - Índices do Fator (C) para situações de cobertura do solo natural e com culturas agrícolas.

Prática / cobertura	Valor médio anual do Fator (C)
Solo exposto (área urbana)	1
Vegetação (nativa / exótica)	0,001
Agricultura	0,010

Fonte: Mitchell & Bubenzer *apud* SILVA *et al.*, (2003).

4.2.5 PRÁTICA CONSERVACIONISTA (P)

É a relação entre a erosão esperada de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista (SILVA *et al.*, 2003). Os valores de algumas práticas conservacionistas encontram-se no (Quadro 5).

Quadro 5 - Índices do Fator (P) para diferentes práticas conservacionistas.

Grau de declive (%)	Plantio morro abaixo	Plantio em contorno	Vegetação permanente	Terraceamento
1-2	1,0	0,6	0,30	0,12
3-8	1,0	0,5	0,25	0,10
9-12	1,0	0,6	0,30	0,12
13-16	1,0	0,7	0,35	0,14
17-20	1,0	0,8	0,40	0,16
21-25	1,0	0,9	0,45	0,18
>26	1,0	1,0	0,40	0,16

Fonte: Mitchell & Bubenzer *apud* SILVA *et al.*, (2003).

4.3 Produção de sedimentos (PS)

Muitos dos fatores que controlam o movimento de sedimentos nos sistemas de drenagem são semelhantes aos da erosão envolvendo aspectos da geometria das encostas,

canais e bacias, natureza dos solos, rocha e vegetação, a magnitude, frequência e duração das precipitações pluviométricas (BOYCE, 1974 *apud* COOKE e DOORNKAMP, 1974).

Enquanto, o fornecimento de sedimentos é controlado predominantemente pela erosão das encostas e dos canais, o transporte de sedimentos, por sua vez, é influenciado pelas condições de fluxo, pelas características da rede de canais da bacia hidrográfica e as características de movimentação dos sedimentos (MOORE e BURCH, 1986). Alguns fatores são fundamentais na determinação da produção de sedimentos:

- Geometria da bacia hidrográfica;
- Clima;
- Vegetação e
- Uso do solo.

Para descrever e prever o movimento dos sedimentos destes fatores, equações de regressão múltipla têm sido utilizadas.

Do ponto de vista geomorfológico, muitas propriedades geométricas das bacias hidrográficas são estimadores potenciais valiosos. Por exemplo, há clara evidência de que a taxa de produção de sedimentos (TPS) decresce com o aumento da bacia de drenagem. A (Figura 3) evidencia a (TPS) esperada para a microbacia em estudo conforme proposto por (BOYCE, 1974 *apud* COOKE e DOORNKAMP, 1974).

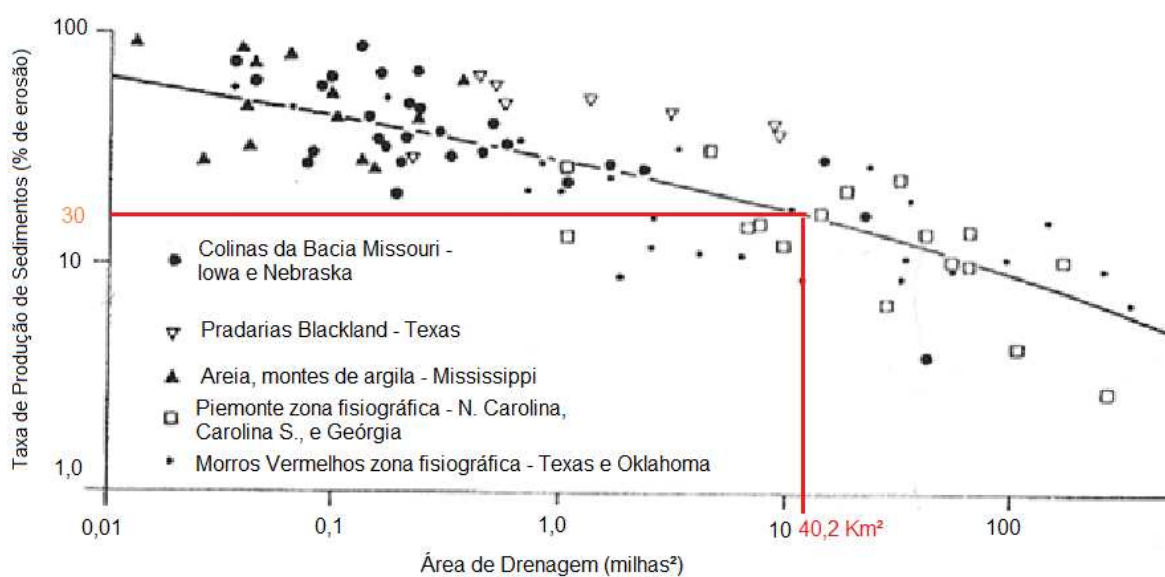


Figura 3 - Taxa de produção de sedimentos em relação à área da bacia hidrográfica.

Fonte: Boyce,(1974) *apud* Cooke e Doornkamp, (1974).

As taxas de produção de sedimentos (TPS) variam com os diferentes usos do solo, onde pouco escoamento pode gerar significativa produção de sedimentos se o solo apresentar cobertura favorável para tal, como no caso pastoreio. Em contrapartida esta mesma quantidade de escoamento quando afeta um solo coberto por florestas gera baixa produção de sedimentos. Esses fatores segundo Douglas e Smith (1967) podem ser analisados conforme (Figura 4) e na equação (4).

$$E = [1,631 \times (0,03937 \times P)^{2,3}] \times \{ [1 + 0,0007 \times (0,03937 \times P)^{3,3}] \}^{-1} \quad (4)$$

Onde,

E = produção de sedimentos em suspensão $m^3/km^2/ano$

P = precipitação efetiva (mm)

Entretanto, este modelo não é universalmente aplicável.

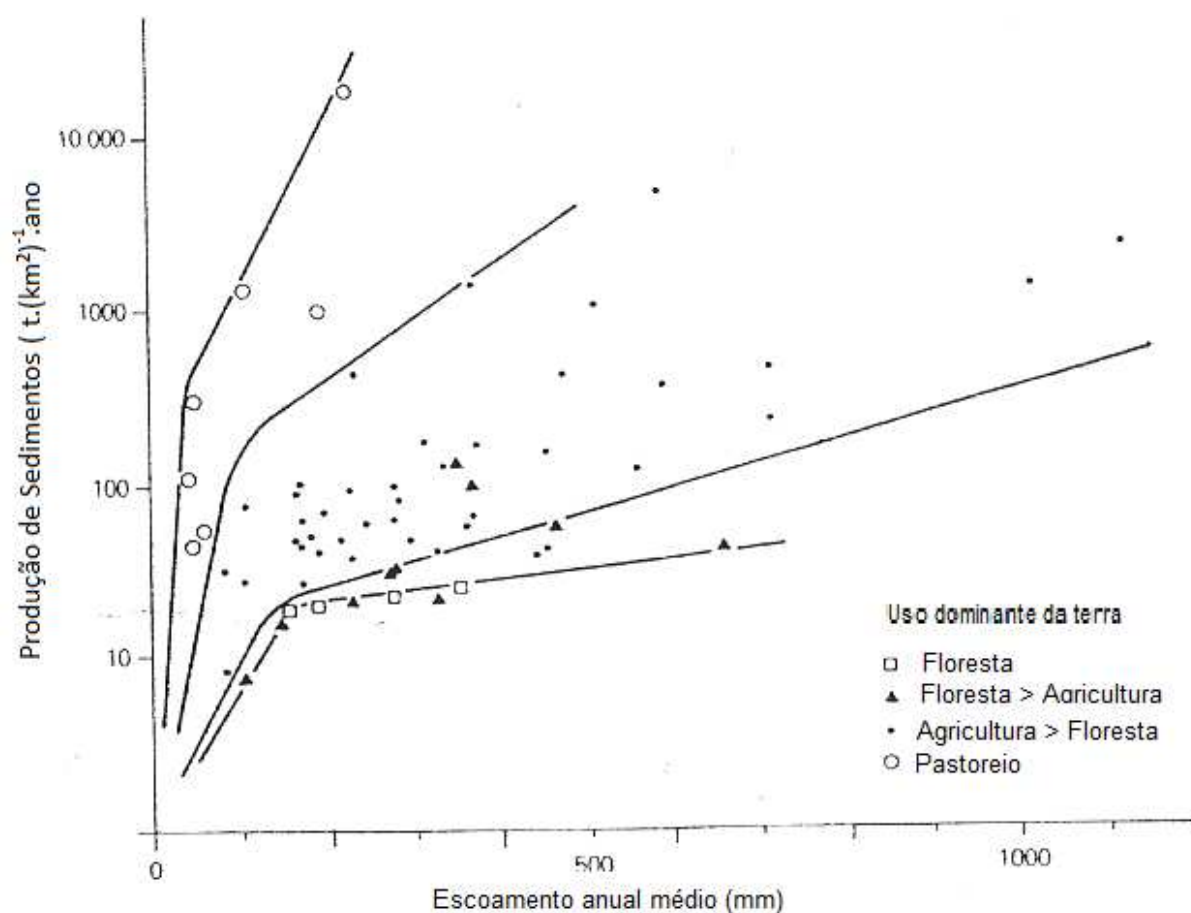


Figura 4 - Média anual de produção de sedimentos e vazão média anual de 61 microbacias com diferentes usos do solo no Quênia.

Fonte: Boyce (1974) *apud* Cooke e Doornkamp, (1974).

4.4 Abordagem para estimativa e previsão da produção de sedimentos.

Todas as abordagens para estimar a previsão da produção de sedimentos são baseadas em dados coletados nas bacias de drenagem e na aplicação dos princípios de sedimentologia. A precisão das previsões varia de acordo com a disponibilidade de dados, conhecimentos dos processos de erosão, transporte e deposição e de mudanças nas bacias (PAIVA e PAIVA, 2003). A maioria das abordagens são ainda fortemente empíricas, mas a aplicação de modelos matemático torna-se mais importante a medida que aumenta o conhecimento dos sistemas de drenagens (MOORE e BURCH, 1986).

Miranda *et al.*, (2006) e Souza *et al.*, (2006) citam que o valor de TPS pode ser calculado através de três equações empíricas propostas em literatura. Por serem empíricas, Paiva e Paiva (2003) sugerem utilizar como valor de TPS, a média das equações (5), (6) e (7).

$$\text{TPS1} = 0,451 \times a^{-0,298} \quad (5)$$

$$\text{TPS2} = 0,33 \times a^{-0,2236} \quad (6)$$

$$\text{TPS3} = 1 \times ((a \times 2,69^{-1})^{0,2})^{-1} \quad (7)$$

Onde,

a = área da bacia (km²)

TPS = Taxa de Produção de Sedimentos

A partir do TPS estima-se um volume de sedimentos utilizando a equação (3).

Nos últimos anos tem havido um interesse crescente na utilização de modelos de simulação dinâmica, em que a produção de sedimentos é simulada, a fim de produzir um registro semi contínuo, e a simulação é baseada em princípios teóricos, equações dinâmicas que descrevem o escoamento e contemplam o solo, a erosão e produção de sedimentos.

5 ÁREA DE ESTUDO

Este capítulo abrange aspectos que caracterizam a área em estudo.

5.1 Localização

A microbacia do arroio Morungava (Figura 5) está limitada pelas coordenadas em UTM 6698000N, 504000E e 6709000N, 511500E. Com área de 40,2 km² e 12,35 km de extensão abrangendo a Sub-bacia do arroio Demétrio, a qual está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG). O arroio Morungava possui suas nascentes no município de Taquara e sua foz no arroio Demétrio.

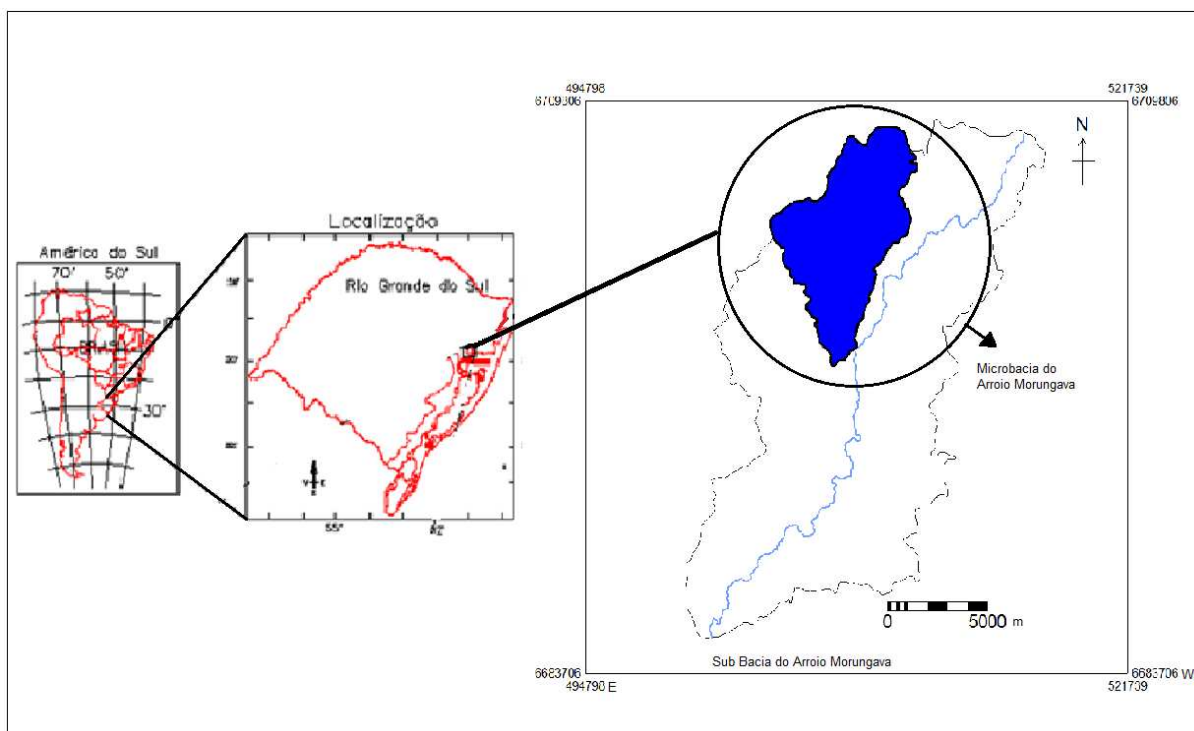


Figura 5 - Localização geográfica da área em estudo.

Fonte: LASERCA – Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital da UNISINOS.

5.2 Descrição da área de estudo

5.2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS

A área está inserida na Bacia do Paraná, estando constituída por rochas das Formações Pirambóia e Botucatu, além de sedimentos Quaternários.

- Formação Botucatu

Na região onde está inserida a microbacia Morungava a Formação Botucatu é constituída por arenitos bimodais, finos e médios, quartzosos, sendo as estratificações cruzadas de grande porte (Figura 6) as estruturas mais características de acordo com (FACCINI *et al.*, 2003). Esta formação é composta por associação de fácies de sistema eólico seco (dunas e interdunas).

