

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**

**Rafael Mingoti**

**Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba  
2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Rafael Mingoti  
Engenheiro Agrônomo

**Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da  
cobertura florestal**

Orientador:  
Prof. Dr. **CARLOS ALBERTO VETTORAZZI**

**Dissertação apresentada para obtenção do título  
de Mestre em Agronomia. Área de concentração:  
Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba  
2009**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Mingoti, Rafael

Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da  
cobertura florestal / Rafael Mingoti. - - Piracicaba, 2009.  
101 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.  
Bibliografia.

1. Áreas de conservação 2. Bacia hidrográfica 3. Erosão 4. Sedimentologia 5. Sistema de  
Informação Geográfica I. Título

CDD 551.483  
M664p

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

**Dedico este trabalho aos meus pais, Vera e Antonio Donizetti Mingoti, que sempre se sacrificaram para os estudos de seus filhos; aos meus irmãos, Renata e Rodolfo por todos os momentos de nossas vidas; à minha esposa Mariana pela colaboração durante toda esta etapa; e ao meu filho Fernando pela alegria.**



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida e os dons e as graças recebidas em todos os seus momentos;

Aos meus pais, Vera Regina Bagne Mingoti e Antonio Donizetti Mingoti, pelo constante incentivo e incansável sacrifício para proporcionar a minha, e de meus irmãos, oportunidade de concluir cada passo dos nossos estudos;

À minha amada esposa Mariana Vaz Macia Mingoti pelo incentivo, companheirismo e compreensão durante esta etapa de nossas vidas;

Aos meus irmãos Renata e Rodolfo pela amizade e amor em todos os momentos;

A todos os familiares, parentes e amigos pelo incentivo e compreensão com o tempo dedicado à execução deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi, pela confiança depositada em mim desde o início da nossa caminhada neste mestrado e pela sua orientação.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade da realização de mais esta etapa em minha vida.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Ensino Superior - CAPES - pela concessão da bolsa de estudo.

Aos Professores Sílvio Frosini de Barros Ferraz e Marcelo Peske Hartwig, por suas constantes colaborações ao enriquecimento de meus conhecimentos e pelas sugestões que nos auxiliaram na condução desse trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, Prof. Dr. Décio Eugênio Cruciani, Professor Dr. José Antônio Frizzone, Prof. Dr. Iran José da Silva, Prof. Dr.

Marcos Vinicius Folegatti, Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, Prof. Dr. Sérgio Nascimento Duarte e Prof. Dr. Tarlei Ariel Botrel, que contribuíram de forma significativa para meu crescimento intelectual e pessoal;

Aos queridos colegas da pós-graduação em Irrigação e Drenagem pelo agradável convívio durante o curso.

A meus amigos Alexsandro Claudio dos Santos Almeida e Anthony Wellington Almeida Gomes pela ajuda e companheirismo durante o curso, principalmente nos momentos mais difíceis.

“Sem esforço não há recompensa.”

(ditado inglês, de autor desconhecido)

“Bem -aventurados os pobres de espírito, porque deles é o Reino dos céus!

Bem-aventurados os que choram, porque serão consolados!

Bem-aventurados os mansos, porque possuirão a terra!

Bem-aventurados os que têm fome e sede de justiça, porque serão saciados!

Bem-aventurados os misericordiosos, porque alcançarão misericórdia!

Bem-aventurados os puros de coração, porque verão a Deus!

Bem-aventurados os pacíficos, porque serão chamados filhos de Deus!

Bem-aventurados os que são perseguidos por causa da justiça, porque deles é o Reino dos céus!

Bem-aventurados sereis quando vos caluniarem, quando vos perseguirem e disserem falsamente todo o mal contra vós por causa de mim.

Alegrai-vos e exultai, porque será grande a vossa recompensa nos céus, pois assim perseguiram os profetas que vieram antes de vós.”