- Formação Pirambóia

Conforme Faccini *et al.*, (2003), esta unidade geológica é representada por: associação de fácies de sistema eólico úmido (dunas eólicas e interdunas). As dunas eólicas predominam na faixa de afloramentos dos depósitos eólicos desta formação. Segundo esses autores essas são formadas exclusivamente por fácies de arenitos com estratificação cruzadas acanaladas e mais raramente planares. As interdunas ocorrem basicamente em duas formas distintas, discriminadas por sua geometria e constituição faciológica: (1) fácies de arenitos tabulares amalgamados, composto por arenitos com laminação plana, maciços ou bioturbados; e (2) fácies de pelitos lenticulares laminados ou maciços.

- Sedimentos Quaternários

Nestes depósitos aluvionares encontram-se areias, cascalheiras e sedimentos síltico-argilosos de planície de inundação, terraços e depósitos de calha da rede fluvial atual e subatual (IBGE, 2003).



Figura 6 - Arenito com estratificação cruzada, Formação Botucatu na microbacia do arroio Morungava, coordenadas UTM (X 0508105 e Y 6708152).

5.2.2 RELEVO

Quanto ao relevo da área os locais onde ocorre maior declividade são representados pelo solo Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Úmbrico, oriundos dos arenitos das Formações Botucatu e Pirambóia. Nas porções mais baixas da bacia, ocorrem solos Hidromórficos Glei Húmico, oriundos dos Depósitos Quaternários. Porém ocorrem solos Hidromórficos em locais de elevadas altitudes, sobre a Formação Botucatu, principalmente próximo as vertentes e nascentes de cursos d'água, onde o relevo é plano (declividade 0 a 3%).

As cotas variam entre 40 m a 280 m, predominando um relevo suave ondulado a fortemente ondulado (Figura 7), ocorrendo também um relevo plano nas porções mais baixas da microbacia e em topos de morro (Figura 8). Observa-se ao sul da área relevo íngreme formando o “Cerro Morungava” (Figura 9).

Os arenitos da Formação Botucatu da área onde o relevo é fortemente ondulado apresentam boa cimentação, resistindo à erosão e formando blocos nas encostas, os quais comumente formam paredões com quebra de relevo, seguindo-se formas onduladas e planas.

5.2.3 GEOMORFOLOGIA E SOLOS

Observa-se na área a ocorrência de duas unidades de solo citadas por Streck *et al.*, (2008), sendo estas Gravataí e Vacacaí. Os critérios usados para a classificação dos solos conforme estes autores foram às características e propriedades (morfológicas, físicas, químicas, mineralógicas) consideradas importantes para a interpretação de seu uso agrícola e não-agrícola. Os solos encontrados na região da microbacia do arroio Morungava, de acordo com estes autores, classificam-se com Argissolo Vermelho-Amarelos Distróficos Úmbricos e Hidromórficos Glei Húmico.

- *Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico Úmbrico*

O termo *Argissolo* é derivado da presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil. No Rio Grande do Sul estes solos ocorrem na depressão central, com relevo desde suave ondulado até fortemente ondulado ocupando em termos percentuais a maior parte territorial do Rio Grande do Sul. Streck *et al.*, (2008) descrevem a unidade Gravataí sendo caracterizada pelo Argissolo Vermelho-Amarelos Distróficos Úmbrico (saturação por bases < 50% e horizonte A proeminente) e as cores vermelho-amarelas indicam ambientes de boa drenagem, com um horizonte “B textural” significativamente mais argiloso do que os horizontes “A” e “E”.

Estes solos podem ser originados de diversos tipos de materiais, tais como: basaltos, arenitos, granitos, argilitos e siltitos. Na área de estudo a rocha de origem desses solos é a Formação Botucatu. Os Argissolos originados desta Formação têm teores elevados de areia e baixos teores de argila e de matéria orgânica.

- *Hidromórfico Glei Húmico*

Os solos desta classe são permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados, ocorrem tipicamente em depressões mal drenadas em todo estado.

Caracterizam-se pela forte gleização que se processa em meio anaeróbico, com muita deficiência ou ausência de oxigênio, devido ao encharcamento do solo por longo período ou durante todo o ano (EMBRAPA, 1999).

O processo de gleização é responsável pelas cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio causado pelo encharcamento.

Esses solos, conforme as descrições de Streck *et al.*, (2008) são pouco profundos e mal drenados. Os Gleissolos podem ser eutróficos (saturação de bases = ou > que 50%) ou distróficos (saturação de bases = ou < que 50%). Ocorrem em depressões mal drenadas, várzeas e rios e planícies lagunares, geralmente associados aos Planossolos.

Na área em estudo o material de origem são os Depósitos Quaternários, porém também ocorre sobre os arenitos das Formações Pirambóia e Botucatu nas porções mais deprimidas do relevo (STRECK *et al.*, 2008).

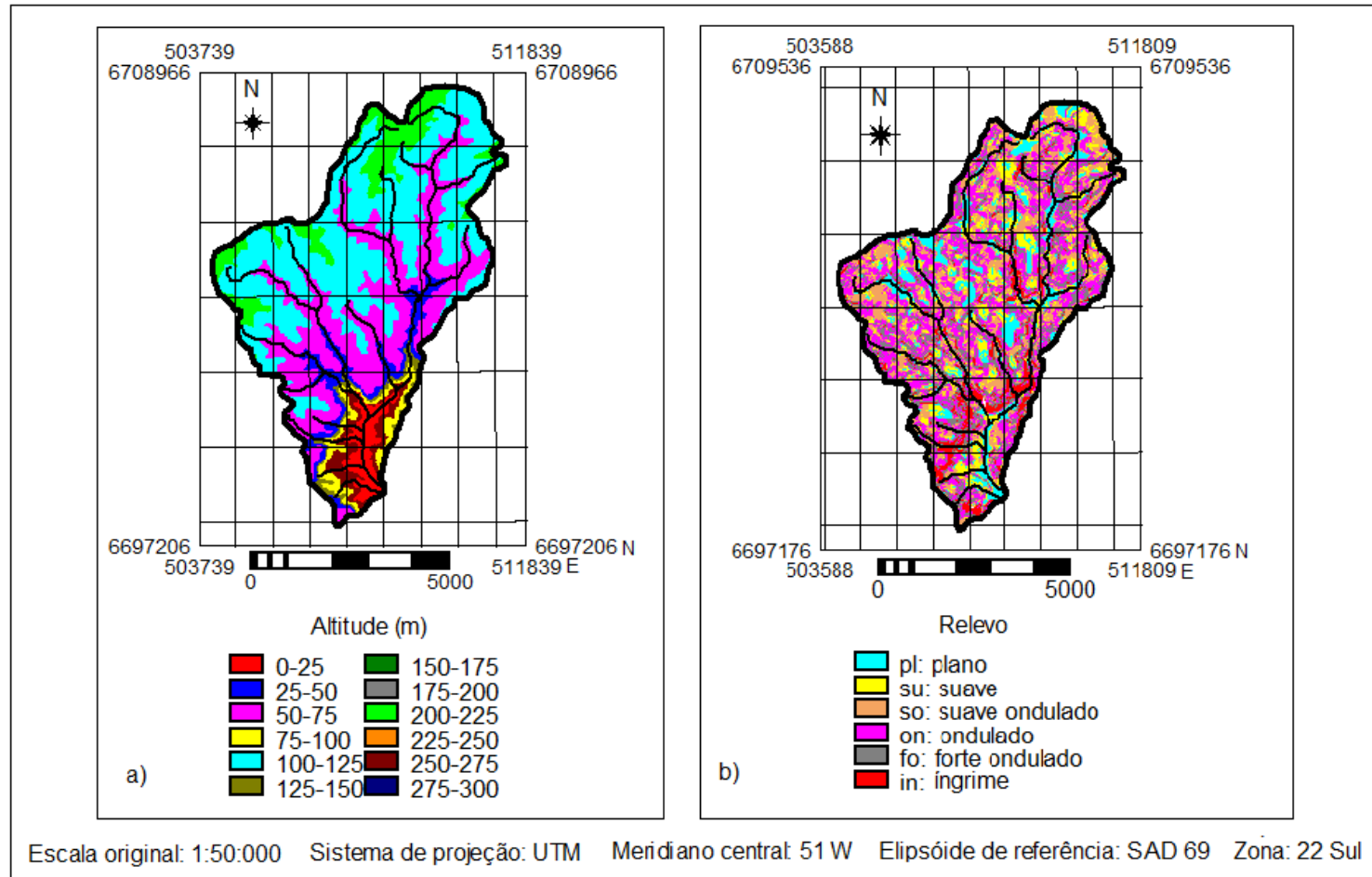


Figura 7 - Mapas (a e b) de altitude e relevo da microbacia do arroio Morungava, evidenciando as características topográficas da área.



Figura 8 - Em frente relevo plano e ao fundo relevo com coxilhas onduladas.



Figura 9 - Em frente relevo plano e ao fundo relevo íngreme (Cerro Morungava).

5.2.4 CLIMA

O clima classifica-se regionalmente, segundo a classificação climática de Köppen trata-se mesotérmico (temperatura média do mês mais quente 22° C, temperatura média anual 18° C e pelo menos um mês com temperaturas médias inferiores a 15° C).

5.2.5 VEGETAÇÃO

A região caracteriza-se pelo contato Savana/Floresta Estacional Semidecidual e pela Formação Pioneira de influência fluvial (TEIXEIRA *et al.*, 1986).

Atualmente a região é caracterizada por áreas de campos, pastagens, roça e por pequenos fragmentos florestais, de estrutura e composição secundária, geralmente agrupada ao longo das divisas de propriedades ou acompanhando trechos dos cursos d' água. As matas correspondem a 21,35% da microbacia, sendo que as matas ciliares (Figura 10) apresentam apenas 43% do previsto na legislação ambiental (TEIXEIRA, 2005).

5.2.6 USO DO SOLO

Predomina na região a agricultura familiar, com culturas de hortigranjeiros (Figura 11), plantações de milho, cana, aipim e culturas cítricas. O reflorestamento com acácia-negra e eucalipto também fazem parte da economia da região, incluindo propriedades rurais e sítios de lazer (TEIXEIRA, 2005).

Como atividade mineira, ocorre à extração da “pedra grês” a partir da Formação Botucatu.



Figura 10 - Mata ciliar às margens do arroio Morungava.



Figura 11 - Cultivo hortigranjeiro para agricultura familiar.

6 MÉTODO E TÉCNICAS

O problema é estimar a erosão e a produção de sedimentos, avaliando a área de captação anual de sedimentos para a rede de drenagem. Visando uma abordagem quantitativa dos fenômenos de erosão e produção de sedimentos, o método de pesquisa foi concebido de forma a integrar a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). A necessidade de análise espacial destes fenômenos foi atendida com a utilização de técnicas SIG, através de uma aplicação espacializada da EUPS; avaliação da produção de sedimentos por equações empíricas; e a utilização de técnicas SIG para captação da rede de drenagem. Uma visão geral da abordagem do problema é fornecida na (Figura 12) e (Quadro 6).

São a seguir descritas as diversas etapas metodológicas e técnicas aplicadas.

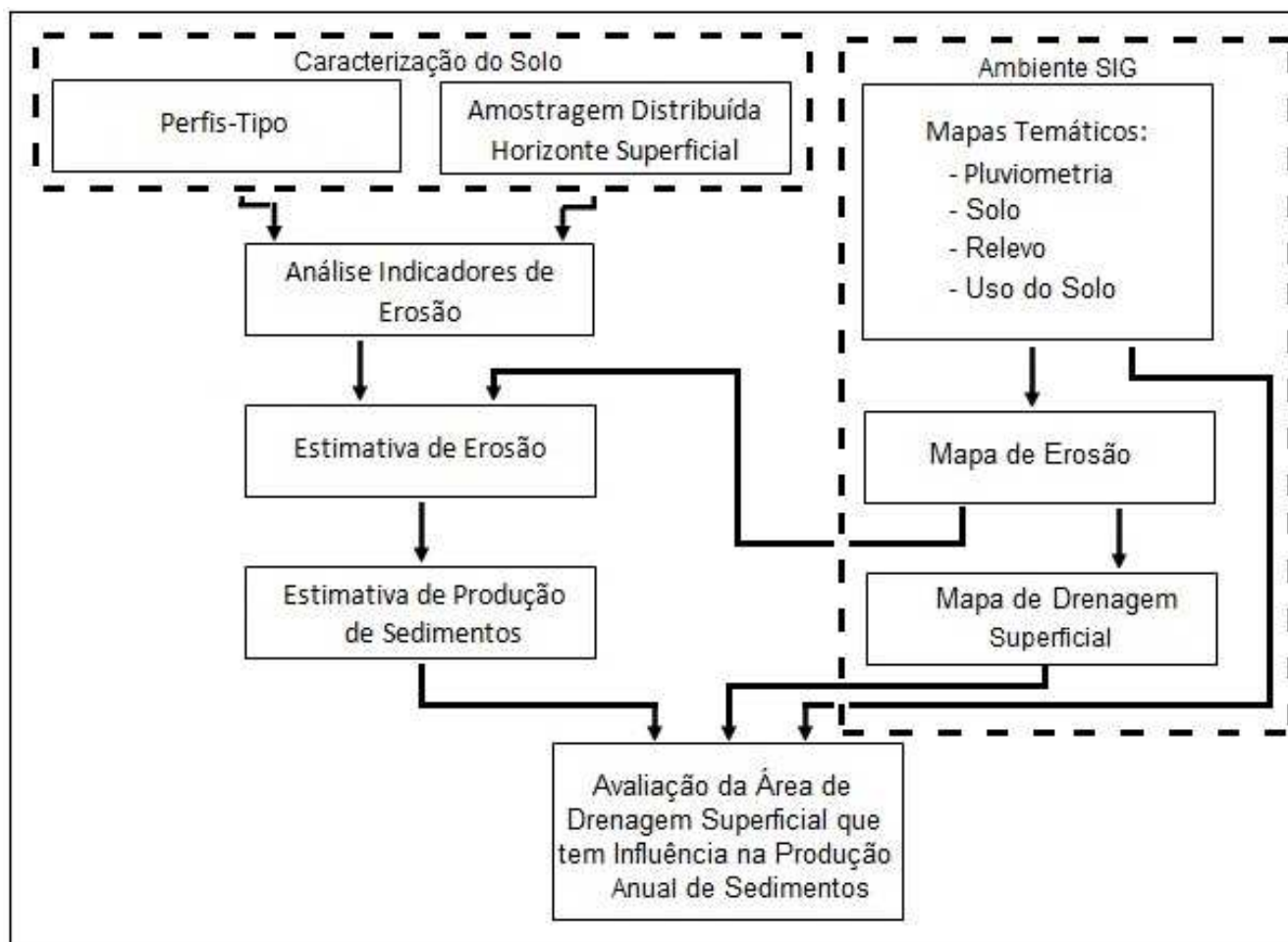


Figura 12 - Diagrama ilustrativo da abordagem do problema.

Quadro 6 - Descrição das etapas, dados e técnicas aplicadas neste estudo.