Mt 5, 3 - 12



## SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT .....	13
LISTA DE FIGURAS .....	15
LISTA DE TABELAS .....	17
LISTA DE SIGLAS e ABREVIATURAS.....	19
1 INTRODUÇÃO .....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 Importância do SIG nos estudos ambientais.....	25
2.2 Áreas de cobertura florestal exigidas por Lei .....	26
2.2.1 Área de Preservação Permanente .....	26
2.2.2 Reserva Legal .....	27
2.3 Cobertura florestal, tamanho da APP e RL e largura da zona ripária.....	28
2.4 Equação Universal de Perda de Solo.....	32
2.5 Perda de solo .....	34
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Material.....	43
3.1.1 Área de estudo .....	43
3.1.1.1 Localização geográfica.....	43
3.1.1.2 Relevo .....	45
3.1.1.3 Geologia .....	46
3.1.1.4 Clima .....	47
3.1.1.5 Solos .....	47
3.1.1.6 Uso e cobertura do solo .....	49
3.1.2 Mapas digitais .....	50
3.1.3 Dados pluviométricos .....	51
3.1.4 Sistemas computacionais.....	52
3.2 Métodos.....	52
3.2.1 Complementação do mapa das curvas de nível e pontos cotados .....	52
3.2.2 Geração do MDT .....	53

3.2.3 Escolha das microbacias .....	54
3.2.4 Definição dos cenários e elaboração dos mapas dos fatores C e P .....	56
3.2.5 Elaboração do mapa de erodibilidade dos solos .....	61
3.2.6 Cálculo da erosividade das chuvas.....	62
3.2.7 Estimativa dos valores de erosão anual .....	64
3.2.8 Fluxograma da Metodologia .....	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	67
4.1 Redução relativa na perda de solo anual.....	67
4.1.1 Classe de declividade .....	69
4.1.2 Tamanho da Área de Preservação Permanente.....	71
4.1.3 Tamanho da Reserva Legal.....	72
4.1.4 Localização da Reserva Legal.....	74
4.1.5 Contribuição de cada fator estudado .....	76
5 CONCLUSÕES.....	83
REFERÊNCIAS .....	85
ANEXOS.....	99

## RESUMO

### **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**

Com a intensa discussão entre proprietários e órgãos públicos sobre a quantidade de área com cobertura florestal necessária em propriedades rurais de diferentes regiões, ocorreu o aumento da necessidade da disponibilização de dados técnicos que sirvam de suporte à discussão. Além das abordagens da conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção da fauna e flora nativas, outro item desta discussão é a proteção aos recursos hídricos e ao solo que a cobertura florestal proporciona. Um dos critérios para se avaliar o efeito da cobertura florestal, neste quesito, é a geração de sedimentos. Como o estudo desses processos erosivos, envolvendo medições de todas as variáveis envolvidas em uma ampla escala é, na maioria das vezes, impossível de ser conduzido, cada vez mais estão sendo desenvolvidos, e revisados, modelos hidrológicos para prever o impacto das atividades agrícolas na qualidade da água. A modelagem hidrológica e de qualidade da água e os Sistemas de Informações Geográficas têm evoluído constantemente de modo que possam ser feitas análises em bacias hidrográficas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo principal analisar a produção de sedimentos em microbacias hidrográficas com diferentes relevos e diferentes tamanhos e localizações da cobertura florestal, na bacia do Rio Corumbataí, SP, usando a Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE) em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas). Foram gerados os seguintes mapas necessários ao cálculo da RUSLE: MDT; erodibilidade dos solos; erosividade das chuvas; e mapas dos fatores de cobertura e manejo do solo e de práticas conservacionistas. Foram escolhidas 18 microbacias em três classes de declividade: relevo suave (0-8% - média da microbacia), relevo intermediário (8-20%) e relevo declivoso (acima de 20%). Foram estabelecidos 20 cenários de uso e ocupação do solo (cada um com seus respectivos mapas de fatores C e P), com o objetivo de avaliar a redução de produção de sedimentos proporcionada pela cobertura florestal exigida pela legislação vigente (Código Florestal). Os fatores analisados foram: tamanho da Área de Preservação Permanente – APP e tamanho e localização da Reserva Legal. Os resultados permitiram concluir que: i) A utilização do ambiente SIG para o estudo do efeito de diferentes cenários de cobertura do solo na produção de sedimentos utilizando a RUSLE é necessário e de fundamental importância; ii) O efeito da cobertura florestal na redução da erosão anual é variável em função da declividade média da microbacia; iii) Em relação ao tamanho da Área de Preservação Permanente - APP, altas reduções ocorrem apenas quando a largura da APP é o dobro da prevista na legislação, entretanto, para largura de APP em conformidade com a legislação e na metade desta largura, ocorreram reduções relativas baixas e médias, permitindo afirmar-se que as reduções da erosão anual tenderam a ser próximas nas situações de largura da APP igual ou metade da prevista no Código Florestal; iv) Há uma relação linear entre o

tamanho da Reserva Legal - RL e a redução na erosão anual, ou seja, quanto maior a RL maior a redução na erosão anual; e v) A largura da faixa de APP deve ser determinada levando-se em consideração a declividade da microbacia e a RL deve estar localizada ao longo da APP, pois estas características trazem melhores efeitos na redução da erosão anual.