ETAPAS	DADOS / PROCESSOS / PRODUTO	TÉCNICAS
Perfil-tipo dos solos	Identificação e coleta de dois perfis - tipo; Descrição dos perfis quanto: profundidade, espessura, substrato, textura, forma das partículas, porosidade, faixa de transição, cimentação e pegajosidade; Análises físicas; Análise dos indicadores de erosão e mapa dos tipos de solo.	Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo EMBRAPA (1982); Trado holandês /GPS/ martelo pedológico / trena e faca; Análises físicas NBR 6508 e NBR 7181 – UNISINOS; Análises químicas – UFRGS e Mapa Pedológico de Gravataí 1:250:000 e <i>software</i> Excel 2003 e ILWIS, 3.6.
Amostragem distribuída no horizonte superficial	Coleta de 30 amostras- 21 nos solos Argissolos e 9 nos Hidromórficos; Mapa de pontos.	Anel volumétrico (Kiehl, 1979); Carta do Exército 1:50:000 – (1979) e <i>software</i> ILWIS, 3.6.
Estimativa de erosão	Mapa de erosividade da chuva; Mapa de erodibilidade do solo; Mapa do fator topográfico; e Mapa de cobertura e práticas.	Atlas Agroclimático do RS – 1:750:000; Autocad, 2009; Modelo Numérico do Terreno – MNT; EUPS (Wischmeier e Smith, 1978); ILWIS, 3.6; Imagens de satélite LANDSAT – 2008.
Produção de sedimentos	Gráfico da produção de sedimentos.	Taxa de Produção de Sedimentos - TPS Vanoni (1975) e Williams & Berndt (1972)
Área de influência para a rede de drenagem superficial	Mapa de drenagem superficial.	Drendistance – <i>software</i> ILWIS 3.6

6.1 Caracterização dos perfis-tipo

As informações coletadas em campo, referentes aos pontos dos perfis do solo, bem como as características da área serão a seguir apresentadas.

Com a utilização do Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo EMBRAPA (1982), trado holandês, martelo pedológico, trena, faca, GPS e a carta do exército 1:50:000 (1979), foi realizada a identificação e a caracterização dos perfis do solo Argissolo e Hidromórfico na microbacia do arroio Morungava.

Perfil – tipo Argissolo

A identificação deste perfil (Figura 13) foi realizada com a utilização de um martelo pedológico, que propiciou a abertura de um corte em um barranco. Posteriormente com o auxílio de uma faca foram evidenciadas as faixas de transição entre os horizontes. Cada horizonte foi medido com uma trena, registrado através de fotografias, coletado e analisado quanto as suas características físicas, de acordo com o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (EMBRAPA,1982).

Com a finalidade de se obter a correlação entre a erodibilidade dos solos e as propriedades físicas, foram executados ensaios granulométricos de acordo com a NBR 6508/84 e NBR 7181/84 (ABNT, 1984).

Os ensaios granulométricos e de sedimentação foram realizados no Laboratório de Mecânica de Solos – UNISINOS. As análises químicas foram feitas na Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos – UFRGS.

Perfil – tipo Hidromórfico

A identificação do perfil do solo Hidromórfico (Figura 13) foi obtida com a utilização do trado holandês. Após cada perfuração no solo e posterior rearranjo do mesmo na superfície, foi realizada a identificação dos diferentes horizontes e suas faixas de transição. Obtidas as medidas com a trena, o material retido de cada horizonte foi acondicionado em sacos plásticos para as análises químicas.

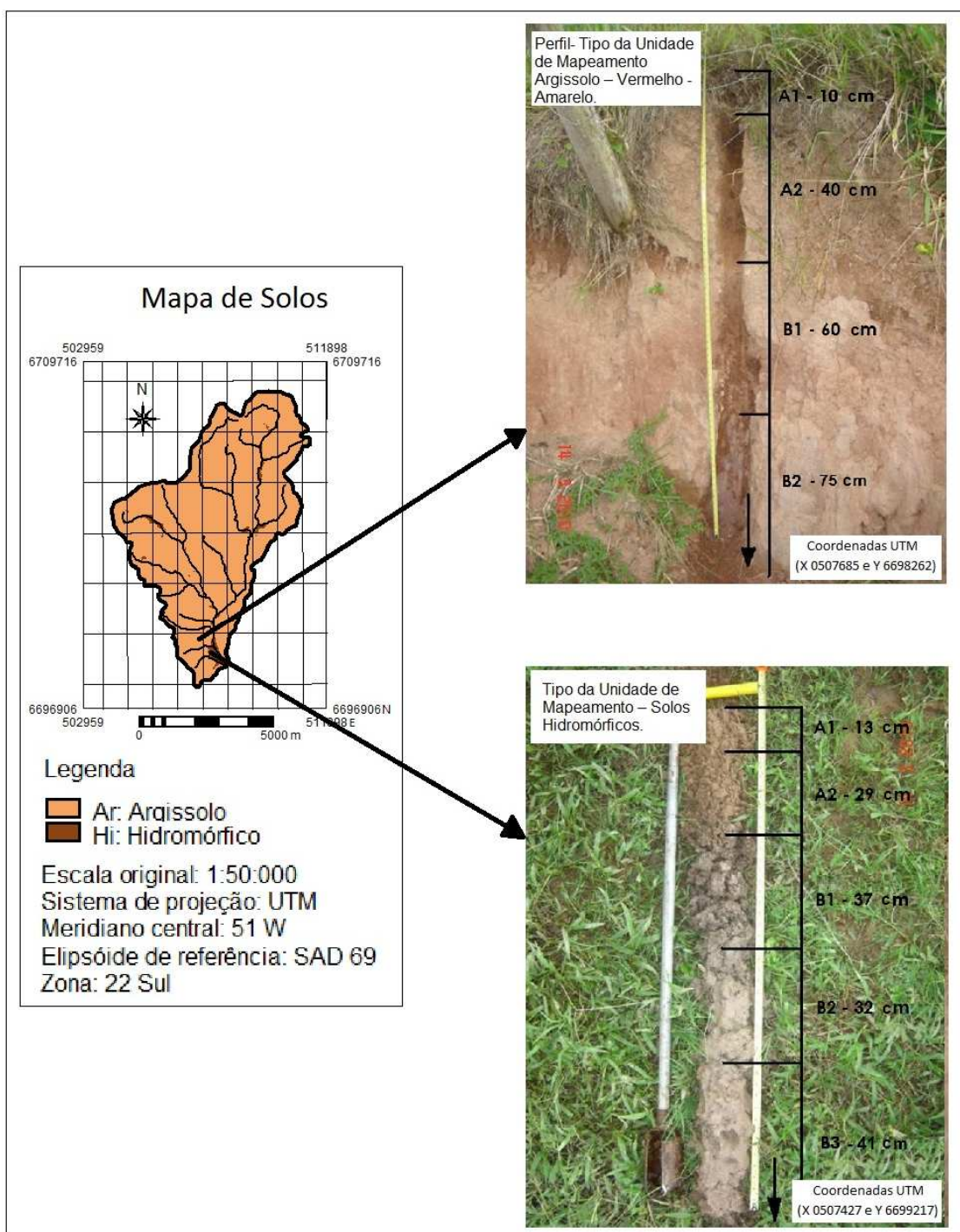


Figura 13 - Mapa de solos da microbacia do arroio Morungava, evidenciando as coletas dos perfis das Unidades de Mapeamento – Solos Argissolos e Hidromórficos.

6.2 Distribuição das amostras do horizonte superficial

De acordo com Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (EMBRAPA, 1982), foram analisados 30 pontos do horizonte superficial dos solos em toda a microbacia, destes 21 referindo-se aos Argissolos e 9 aos solos Hidromórficos (Figura 14). O levantamento dos horizontes superficiais (Figura 15) foi realizado através do método do anel volumétrico proposto por (KIEHL, 1979).

O método do anel volumétrico fundamenta-se no uso de um anel de bordos cortantes com capacidade interna conhecida ($452,58 \text{ cm}^3$). O cilindro foi inserido no horizonte superficial de ambos os solos presentes na microbacia. Posteriormente, com o auxílio de uma alavanca e de uma faca removeu-se o excesso de terra e as bordas do anel foram igualadas. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente vedados e identificados. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Mecânica de Solos - UNISINOS.

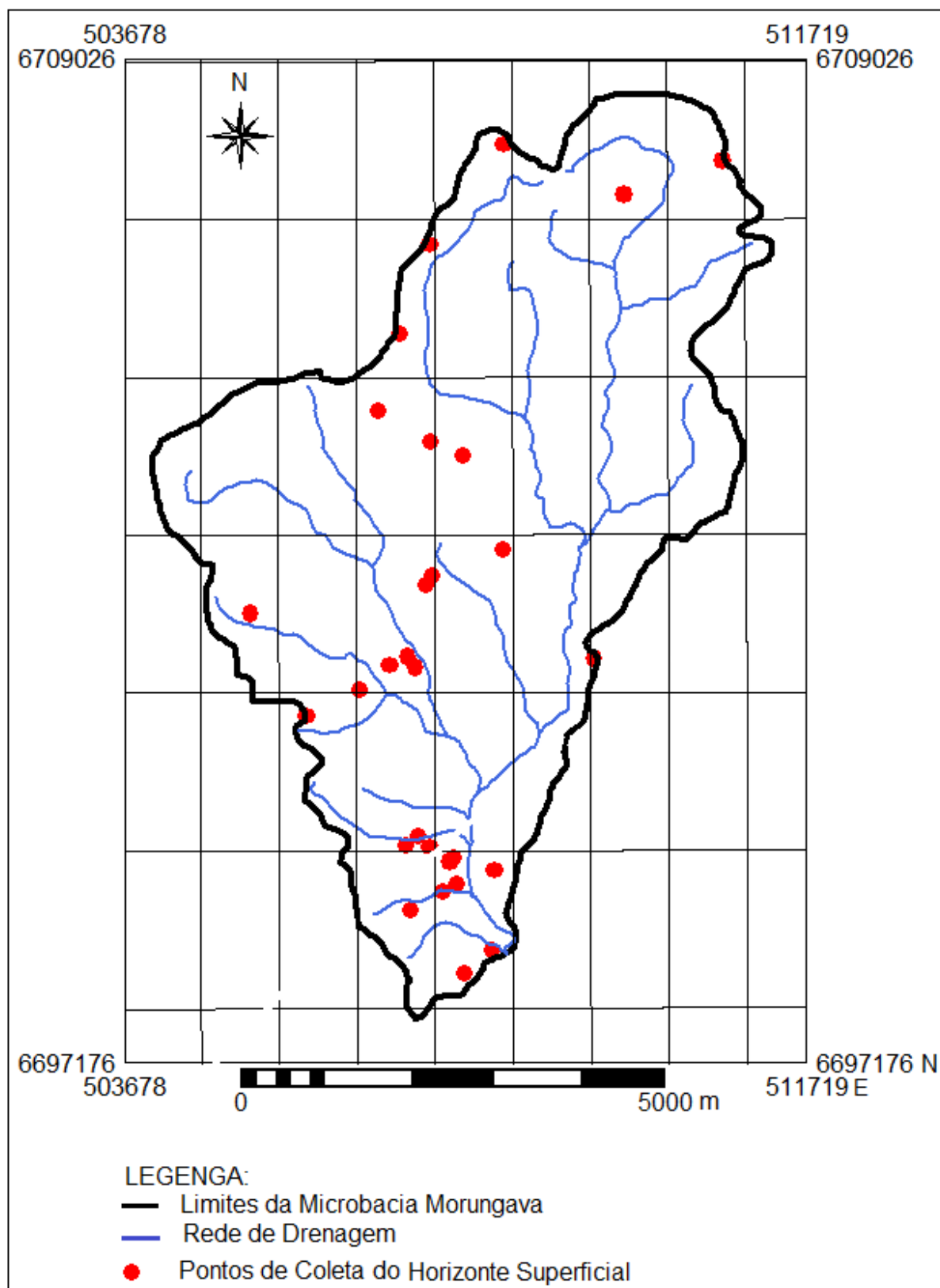


Figura 14 - Localização dos pontos de coleta no horizonte superficial dos solos na microbacia do arroio Morungava.

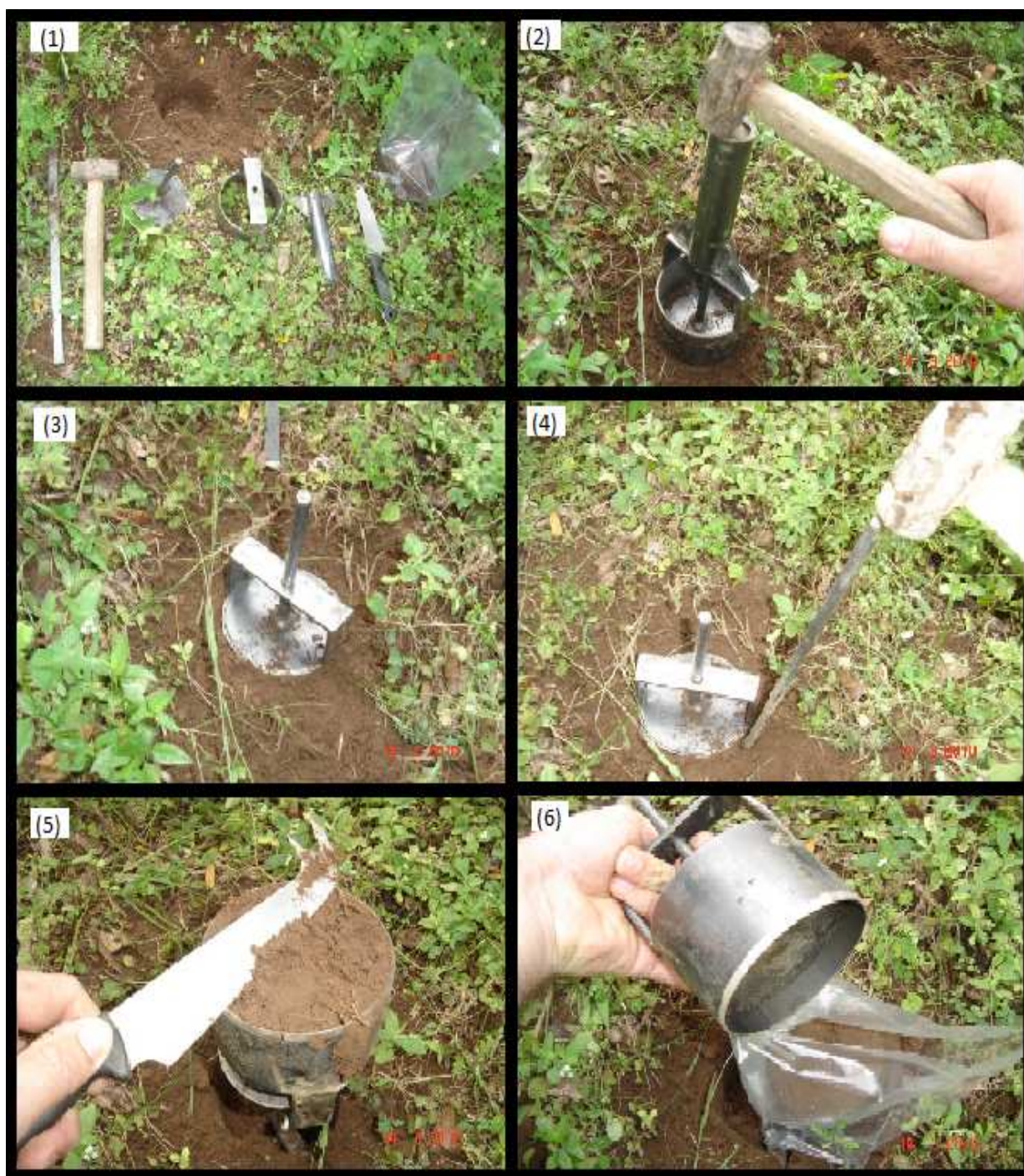


Figura 15 - Sequência de procedimentos para coleta de amostras no horizonte superficial com anel volumétrico.