Palavras-chave: Erosão; SIG; RUSLE; Reserva Legal; Área de Preservação Permanente

## ABSTRACT

### **Sediment yield in watersheds as a function of relief and forest cover**

With the intense debate between farmers and public agencies about the amount of area with forest cover needed in farms of different regions, there has been an increase in the need of technical data to support such discussions. Besides the approaches of conservation and rehabilitation of ecological processes to the biodiversity conservation and protection of native flora and fauna, another item of this discussion is the protection of soil and water resources that the forest cover provides. One of the criteria used to evaluate the effect of forest cover on the protection of soil and water is the sediment yield. As the study of erosion processes, involving measurements of all variables involved in a large scale is, in most cases, impossible to be driven, increasingly are being developed, and reviewed, hydrological models to predict the impact of agricultural activities in water quality. The hydrological and water quality modeling and the Geographic Information Systems are constantly evolving so that analysis can be made in river basins. In this context, this study aimed to evaluate the reduction in the sediment yield according to the amount of forest cover in watersheds with different types of relief in the Corumbataí river basin using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS (Geographic Information System) environment. The following maps were generated in order to apply the RUSLE: Digital Terrain Model, soil erodibility, erosivity, land-use and soil management and conservation practices. Eighteen watersheds, in three slope classes, were selected: gentle slope (up to 8%), intermediate slope (8% - 20%) and high slope (above 20%). Twenty scenarios for land use were established (each one with their own maps of factors C and P), to evaluate the reduction of sediment yield provided by forest cover required by law. The factors analyzed were: size of the Permanent Preservation Area (PPA), size and location of the Legal Reserve. The results showed that: i) Using the GIS environment to study the effect of different scenarios of soil covering on the sediment yield using the RUSLE is necessary and crucial. ii) The effect of forest cover in reducing annual erosion varies depending on the average slope of watershed; iii) in relation to the size of PPA, high reductions occurred only when the PPA was twice the size legally recommended; however, for the PPA size equal to the legally recommended and equal to half of this size, there were low and medium reductions, and one can say that the reductions of the annual erosion tended to be close in situations where the size of the PPA was equal or half of the recommended by legislation; iv) the size of the Legal Reserve presented results in a linear proportion between the size of the LR and the reduction in annual erosion; and v) The width of the PPA should be determined taking into account the slope of the watershed and also that the LR should be located along the PPA, thus providing better results in reducing annual erosion.

Keywords: Erosion; GIS; RUSLE; Legal reserve; Permanent preservation area



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí .....	44
Figura 2 - Divisão em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	44
Figura 3 - Municípios na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	45
Figura 4 - Classes de declividade, em porcentagem, na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	46
Figura 5 - Grandes grupos de solos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	48
Figura 6 - Uso e Cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (2003)....	50
Figura 7 - MDT da área de estudo .....	53
Figura 8 - Distribuição das microbacias selecionadas para o estudo.....	55
Figura 9 - Mapa final do Fator C do cenário 1 para uma microbacia.....	60
Figura 10 - Mapa final do Fator P do cenário 1 para uma microbacia.....	60
Figura 11 - Mapa da erodibilidade dos solos na área de estudo.....	61
Figura 12 - Mapa de erosividade anual da chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.....	64
Figura 13 - Fluxograma da metodologia empregada.....	65
Figura 14 - Redução relativa da perda de solo anual para cada cenário analisado .....	68
Figura 15 - Redução relativa da perda de solo anual por classe de declividade para cada cenário analisado .....	70
Figura 16 – Redução relativa da perda de solo anual média por classe de declividade .	70
Figura 17 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da APP .....	71
Figura 18 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da APP para cada classe de declividade .....	72
Figura 19 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da Reserva Legal .....	73
Figura 20 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da Reserva Legal para cada classe de declividade .....	73
Figura 21 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de localização da Reserva Legal .....	74