(1) Material utilizado na coleta; (2) - Inserção do anel no solo; (3) – Anel totalmente inserido no solo; (4) – Retirada do anel do solo; (5) – Remoção do excesso de solo e (6) – Acondicionamento da amostra em saco plástico.

6.3 Estimativa da erosão

A Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978) destinada a calcular a erosão do solo através de valores determinados por índices que representam: a erosividade da chuva, erodibilidade dos solos, topografia, uso e manejo e práticas conservacionistas. Embora seja uma equação empírica tem grande aceitação desde que adaptada às condições de estudo, podendo ser expressa pela equação (3).

Onde: A= erosão do solo por unidade de área e tempo ($t.ha^{-1}.ano^{-1}$); R= fator erosividade da chuva, que expressa o potencial erosivo da precipitação média anual ($MJ.mm.(ha.h.ano)^{-1}$); K = erodibilidade do solo, que representa a capacidade do solo de sofrer erosão por uma determinada chuva ($t.h.(MJ.mm)^{-1}$); L = fator topográfico que expressa o comprimento do declive (m) S = fator relevo que expressa o grau do declive (%); C = valor que expressa uso e manejo do solo e cultura; e P = valor que expressa a prática conservacionista do solo.

6.3.1 EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

O fator R expressa a capacidade da chuva de causar erosão. Através do Atlas Agroclimático do Rio Grande do Sul – 1:750:000, extraiu-se os mapas de chuvas mensais do período de 1931 a 1960, que foram digitalizados no Software Autocad 2009 e importados para o Software ILWIS 3.6 para a determinação deste fator. Utilizaram-se dados históricos de chuva para a equação porque estes estão disponíveis na forma espacializada. O método utilizado foi o coeficiente proposto por Fournier, que resulta na média mensal do índice de erosão, expressa pela equação (8).

$$EI = p^2 \times P^{-1} \quad (8)$$

Onde, EI= média mensal do índice de erosão ($MJ.mm.(h.ha)^{-1}$);

p= precipitação média mensal (mm); e

P= precipitação média anual (mm).

Para adequar este fator às condições climatológicas locais utilizou-se o ajuste de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), citado por Silva *et al.*, (2003), adaptado para a região de Campinas, São Paulo. Abaixo segue a equação de ajuste (9):

$$R = 68,73 \times (M1^2 \times P^{-1})^{0,841} \quad (9)$$

Onde,

R= índice médio de erosividade (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹);

M1= precipitação média mensal (mm); e

P= precipitação média anual (mm).

Foi utilizado o ajuste da região de Campinas - SP, por ser o local com características climáticas mais semelhantes à área de estudo. O valor anual da erosividade é obtido somando-se os valores de erosividade mensal (EI). Para converter para o sistema métrico de unidades (tm.mm.ha⁻¹.h⁻¹.ano⁻¹), dividiram-se os valores por 9,81. Posteriormente, os valores foram interpretados conforme (Quadro 7).

Quadro 7 - Classes de erosividade da chuva.

Intervalos (tm.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classes de erosividade da chuva
R < 250	Fraca
250 – 500	Média
500 – 750	Média forte
750 – 1000	Forte
R > 1000	Muito forte

Fonte: Adaptado de CARVALHO, 1994.

6.3.2 ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

Este fator representa a suscetibilidade do solo em ser erodido, e é dado através de análises das características químicas e físicas do solo. Este fator foi determinado através do nomograma proposto por Wischmeier e Smith (1978), elaborado a partir da equação (10).

$$K = [2,1M^{1,14} \times 10^{-4}(12-a) + (3,25(b-2) + 2,5(c-3))] \times 100^{-1} \quad (10)$$

Onde: K= índice de erodibilidade do solo; a: porcentagem de matéria orgânica; b: classe de estrutura do solo, definida por (b=1 estrutura granular muito fina; b=2 estrutura granular fina; b=3 estrutura granular média ou grossa e b=4 estrutura granular em blocos; c= classe de permeabilidade do solo, definida por (c=1 permeabilidade rápida; c=2 permeabilidade moderada a rápida; c=3 permeabilidade moderada; c=4 permeabilidade lenta a moderada; c=5 permeabilidade lenta e c=6 permeabilidade muito lenta e; M= índice que representa a granulometria do solo, sendo calculado pela equação (11) e expresso em (%):

$$M = (\% \text{ silte} + \% \text{ areia muito fina}) \times (100 - \% \text{ argila}) \quad (11)$$

Os resultados obtidos foram interpolados no *software* ILWIS 3.6 para a geração dos parâmetros de matéria orgânica (a), estrutura (b), permeabilidade (c) e granulometria (M).

Os resultados obtidos para o fator K foram interpretados de acordo com o (Quadro 8).

Quadro 8 - Classes de erodibilidade do solo

Intervalos de erosão anual - K (t.ha.ano.t ^m .ha ⁻¹ .mm ⁻¹)	Classes de erodibilidade do solo
< 0,15	Baixa
0,15 – 0,30	Média
> 0,30	Alta

6.3.3 FATOR RELEVO (LS)

Quanto ao fator relevo, Wischmeier e Smith (1978) afirmam que tanto o comprimento do declive quanto o grau afetam a intensidade de erosão hídrica. Estes dois efeitos são estudados separadamente e são representados por L e S, respectivamente. Entretanto, para aplicação prática é mais conveniente considerá-los conjuntamente como um fator topográfico.

Através da carta de declividade da área elaborou-se uma carta de azimute e extraiu-se o dado comprimento do declive Fator (L) e grau de declive Fator (S) para cada célula da microbacia.

Este valor foi obtido pela equação de Williams e Berndt (1977), dada pela equação (12).

$$LS = (L \times 22,1^{-1})^m \times (0,065 + 0,0454 \times S + 0,0065 \times S^2) \quad (12)$$

Onde: $m = 0,2$ para $S < 0,5$; $m = 0,3$ para $0,5 \leq S < 3,5$; $m = 0,5$ para $S \geq 3,5$

6.3.4 USO E MANEJO DO SOLO (C)

Este fator representa a razão entre as perdas de solo resultantes quando o solo recebe dada cobertura e manejo, e as perdas ocorrem quando este mesmo solo encontra-se descoberto. Este valor foi atribuído através das imagens de satélite LANDSAT 2008, órbita 221, pontos 80 e 81, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Foram utilizados valores de médias anuais para situações de área coberta com vegetação (nativa ou exótica), áreas com campo / agricultura e solo exposto (área urbana), proposto por Mitchell & Bubenzer (1980) apud Silva *et al.*, (2003) apresentados no (Quadro 9):

Quadro 9 - Valores atribuídos para as situações de cobertura do solo na microbacia.

Prática / cobertura	Valor médio anual do Fator (C)
Solo exposto (área urbana)	1
Vegetação (nativa / exótica)	0,001
Agricultura	0,010

6.3.5 PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)

Quanto à avaliação das práticas antrópicas, Fator (P) adotou-se os valores de 0,5 a 1 proposto por Mitchell & Bubenzer (1980) *apud* Silva *et al.*, (2003) por tratar-se de uma área que corresponde a plantio em contorno.

6.4 Produção de sedimentos

A estimativa da produção de sedimentos foi obtida através de equações empíricas, onde a erosão bruta foi multiplicada pelas três taxas de produção de sedimentos (TPS1- TPS2- TPS3), resultando em um valor médio de TPS, proposto por PAIVA e PAIVA (2003).

6.4.1 ÁREA DE INFLUÊNCIA DA PRODUÇÃO E SEDIMENTOS

A distância da rede drenagem superficial e sua respectiva área de influência de produção anual de sedimentos foi obtida com a aplicação da função *drendistance* do *software* ILWIS, 3.6 e posterior análise gráfica no *software* EXCEL 2003.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Distribuição e Características dos Solos

Os tipos de solos, suas características e distribuição, são condicionados pela geologia, relevo e processos geomorfológicos atuantes na microbacia do arroio Morungava.

Nas encostas desenvolvidas sobre arenitos finos e médios das Formações Botucatu e Pirambóia ocorrem predominantemente Argissolos, com algumas inclusões de Neossolos e Cambissolos nos locais de maior ação erosiva. Para fins de mapeamento, devido à inexpressiva ocorrência de Neossolos e Cambissolos, esta unidade é aqui designada como Argissolo Vermelho-Amarelo.

Nos vales encontram-se solos Hidromórficos, desenvolvidos a partir dos Sedimentos Quaternários, os quais encontram-se parcialmente saturados e sujeitos as inundações periódicas por ocasião das cheias do arroio Morungava. Esta unidade de mapeamento designada como Solos Hidromórficos é constituída por Planossolos, Gleyssolos e Areias Hidromórficas.

7.1.1 UNIDADE DE MAPEAMENTO – ARGISSOLO VERMELHO AMARELO

Esta unidade apresenta solos predominantemente espessos, arenosos (60% a 70%) e bem drenados, com teores de silte de (10% a 16%), e a presença de Horizonte B textural. Estas características favorecem a ação dos processos erosivos, principalmente nos horizontes superficiais. As características deste perfil é apresentada respectivamente nos (Quadros 10 e 11).

Quadro 10 - Características estruturais da Unidade de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo.

Horizonte	Prof.(cm)	Transição (cm)	Estrutura
A1	0 -10	Abrupta	Granular
A2	10-50	Clara	Granular
B1	50-110	Difusa	Blocos subangulares
B2	110-185	Difusa	Granular

Quadro 11 - Distribuição granulométrica da Unidade de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo.

Horizonte	Areia (%)			Silte (%)	Argila total (%)
	Fina	Média	Grossa		
A1	48	31,41	0,53	10	10,06
A2	41	37,09	0,89	16	5,02
B1	33	31,10	0,77	15	20,13
B2	39	41,17	0,80	11	8,03

7.1.2 UNIDADE DE MAPEAMENTO - SOLOS HIDROMÓRFICOS

Os solos desta unidade de mapeamento apresentam baixos teores de argila (4% a 9%) e conteúdo significativo de silte (14% a 31%) e areia (65% a 81%) que conferem a estes solos uma baixa resistência erosiva. O perfil – tipo desta unidade de mapeamento, descrito nas coordenadas UTM (X 0507427 e Y 6699217), tem suas características apresentadas respectivamente nos (Quadros 12 e 13).

Quadro 12 - Características estruturais do perfil- tipo solos Hidromórficos.

Horizonte	Prof. (cm)	Transição (cm)	Estrutura
A1	0 – 13	Clara	Granular
A2	13 – 42	Clara	Granular
B1	42 – 79	Clara	Granular
B2	79 – 111	Clara	Granular
B3	111- 152	Clara	Granular

Quadro 13 - Distribuição granulométrica do perfil – tipo solos Hidromórficos.

Horizonte	Areia (%)			Silte (%)	Argila total (%)
	Fina	Média	Grossa		
A1	58	10,71	1,69	24	5,60
A2	52	16,45	1,21	26	4,34
B1	58	11,85	1,06	20	9,09
B2	60	20,14	0,81	14	5,05
B3	60	4,06	0,87	31	4,07

7.2 Análise de indicadores de erosão

Analisou-se a variação espacial e temporal dos teores de argila e matéria orgânica do horizonte superficial dos Argissolos e solos Hidromórficos, os quais são aqui utilizados como indicadores de erosão.

7.2.1 FRAÇÃO ARGILA

Os Argissolos mostram ao longo do perfil elevados teores de argila quando comparados aos solos Hidromórficos, embora ambos apresentem enriquecimento argiloso no horizonte “B” (Figura 16).

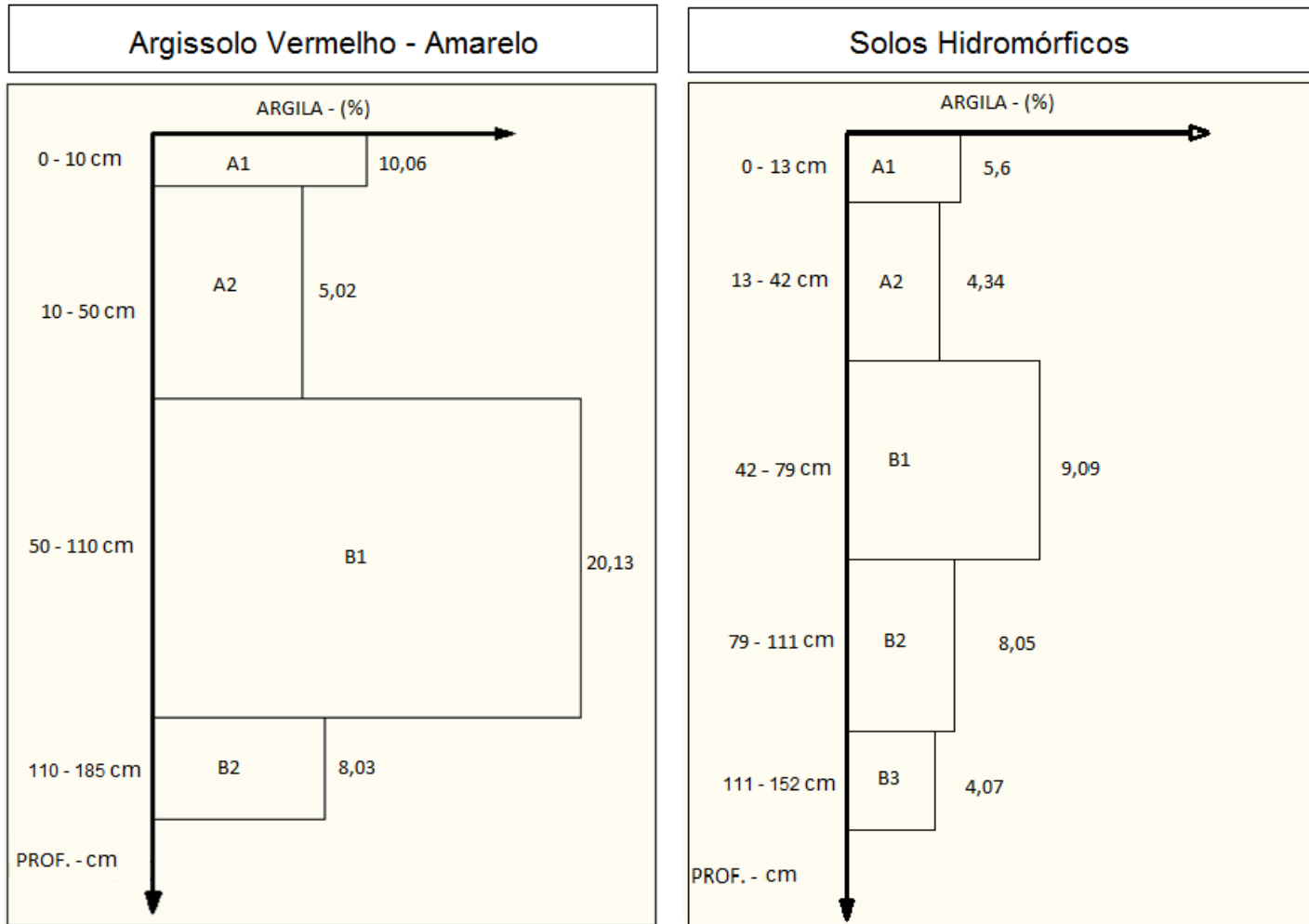


Figura 16 - Variação do teor de argila nas Unidades de Mapeamento Argissolo Vermelho Amarelo e solos Hidromórficos.

A fração argila do horizonte superficial mostra uma distribuição espacial com maiores teores no alto vale da ordem de 30%, os quais decrescem no sentido montante – jusante, atingindo teores em torno de 10% próximo ao exutório da microbacia (Figura 17). Acima de 200 m de altitude, conforme observa-se na (Figura 18), os argissolos apresentam teores entre 15% e 30% de argila, enquanto abaixo desta altitude os teores situam-se entre 10% e 15%. A proximidade com as rochas efusivas da Formação Serra Geral pode ser um fator determinante da ocorrência de maiores teores de argila em cotas elevadas. Outra hipótese, considerando que argissolos apresentam horizonte “B” argiloso, seria da erosão intensa ou mesmo remoção dos horizontes superficiais mais arenosos, expondo em superfície os horizontes subsuperficiais mais argilosos.

Os solos Hidromórficos não mostram qualquer efeito do relevo sobre o teor de argila (Figura 19).

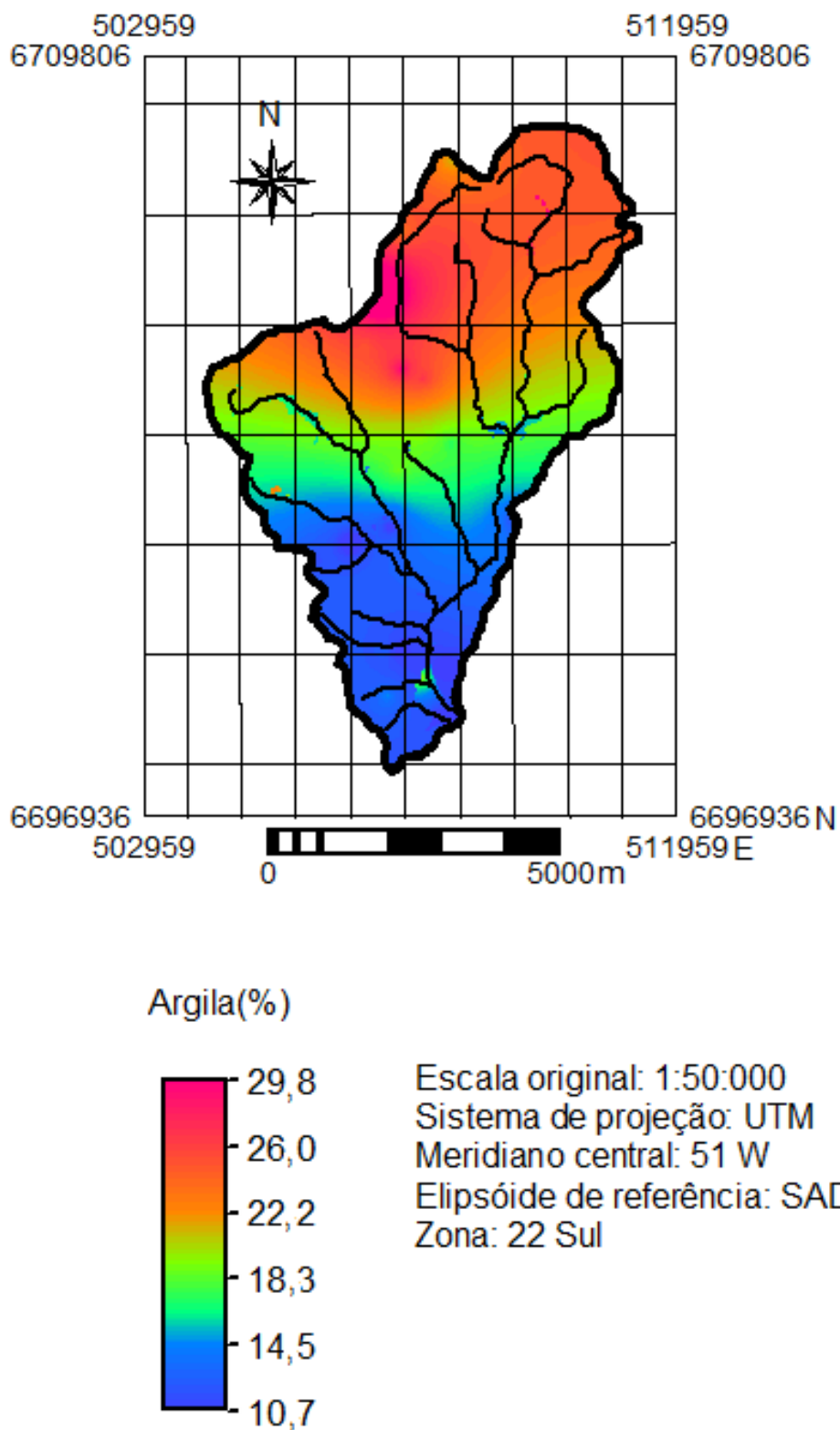


Figura 17 - Variação do teor de argila do horizonte superficial dos Argissolos e solos Hidromórficos.

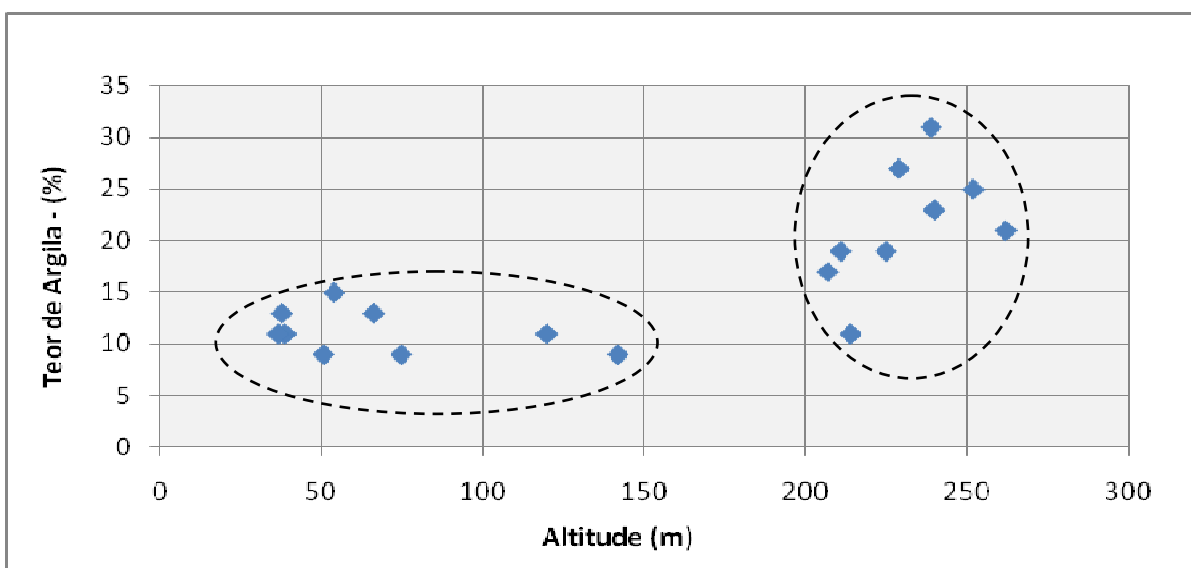


Figura 18 - Variação do teor de argila com a altitude no horizonte superficial dos Argissolos.

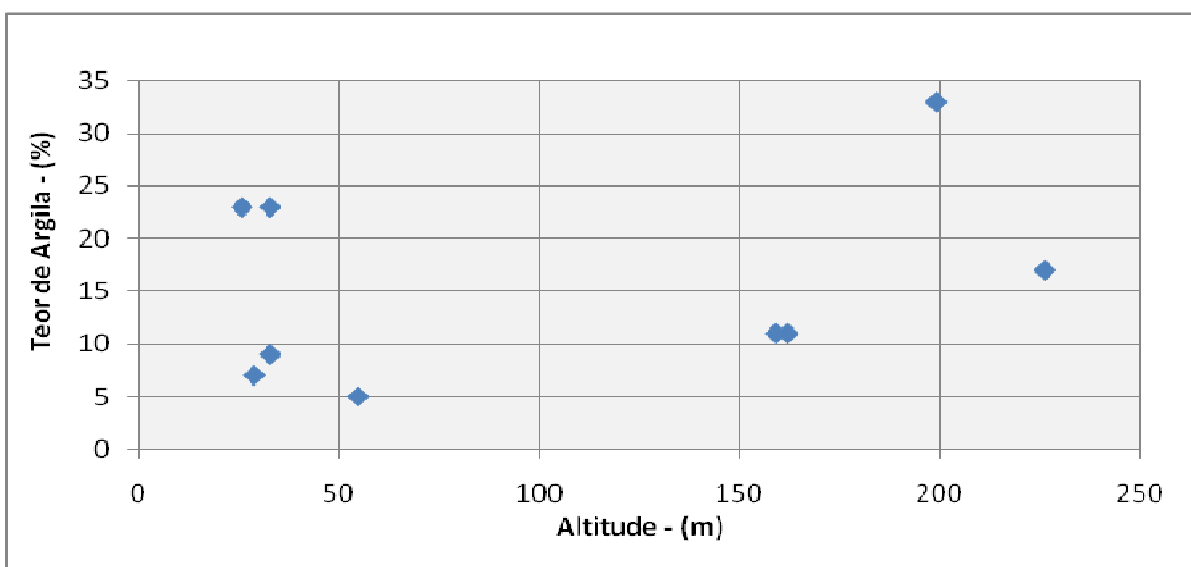


Figura 19 - Variação do teor de argila com a altitude no horizonte superficial dos solos Hidromórficos.

Uma primeira aproximação dos processos de erosão natural e antropicamente acelerada pode ser obtida analisando o comportamento do horizonte da erosão dos solos em relação ao declive e ao tempo de uso (Figuras 20 e 21).

A erosão natural, condicionada principalmente pela declividade dos terrenos, mostra uma redução contínua da fração argila com o aumento do declive. Verifica-se também para declives acima de 30%, uma tendência de estabilização, em torno de teores mínimos da ordem de 8% da fração argila, os quais são aqui denominados como teores de base. Este comportamento indica que a erosão é condicionada pelo relevo, o qual propicia a erosão superficial em intensidade proporcional à declividade do terreno. O limite superior pode representar o efeito da erosão natural, sem interferência antrópica. É interessante observar que para declives iguais ou superiores a 38% atinge-se valores da ordem de 8% da fração argila, que são os valores mínimos detectados nos perfis – tipo (Horizonte B2), refletindo a máxima ação erosiva.

Em relação à erosão antropicamente acelerada, observa-se uma tendência inicial semelhante ao comportamento da erosão natural, com os teores de argila do horizonte superficial tendendo ao valor mínimo de 9%. Entretanto, a partir dos 30 anos de uso, os teores ascendem bruscamente para valores próximos de 20%, sugerindo o truncamento do perfil do solo, com exposição em superfície do horizonte “B”. Este processo pode ser antecipado, devido ao uso inadequado dos solos, o horizonte superficial pode ser removido aos 20 anos de uso.

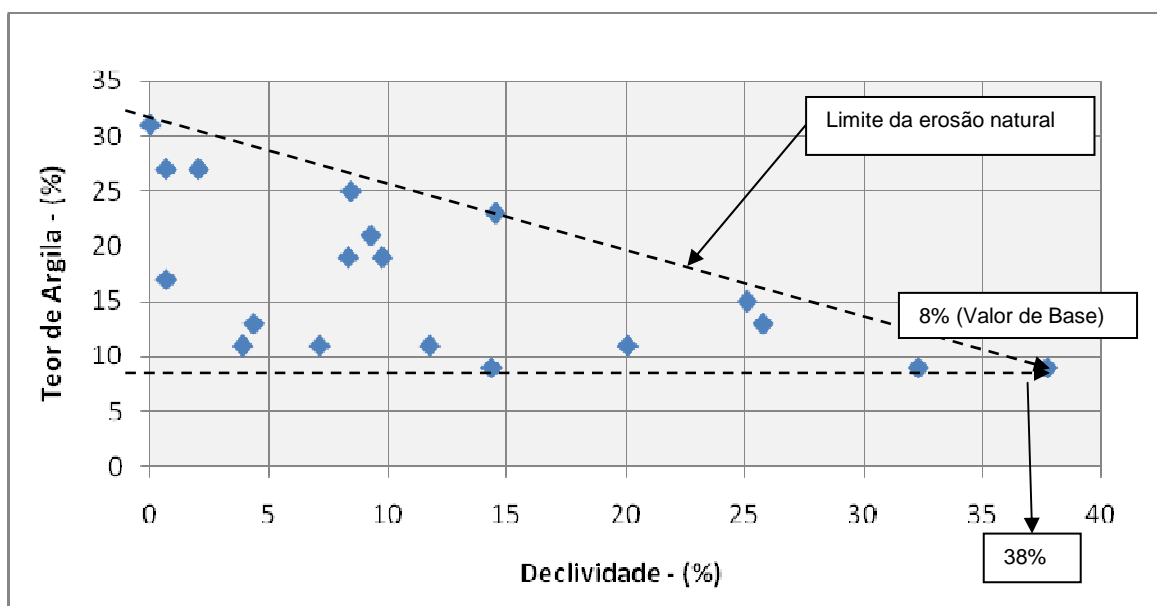


Figura 20 - Variação do teor de argila com o declive do terreno no horizonte superficial nos Argissolos.

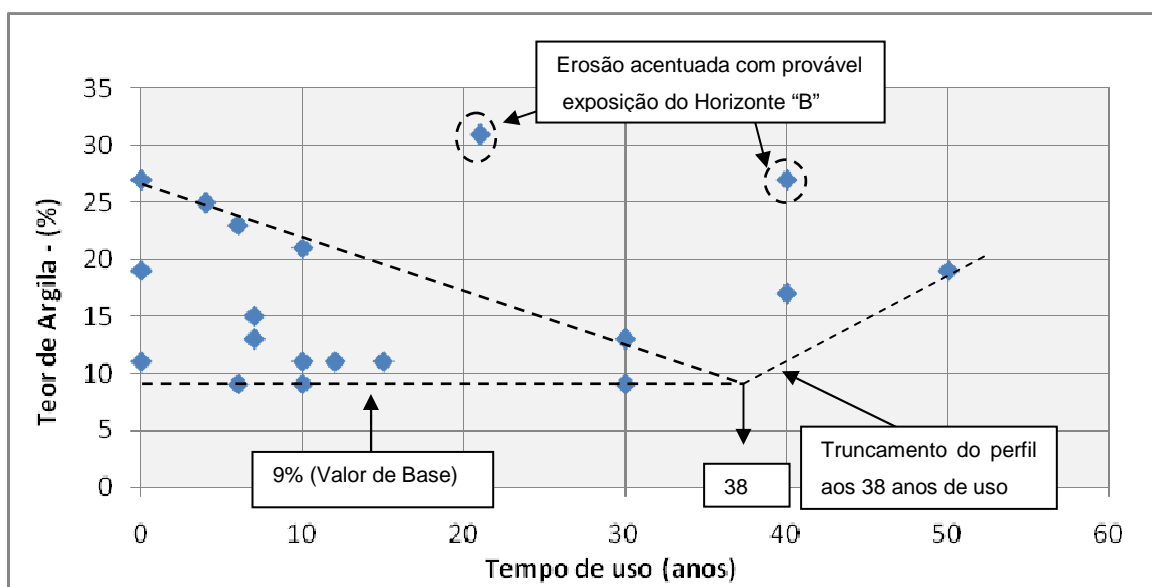


Figura 21 - Variação do teor de argila com o tempo de uso no horizonte superficial dos Argissolos.