Figura 22 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de localização da Reserva Legal para cada classe de declividade.....	75
Figura 23 – Contribuição das microbacias por classe de declividade, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual (o título da figura não é claro).....	77
Figura 24 - Contribuição das microbacias por tamanho da APP, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual .....	78
Figura 25 - Contribuição das microbacias por tamanho da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual .....	79
Figura 26 - Contribuição das microbacias por localização da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual .....	80
Figura 27 - Contribuição das microbacias para todos os fatores estudados, por grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Linhas de tolerância de perdas por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo.....	35
Tabela 2 - Informações gerais sobre alguns trabalhos realizados no Brasil envolvendo a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo.....	38
Tabela 3 - Trabalhos publicados envolvendo a aplicação da USLE e / ou da RUSLE....	40
Tabela 4 – Países dos trabalhos publicados envolvendo a aplicação da USLE e / ou da RUSLE .....	41
Tabela 5 - Constituição geológica, características e potencial mineral das formações da Bacia do Rio Corumbataí .....	47
Tabela 6 - Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí .....	48
Tabela 7 - Uso e cobertura do solo para a Bacia do Rio Corumbataí .....	50
Tabela 8 - Relação das estações pluviométricas utilizadas .....	52
Tabela 9 - Classes de Declividade, Relevo e Graus de limitação por suscetibilidade à erosão .....	54
Tabela 10 - Identificação, tamanho e declividade das microbacias selecionadas para o estudo .....	55
Tabela 11 - Características dos cenários avaliados no presente estudo, quanto ao tamanho da Área de Preservação Permanente – APP e tamanho e posição da Reserva Legal - RL.....	59
Tabela 12 - Fatores P e C utilizados no presente estudo.....	59
Tabela 13 - Valores de erodibilidade utilizados para as classes de solo encontradas na área de estudo .....	61
Tabela 14 - Relação das estações pluviométricas utilizadas .....	63
Tabela 15 – Redução relativa da perda de solo anual média para cada cenário e classe de declividade .....	68
Tabela 16 – Redução relativa da perda de solo anual por classe de declividade para cada fator analisado .....	69
Tabela 17 - Contribuição das microbacias por classe de declividade (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual ...	77

Tabela 18 - Contribuição das microbacias por tamanho da APP (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual ..	78
Tabela 19 - Contribuição das microbacias por tamanho da RL (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual ..	79
Tabela 20 - Contribuição das microbacias por localização da RL (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual ..	80
Tabela 21 - Contribuição das microbacias para todos os fatores estudados, por grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual ..	81
Tabela 22 - Resultados de erosão anual para as microbacias e cenários avaliados (Mg.ha-1.ano-1) ..	100
Tabela 23 - Resultados de média da redução relativa da erosão anual para os cenários avaliados ..	101

## **LISTA DE SIGLAS e ABREVIATURAS**

APP: Área de Preservação Permanente  
DWG: Formato residente do programa A9CAD  
EUPS: Equação Universal de Perda de Solo  
GIS: Geographic Information System  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
MDT: Modelo Digital do Terreno  
RL: Reserva Legal  
RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation  
SDR: Sediment Delivery Ratio  
SIG: Sistemas de Informações Geográficas  
SWAT: Soil and Water Assessment Tool  
USLE: Universal Soil Loss Equation



## 1 INTRODUÇÃO

O papel das florestas, na vida das populações, no habitat de um incontável número de espécies de plantas e animais, na manutenção do ciclo hidrológico (adicionando água à atmosfera através do processo da transpiração), é compreendido há muito tempo, entretanto, somente nas últimas décadas é que a influência das florestas sobre o clima, ar, água, solo, saúde e aspectos psicológicos dos homens ganharam sua real importância, porque começaram a aparecer consequências negativas na qualidade de vida.

O aumento da população trouxe consigo um impacto no ambiente, exercendo grandes pressões sobre a atmosfera e, especialmente, sobre os recursos florestais, que proporcionam múltiplos usos para o homem. A destruição de florestas causou problemas sérios para o equilíbrio da biosfera, como erosão eólica, hídrica, degeneração do solo e poluição do ar.