7.2.2 *MATÉRIA ORGÂNICA.*

Os solos Hidromórficos mostram maiores teores de matéria orgânica que os Argissolos, inclusive com acentuadas variações verticais ao longo do perfil. Por sua vez, os Argissolos mostram teores decrescentes com a profundidade (Figura 22).

Estes solos apresentam redução progressiva da matéria orgânica em direção ao exutório da microbacia. Os teores de matéria orgânica do horizonte superficial dos Argissolos decrescem do alto para o baixo vale, enquanto as ocorrências de solos Hidromórficos comportam-se como áreas de concentração e preservação de matéria orgânica, nos quais seus teores chegam a atingir 3,8% (Figura 23).

Os teores de matéria orgânica e argila mostram comportamento similar, indicando um possível efeito protetor da argila sobre a matéria orgânica, reduzindo as taxas de oxidação desta última (Figura 24 e 25).

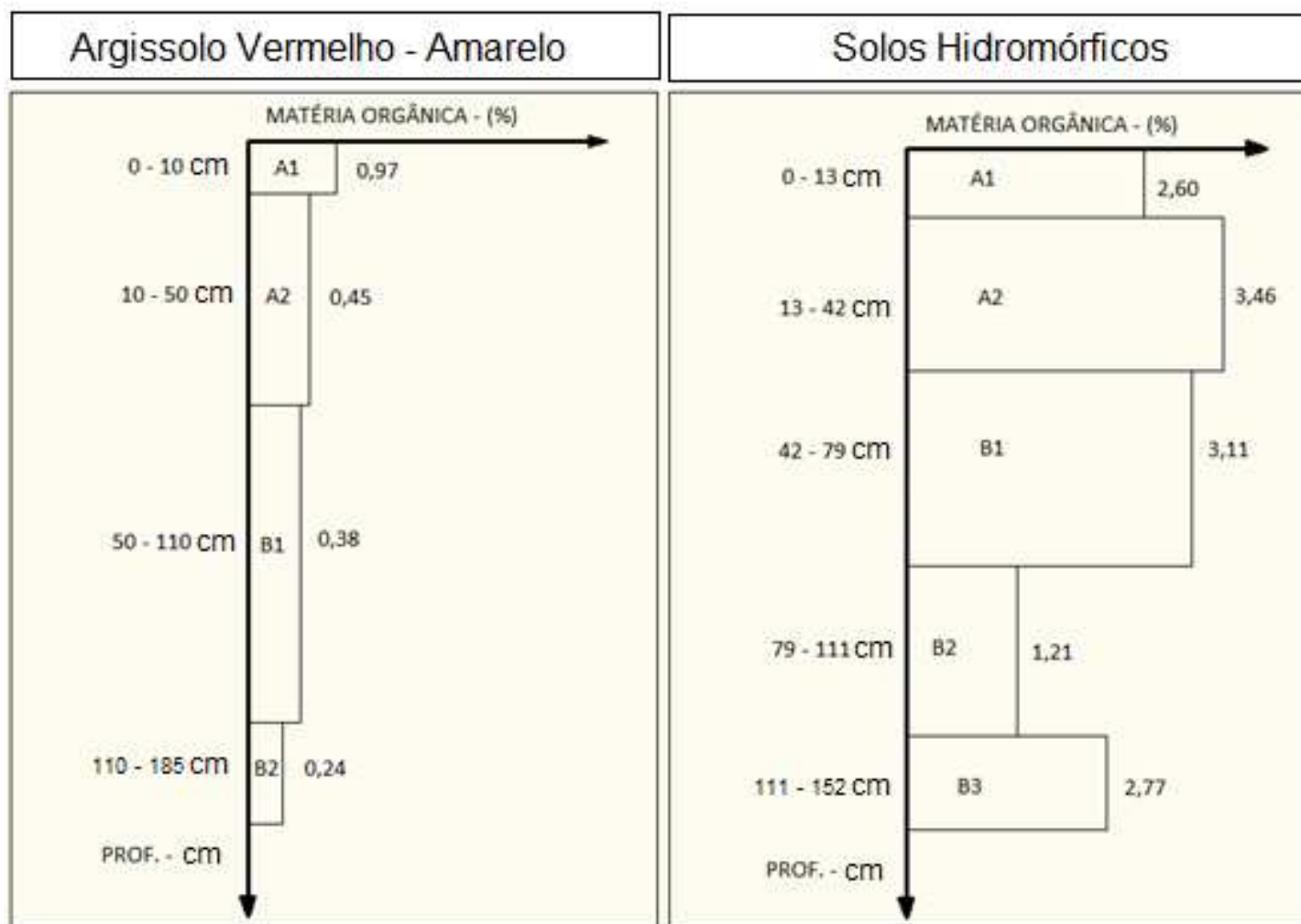


Figura 22 - Distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil dos solos, Argissolos e Hidromórficos.

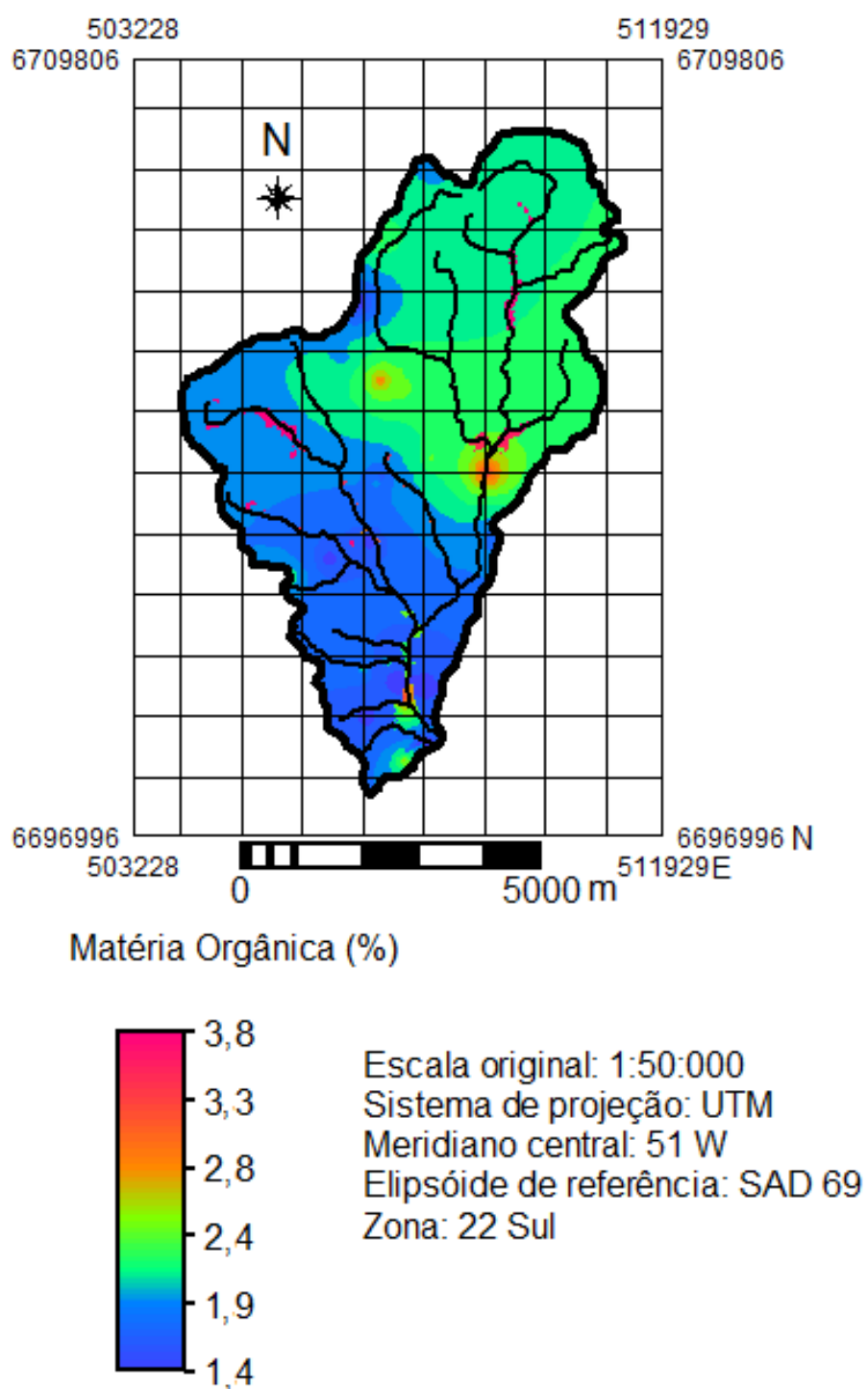


Figura 23 - Distribuição da matéria orgânica do horizonte superficial do solo na microbacia do arroio Morungava.

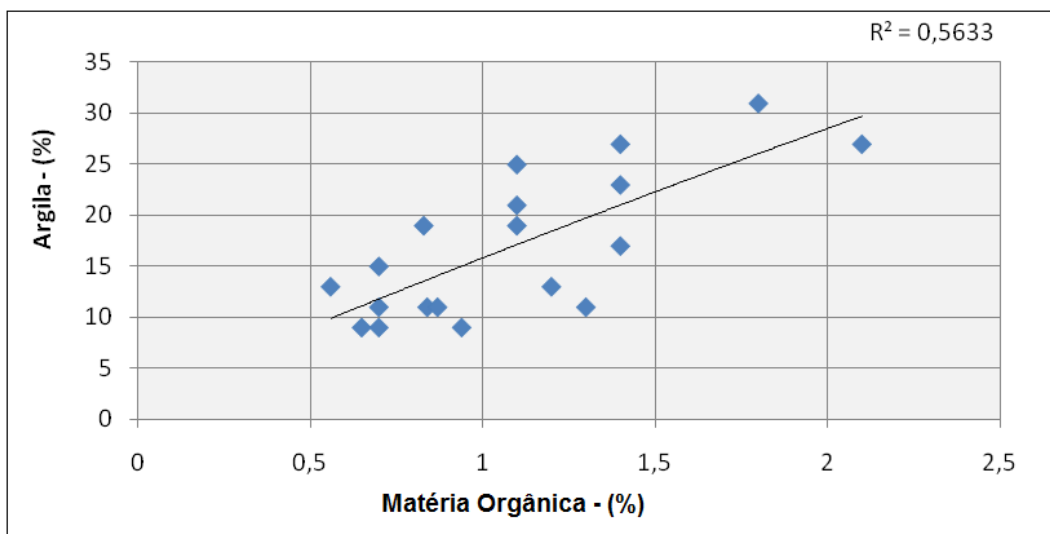


Figura 24 - Relação entre os teores de argila e matéria orgânica nos Argissolos.

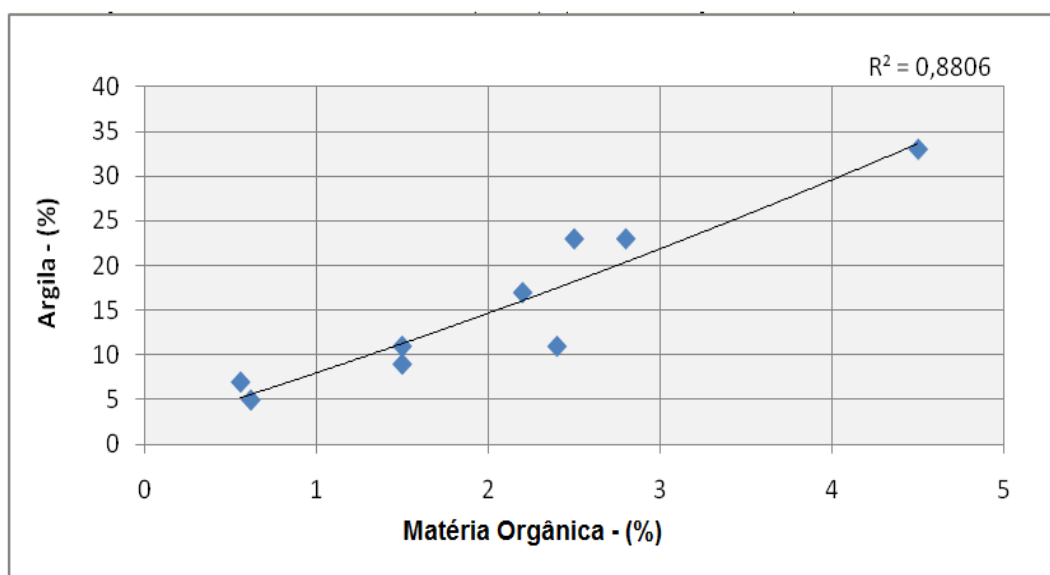


Figura 25 - Relação entre os teores de argila e matéria orgânica nos solos Hidromórficos.

7.3 Estimativa da Erosão através de Modelos SIG

A mobilização dos sedimentos em uma microbacia inicia-se com o processo de erosão. Um dos modelos clássicos para estimativa dos processos erosivos é a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), a qual foi desenvolvida inicialmente para quantificar a erosão de encostas em condições geomorfológicas restritas.

As adaptações posteriores deste modelo, tanto geomorfológicas quanto climáticas, permitiram a aplicação do mesmo através da análise espacial da erosão, o que aqui é feito através de técnicas (SIG). Para este fim, foram inicialmente elaborados mapas de atributos dos solos, que permitiram a análise a seguir:

7.3.1 *EROSIVIDADE DA CHUVA (R)*

A erosividade da chuva, avaliadas com séries históricas de 30 anos (1931 a 1960), varia ao longo do ano, apresentando períodos mais erosivos de junho a outubro. A maior erosividade situa-se no alto vale decrescendo de montante para jusante. A soma dos mapas mensais resultou em um mapa médio anual de erosividade da chuva (Figura 26). Este índice variou de média a forte, conforme a classificação descrita por (CARVALHO, 1994).

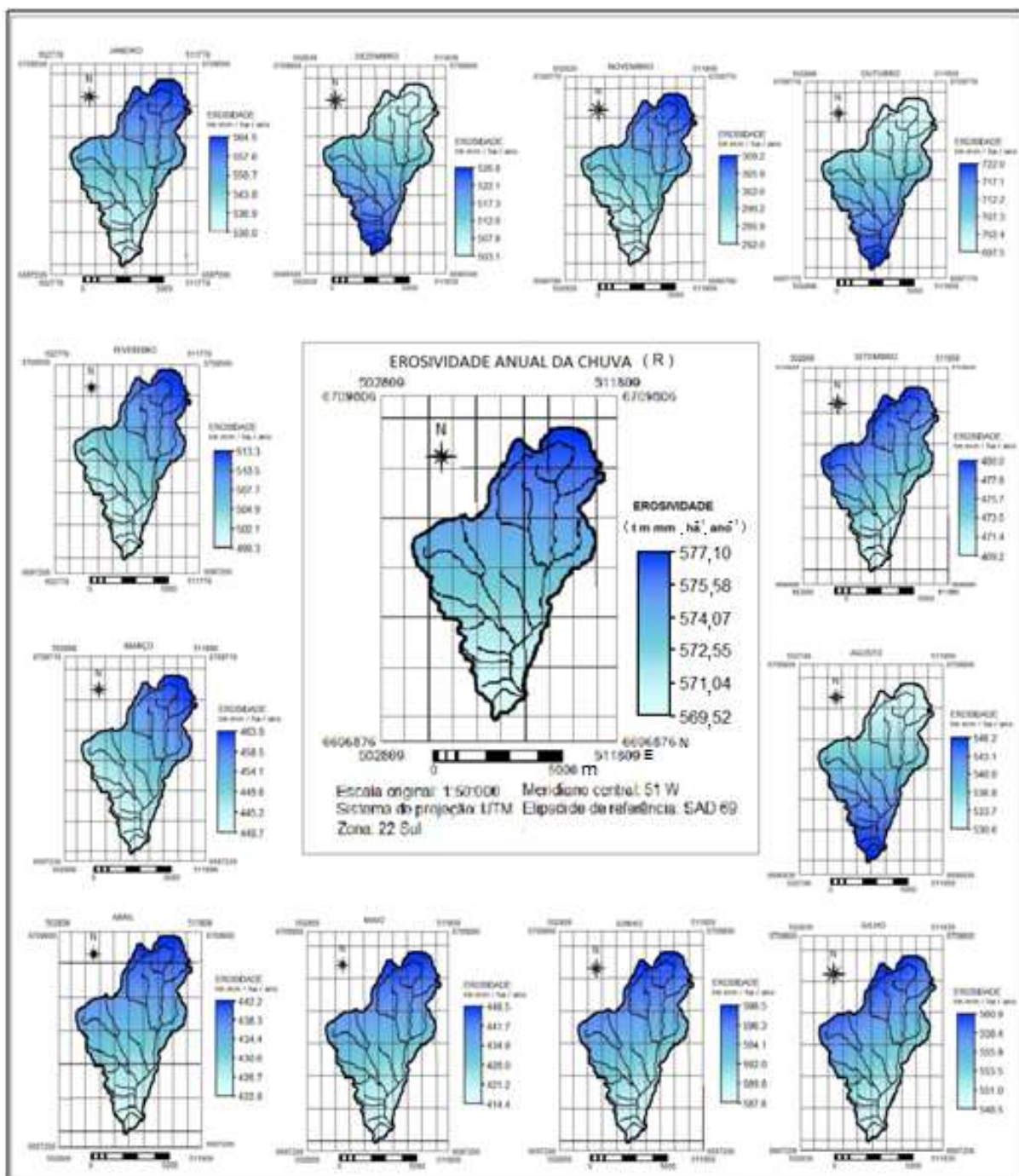


Figura 26 - Mapa de erosividade anual da chuva em $(t.m.m.ha^{-1}.ano^{-1})$ no período de 30 anos.

Estes mapas são a seguir apresentados (Figura 27) e os valores correspondentes da microbacia para estes atributos encontram-se no (Quadro 14), onde observa-se que a granulometria apresentou maior concentração de areia fina, variando entre 25,1% a 52,2%, argila entre 10,9% e 29,9% e o silte variou entre 11,5% e 25,6%. Os valores de matéria orgânica encontram-se entre 1,4% nos solos Argissolos a 3,8% nos solos Hidromórficos. Quanto à estrutura, os mesmos apresentam-se entre 1,1 a 2,8, variando de muito pequena granular nos solos Hidromórficos e de média a grande granular nos Argissolos. Por fim, a permeabilidade esteve distribuída de moderada a rápida nos Argissolos e muito lenta nos solos Hidromórficos.

Quadro 14 - Valores dos atributos do solo e suas respectivas classes de referências

ATRIBUTOS	CLASSES	VALORES ENCONTRADOS NESTE ESTUDO
MATÉRIA ORGÂNICA (%)	0% a 4%	Variou entre 1,4% nos Argissolos a 3,8% nos solos Hidromórficos.
ESTRUTURA	1- Muito pequena granular 2- Pequena granular 3- Média a grande granular 4- Bloco laminar ou maciça	1,1 a 2,8, variando de muito pequena granular nos Solos Hidromórficos a pequena granular nos Argissolos.
PERMEABILIDADE	1- Rápida 2-Moderada a rápida 3-Moderada 4-Lenta a moderada 5-Lenta e 6-Muito lenta	2,0 a 5,9, distribuída de moderada a rápida nos Argissolos e Lenta nos Solos Hidromórficos
GRANULOMETRIA (%)	Silte (%) Areia Fina(%) Argila(%)	11,5% - 25,6% 25,1% - 52,2% 10,9% - 29,9%

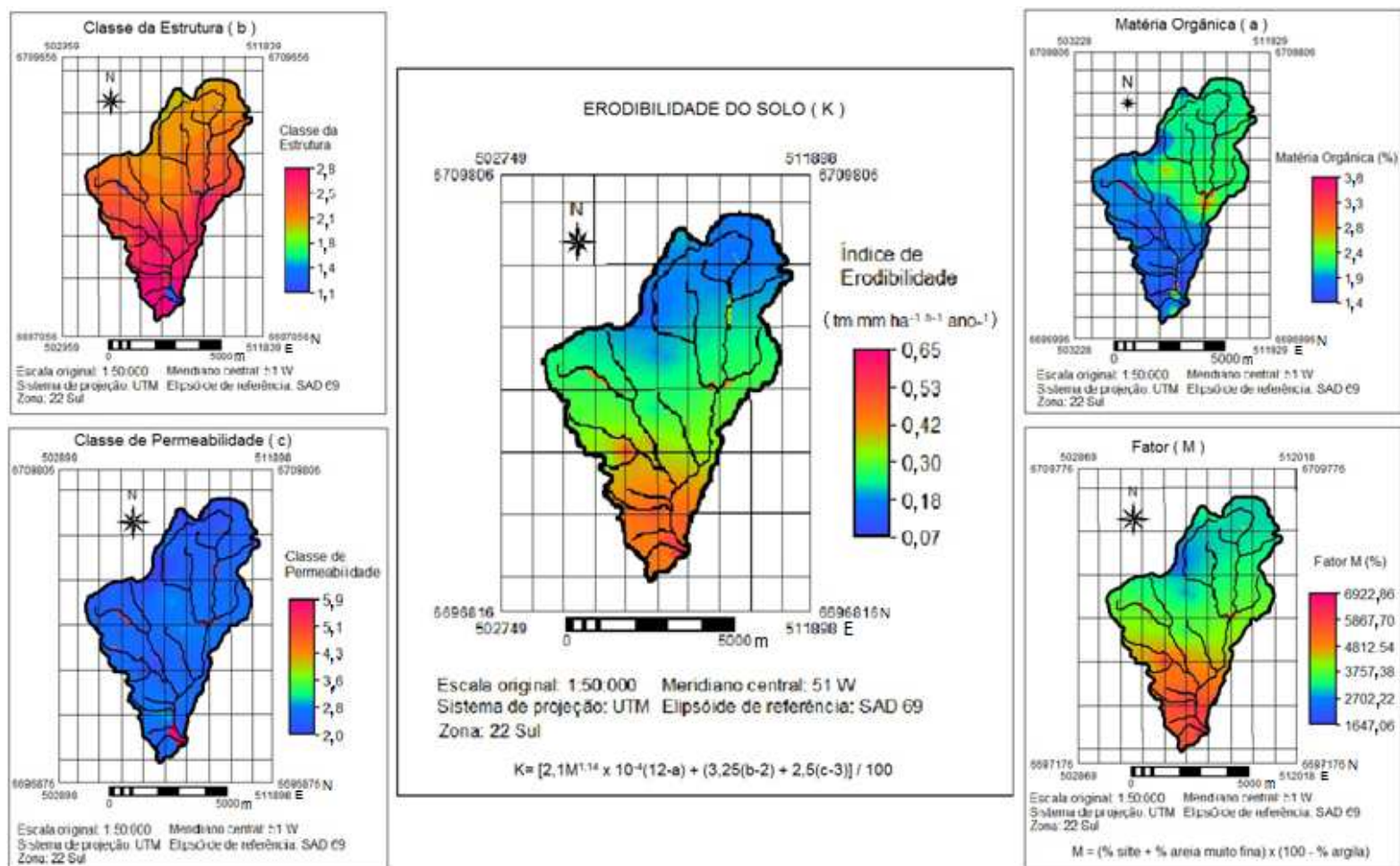


Figura 27 - Índice de erodibilidade do solo Fator (K) no mapa do centro da figura e no entorno os mapas das variáveis que são utilizadas para cálculo da erodibilidade do solo.

Verifica-se que os solos Hidromórficos apresentam os maiores índices de erodibilidade, o que não significa que os mesmos estejam submetidos à erosão acentuada, pois estes ocorrem nas várzeas, com relevo plano e declive de 0% - 3%.

Os Argissolos mostram baixo índice de erodibilidade no alto vale justamente onde os mesmos apresentam os maiores teores de argila. Estes solos apresentam erodibilidade crescente de montante para jusante.

Quanto à erodibilidade na porção superior da microbacia este parâmetro manteve-se baixo, 0,07 mantendo aumento deste até o exutório, onde atingiu valores de 0,65 sendo representado pela classe de forte erodibilidade.

7.3.2 *FATOR TOPOGRÁFICO (LS)*

O fator relevo (LS) variou de plano a íngreme, com declives da ordem de 0% a 40%. As características geomorfológicas da área resultaram em fatores LS predominantemente baixos, com maiores valores localizados nas encostas do baixo vale.

7.3.3 *USO E MANEJO DO SOLO (C)*

As áreas de cobertura de cada um dos usos do solo correspondem à vegetação, solo exposto e agricultura. Foi possível atribuir para a área os três tipos de usos citados por Carvalho (1994), pois o uso do solo da bacia corresponde ao proposto por este autor.

7.3.4 *PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)*

A prática conservacionista da área em estudo, que tem predomínio da Agricultura Familiar é o plantio em contorno.

7.3.5 EUPS

A quantificação final da erosão bruta através do método de Wischmeier e Smith (1978) é o resultado da multiplicação espacializada de todos estes fatores apresentados anteriormente, os quais são apresentados no (Quadro 15) e na (Figura 28).

Quadro 15 - Atributos e classes analisados da EUPS.

ATRIBUTOS	CLASSES	VALORES ENCONTRADOS NESTE ESTUDO
EROSIVIDADE DA CHUVA ($\text{tm.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)	R < 250 – Fraca 250 - 500 - Média 500 - 750 - Média a forte 750 - 1000 – Forte R > 1000 – Muito forte	569,62 a 577,10 abrangendo um valor entre 500 - 750 – Média a forte.
ERODIBILIDADE DO SOLO ($\text{t.ha.ano.tm}^{-1}.\text{ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$)	< 0,15 – Baixa 0,15 – 0,30 - Média >30 – Forte	0,07 nos Argissolos da porção superior e 0,65 nos Solos Hidromórficos da área de deposição.
LS – COMPRIMENTO DO DECLIVE (m) e DECLIVIDADE (%)	S= grau de declive (%) L= comprimento da rampa	Variou de plano à íngreme.
COBERTURA DO SOLO – (C)	0,001 – 1,0	0,001 – 0,010 – 1,0
PRÁTICAS DE MANEJO – (P)	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0

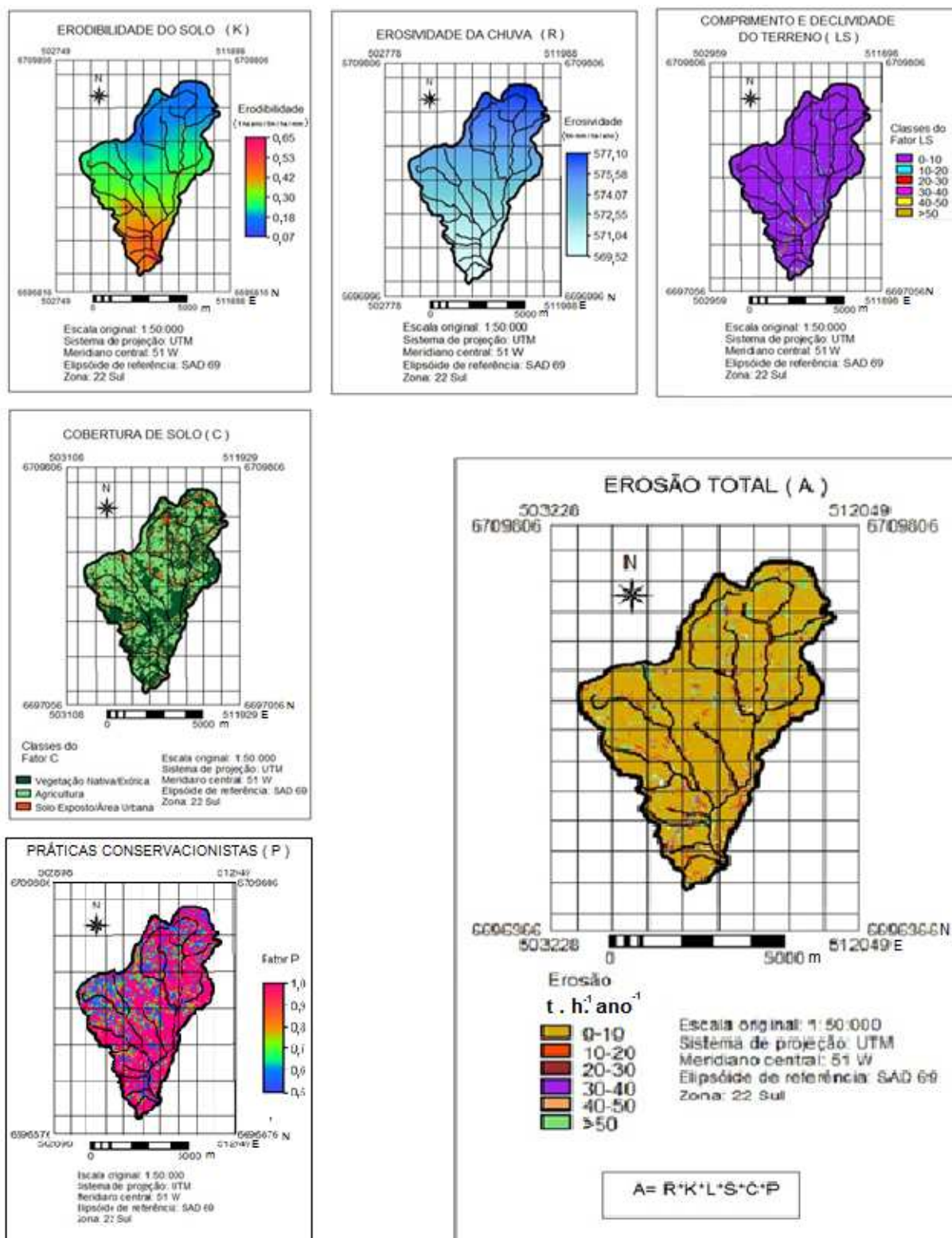


Figura 28 - Resultado final da (EUPS), e no entorno os mapas das variáveis que multiplicados resultaram na erosão total da microbacia do arroio Morungava.

No (Quadro 16) verifica-se que a maior parte da microbacia 84,17% apresenta erosão até $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, sendo definida conforme a FAO (1980) de baixa classe de erosão, enquanto 15,83% da área encontra-se distribuída nas demais classes $10 > 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

Quadro 16 - Classes de erosão da microbacia do arroio Morungava.

Classes de erosão ($\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$)	Área (km^2)	Área (%)
0-10	32,97	84,17
10-20	1,32	3,38
20-30	0,60	1,52
30-40	0,31	0,78
40-50	0,25	0,63
>50	6,45	11,04

7.4 Estimativa da produção de sedimentos

Como visto anteriormente, a abordagem deste fenômeno é essencialmente empírica. Um dos métodos utilizados é a Taxa de Produção de Sedimentos - TPS, proposto por Paiva e Paiva (2003), o qual estima o valor de sedimentos que podem ser transportados anualmente até o exutório da microbacia conforme (Quadro 17), onde verifica-se que a TPS estimada para a microbacia apresenta valores que coincidem como apresentado na figura 3, valores que quando analisados percentualmente estão próximos a 30 %.