No Brasil, o desmatamento teve início no seu descobrimento, pois, segundo Barbosa (2009), os pouco mais de 500 anos de existência do país foram, sem dúvida, constituídos à mercê e sorte da Mata Atlântica e parte da Amazônia. O autor continua, dizendo que os chamados “ciclos econômicos” da História do Brasil nos mostram essa realidade: que o desmatamento e a utilização dos recursos naturais do país são de uso sistemático, predatório, perdulário e histórico. Em relação à Floresta Atlântica brasileira, o seu desmatamento mais significativo teve início após a chegada dos primeiros colonizadores europeus no Brasil que, então, possuía 82,5% de sua área coberta por Mata Atlântica (SOS MATA ATLÂNTICA e INPE, 1998). A partir daí, o processo de exploração e a consequente fragmentação da floresta intensificou-se até os dias de hoje, ou seja, após quinhentos anos de colonização muitas dessas florestas foram devastadas, restando atualmente menos de 7% de sua área original, distribuída principalmente nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (TESSLER, 2001)

Com o objetivo de estabelecer a quantidade e a forma de preservação das florestas brasileiras, em 1965 foi publicado o Código Florestal. Por meio dessa lei foram

criadas as Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal que, por sua vez, especificam para diferentes regiões do país qual é a quantidade de floresta que se deve preservar.

Mesmo considerando o estado de praticamente nenhuma conservação das florestas, após a publicação do Código Florestal iniciou-se uma discussão, que não parou de se intensificar até o momento atual, entre proprietários e órgãos públicos, sobre a quantidade de área com cobertura florestal que se deve conservar em diferentes regiões, pois os proprietários alegam que adquiriram a terra em um estado de completo desmatamento e estão tendo prejuízos para recompor a vegetação nativa, enquanto que, por outro lado, o Governo e as entidades ambientais afirmam que as exigências da legislação vigente são o mínimo necessário para a manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas, incluindo a presença humana, com suas atividades agrícolas e industriais.

Uma das funções da cobertura florestal nativa nas propriedades rurais, ao longo dos cursos d'água, segundo o Código Florestal, é a diminuição dos processos erosivos e a diminuição da deposição de sedimentos nos cursos d'água.

O estudo desses processos erosivos, envolvendo medições de todas as variáveis envolvidas em uma ampla escala é, na maioria das vezes, impossível de ser conduzido, devido ao longo prazo em projetos pilotos e altos custos em medições e monitoramento (PESSOA, 1997). Por isso, cada vez mais estão sendo desenvolvidos, e revisados, modelos hidrológicos para prever o impacto das atividades agrícolas na qualidade da água.

Esses modelos hidrológicos têm uma característica fundamental, que é a possibilidade da análise de grandes áreas em sua situação atual e permitindo a criação de diversos cenários de ocupação, facilitando, assim, o estudo dos melhores usos. Isto se torna cada vez mais acessível devido ao desenvolvimento do Geoprocessamento e dos Sistemas de Informação Geográfica - SIGs.

No SIG, as sucessivas análises dos dados espaciais podem dividir grandes áreas heterogêneas em pequenas unidades hidrologicamente homogêneas, sobre as quais os modelos são aplicados (Tim,1994). Modelos têm sido interfaciados a SIGs desde a metade dos anos de 1980, mas a partir do início da década de 1990, muitos modelos de

simulação de sedimentos e de poluição não pontual têm sido aplicados em combinação com SIG, permitindo a análise espacial e temporal e determinar a capacidade desses novos sistemas computacionais em melhorar e prover informações sobre erosão e poluição. A modelagem hidrológica e de qualidade da água e SIGs têm evoluído para um ponto em que as vantagens de cada sistema podem ser totalmente integradas dentro de uma poderosa ferramenta para análise em bacias hidrográficas (MACHADO, 2002).

Considerando a necessidade de maiores informações sobre o impacto das atividades agrícolas na qualidade da água foi elaborado este estudo, que tem como objetivo geral analisar a produção de sedimentos em microbacias hidrográficas, com diferentes relevos e diferentes tamanhos e localizações da cobertura florestal.



## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Importância do SIG nos estudos ambientais**

O desenvolvimento das ciências naturais, como a geologia, a geomorfologia, a pedologia e a ecologia, que se iniciou no século XIX e teve grande impulso nos nossos dias, deu origem a novas necessidades de mapeamento, apresentando um grande aumento de demanda por mapas topográficos e temáticos, devido principalmente à maior necessidade de exploração dos recursos naturais (BURROUGH, 1986).