Quadro 17 - Valores de TPS e Produção de Sedimentos.

Taxa de Produção de Sedimentos	TPS-1	TPS-2	TPS-3	TPS- Médio
	0,152	0,144	0,582	0,292
Produção de Sedimentos (t.ano^{-1})	8.025,6	7.603,2	30.729,6	15.452,8

A (Figura 29) permite uma análise mostrando que uma fração significativa dos maiores índices erosivos coincide ou estão próximo à rede de drenagem superficial, onde os índices de erosão são analisados até uma distância de 60 m dos cursos d'água. O histograma que foi gerado pelo mapa permite uma avaliação mais criteriosa deste fenômeno, onde de um total de 43.517 pixels, 39.453, ou seja, 90,7% indicam que há em toda a microbacia uma erosão de $52.812 \text{ t.ano}^{-1}$. Estes índices de erosão obtidos nas imediações da drenagem se mostram responsáveis por 52,6% da erosão total da microbacia, totalizando $27.761 \text{ t.ano}^{-1}$.

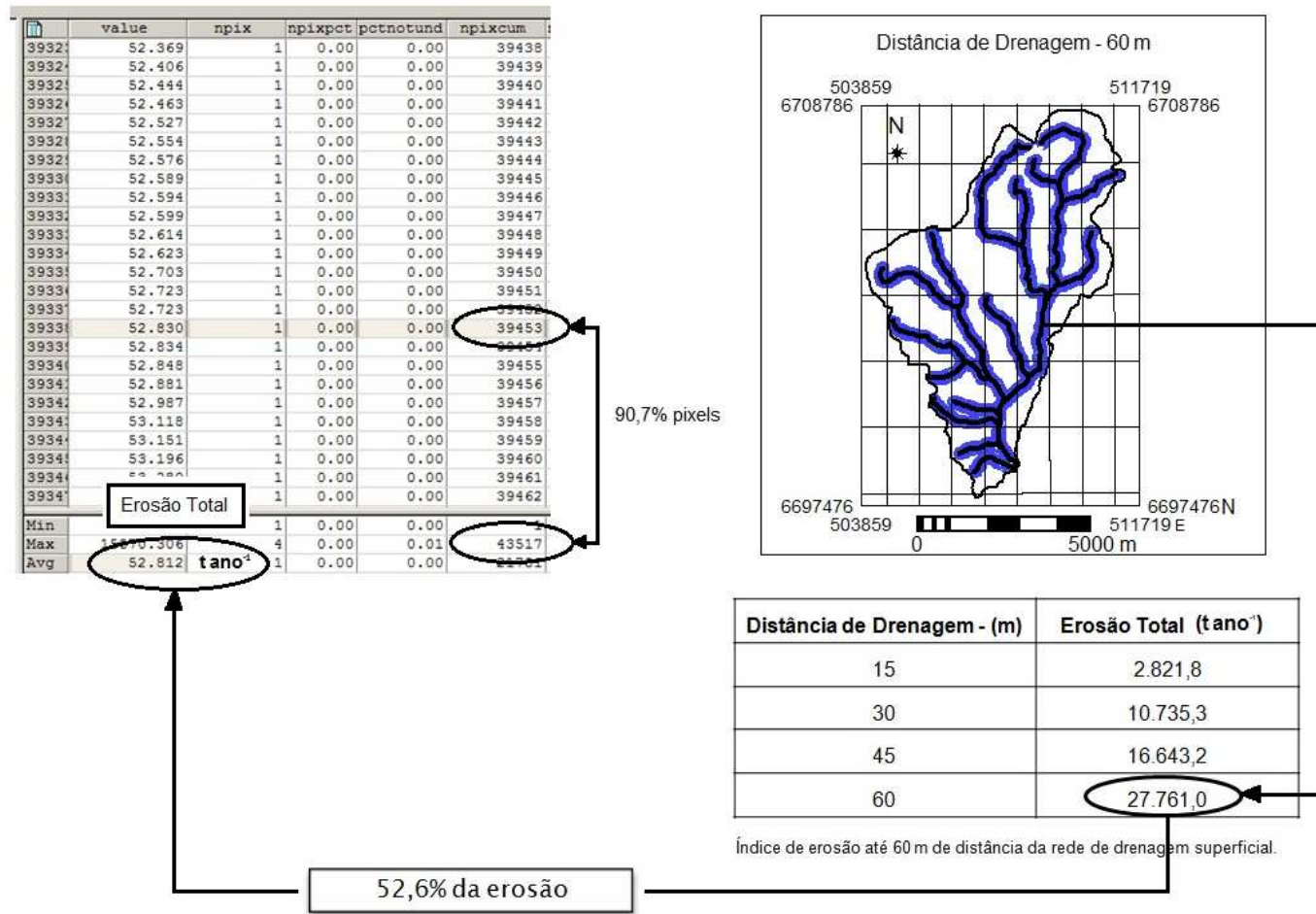


Figura 29 - Esquema representativo da erosão total na microbacia e do percentual de erosão a uma distância de 60 m da rede de drenagem.

Comparando-se a produção estimada de sedimentos com os índices de erosão nas imediações da drenagem, verifica-se que a média de produção de sedimentos da microbacia está estimada em $15.453 \text{ t.ano}^{-1}$, coincidindo com a erosão a uma distância 42 m da rede de drenagem superficial como mostra a (Figura 30).

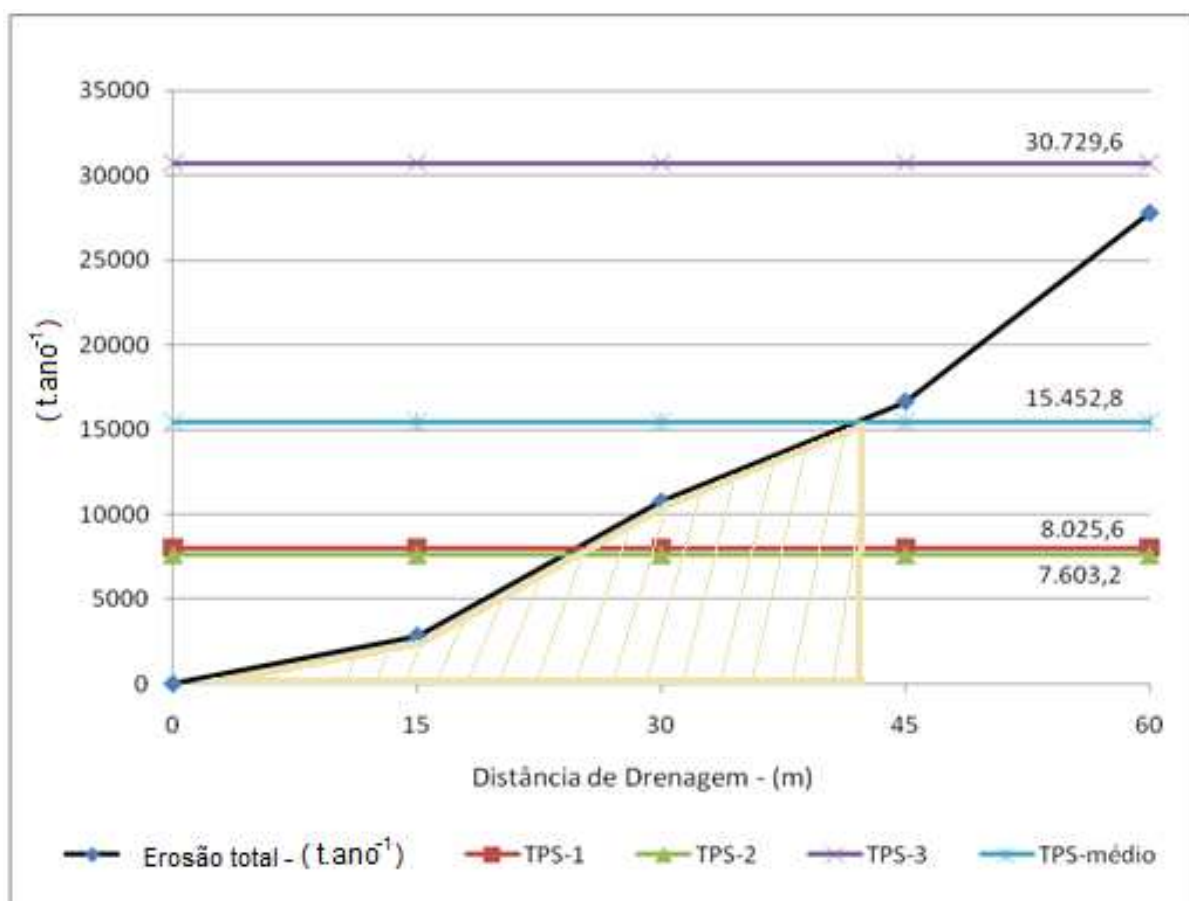


Figura 30 – Área de influência na produção de sedimentos para a rede de drenagem superficial.

Este valor pode ser indicativo da ordem de grandeza da distância de influência da rede de drenagem superficial sobre a produção anual de sedimentos na microbacia. Entretanto, a distância de influência expressa como a área hachurada da figura anterior deve ser variável, dependendo de fatores geomorfológicos e da erodibilidade dos solos.

8 CONCLUSÕES

- A erosão natural aumenta com a declividade das encostas, estimando-se que a mesma atinja seu valor máximo para declives a partir de 38%;
- a atividade antrópica acelera o processo erosivo, estimando-se que o horizonte superficial dos Argissolos possa ser removido em um período da ordem de 38 anos de uso;
- a argila e matéria orgânica mostram correlação no horizonte superficial dos solos, estimando-se que a fração argila exerça um efeito protetor, reduzindo a oxidação e a perda da matéria orgânica;
- 84% da área da microbacia apresentam erosão até $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, classificada como baixa erosão anual;
- os índices de erosão até 60 m da rede de drenagem superficial mostram valores mais elevados que o comportamento geral a microbacia;
- a produção de sedimentos (PS) através do método (TPS) resultou em $15.452.8 \text{ t.ano}^{-1}$ e;
- a erosão bruta até uma distância de 42 m a partir da rede de drenagem superficial corresponde à produção de sedimentos da microbacia, estimando-se que esta seja uma distância indicativa da área de captação anual de sedimentos pela rede de drenagem superficial.

9 RECOMENDAÇÕES

A microbacia do arroio Morungava apresenta uma área de 6,5 km² que merece especial atenção, sendo esta a que se refere aos expressivos focos erosivos, sendo classificada nestes pontos de acordo com a FAO como sendo de alta intensidade erosiva. A vegetação ciliar deve ser respeitada conforme legislação vigente, onde como mostra este estudo a área de influência na captação de sedimentos fica a uma distância de 42 m da rede de drenagem superficial, justificando a importância na preservação das matas que circundam os cursos d'água. Com o apoio de políticas públicas e privadas e o envolvimento da comunidade local poder-se-á criar políticas de preservação do solo, utilizando novas técnicas de plantio que não deixem o solo exposto, bem como a elaboração de um plano de uso e ocupação do solo e recuperação da mata ciliar.

10 LITERATURA CITADA

ABNT. NBR 6508. Grãos de Solos que passam na peneira de 4,8 mm – **Determinação da massa específica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP, 8p. (1984).

ABNT. NBR 7181. Solo – **Análise Granulométrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, SP, 2 p. (1984).

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. CPRM, Rio de Janeiro – RJ. 372p. (1994).

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. Editora Edgard Blücher, 2ª edição. São Paulo, SP. (1981).

COOKE, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology Environmental Management**. Clarend Press – Oxford, 413p. (1974).

DOUGLAS, C. L.; SMITH, J. H. The Relationship of Particle Size and Nitrogen Content to Decomposition of wheat straw in soil. **Agronomy Abstracts**. 93p. (1967).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p. (1999).

EMBRAPA. **Manual de Descrição e Coleta de Solo em Campo**. Campinas, SP 46p. (1982).

FACCINI, U.F. NETTO, R.G. PAIM, P.S.G. **Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares. Estudo de casos**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Programa de Pós – Graduação em Geologia. São Leopoldo, RS. 239p. (2003).

FAO. **Metodologia provisional evaluation de La degradacion de los suelos**. FAO/PNUMA. UNEP, Roma, 86p. (1980).

FILHO, V.M. **Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas**. Sociedade Brasileira de Ciência co Solo. Jaboticabal, SP, 223-242p (1994).

GUERRA, A. J. T.; SILVA. S.; BOTELHO, R. G. MACHADO. **Erosão e Conservação dos Solos. Conceitos, temas e aplicações**. BCD – União de Editoras S. A.; Rio de Janeiro, RJ, 340p. (1999).

IBGE. **Mapa Geológico de Gravataí. SH22XC**. Escala: 1:250:000. (2003).

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia, relações solo-planta**. Editora Ceres. São Paulo, SP. 263p. (1979).

LASERCA – **Laboratório de Sensoriamento Remoto e Cartografia Digital** - UNISINOS. São Leopoldo, RS.

MIRANDA, T. C.; BASTOS, C. B. e TASSI, R. Avaliação do potencial erosivo e da geração de sedimentos em Microbacias contribuintes a estruturas de drenagem rodoviária. **VII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos**. Porto Alegre, RS. (2006).

MOORE, I. D.; BURCH, G. L. Modeling erosion and depositon: topographic effects. **Transaction of the ASAE**, v. 20, n.6, p. 1624-1630, (1986).

MORGAM, R. C. P. **Soil Erosion e Conservation**. Longmann. 198p. (1986).

OLIVEIRA, M.G.B. Estudo dos Processos Erosivos e avaliação da produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica da Pampulha. **Dissertação de Mestrado**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte UFMG. (1996).

PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C.D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. ABRH: Porto Alegre, RS. 628p. (2003).

RENNÓ, C. D.; SOARES, J.V. – Conceitos básicos de modelagem hidrológica. **In: Introdução à Modelagem Dinâmica Espacial**. INPE, São José dos Campos, (2001).

SILVA, A.M.; SCHULTZ, H. E. CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. Editora Rima. São Carlos, SP. (2003).

SOUZA, C. F.; DORNELLES, A. M.; ACIOLI, L. A.; MERTEM, G.; Comparação dentre estimativas de produção de sedimentos na Bacia do Rio Potiribu. **7º Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. (2006)**.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. EMATER/RS. 2ª Edição. 222p. (2008).

TEIXEIRA, M. B. **Plano Ambiental de Gravataí**. PUC-RS – MCT, Porto Alegre (2005).

TEIXEIRA, M.B.; COURA NETO, A.B.; PASTORE, U.; RANGEL FILHO, L.R. Vegetação: as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos / Estudo fitogeográfico. **In: Levantamento de Recursos Naturais**. Vol. 33. IBGE, Rio de Janeiro. (1986).

TIWARI, A. K.; RISSE, L. M.; NEARING, M.A. Evolution of WEPP and its Comparison with USLE and RUSLE. **Transactions of the ASAE**, v.43, n.5, p.1129 – 1135, (2000).

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2ª Edição. Ed. Universidade UFRGS: ABRH. Porto Alegre, RS. (2000).

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning**. USDA Handbook, Washington, n.537, 57p. (1978).