Essas ciências requerem observação, classificação e armazenamento de informações, utilizando-se métodos qualitativos de classificação e mapeamento sistemático, gerando enormes quantidades de dados complexos que devem ser analisados de forma integrada. Dessa demanda surgiram os primeiros sistemas computacionais para esse fim, que posteriormente vieram a se chamar Sistemas de Informações Geográficas – SIGs (FERRAZ, 2002).

O SIG é uma ferramenta computacional criada especialmente para armazenamento, manipulação e exibição de dados e informações espacialmente distribuídos (BURROUGH, 1986). Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, ele possui módulos para a realização de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações. Seu banco de dados permite a associação de atributos e a realização de consultas, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas.

Segundo Câmara et al. (2001), podem ser apontados pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos estudos ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia SIG: (i) mapeamento temático; (ii) diagnóstico ambiental; (iii) avaliação de impacto ambiental e; (iv) ordenamento territorial proporcionando os prognósticos ambientais.

O estudo de estimativa de erosão, por sua vez, pertence ao último grupo (prognósticos ambientais) e o impacto da tecnologia SIG nesse tipo de estudo é tão grande que se faz imprescindível.

## **2.2 Áreas de cobertura florestal exigidas por Lei**

Na legislação brasileira temos definidos dois tipos de área dentro de cada propriedade rural onde se deve, obrigatoriamente, realizar a manutenção da cobertura florestal: Área de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL).

### **2.2.1 Área de Preservação Permanente**

O Código Florestal (Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Lei nº 7.803, de 1993) define como Área de Preservação Permanente (APP) locais onde devem ser mantidas todas as florestas e demais formas de vegetação natural. Estes locais foram definidos como de proteção especial, pois representam áreas frágeis ou estratégicas em termos de conservação ambiental, não devendo ser modificadas para outros tipos de ocupação. A permanência da vegetação natural nestes locais contribui para o controle de processos erosivos e de assoreamento dos rios, para garantir a qualidade dos recursos hídricos e mananciais e para a proteção da fauna. Também ajuda a manter a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de flora e fauna, o solo e assegurar o bem estar da população local (COSTA, 2008).

Consideram-se de preservação permanente as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será: (i) - de 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura; (ii) - de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura; (iii) - de 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura; (iv) - de 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura; (v) - de 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

- c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 metros de largura;
- d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;
- e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;
- f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;
- g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 metros em projeção horizontal;
- h) em altitude superior a 1.800 metros, qualquer que seja a vegetação.

Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas: a) a atenuar a erosão das terras; b) a fixar as dunas; c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias; d) a auxiliar a defesa do território nacional, a critério das autoridades militares; e) a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico; f) a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção; g) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas; h) a assegurar condições de bem-estar público.

### **2.2.2 Reserva Legal**

Em relação a Reserva Legal (RL), o Código Florestal e o Decreto Estadual nº 50.889, de 16 de junho de 2006, declaram que a RL é uma área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas.

Segundo a Medida Provisória 2166-67, de 24 de agosto de 2001, as florestas e outras formas de vegetação nativa, ressalvadas as situadas em área de preservação permanente, assim como aquelas não sujeitas ao regime de utilização limitada ou objeto de legislação específica, são suscetíveis de supressão, desde que sejam mantidas, a título de reserva legal, no mínimo: (i) - 80% (oitenta por cento), na

propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal; (ii) - 35% (trinta e cinco por cento), na propriedade rural situada em área de cerrado localizada na Amazônia Legal, sendo no mínimo 20% (vinte por cento) na propriedade e 15% (quinze por cento) na forma de compensação em outra área, desde que esteja localizada na mesma microbacia, e seja averbada nos termos do § 7º deste artigo; (iii) - 20% (vinte por cento), na propriedade rural situada em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do País; e (iv) - 20% (vinte por cento), na propriedade rural em área de campos gerais localizada em qualquer região do País.

### **2.3 Cobertura florestal, tamanho da APP e RL e largura da zona ripária**

Existem alguns trabalhos que abordam o tamanho da APP ao estudarem as Áreas (ou Zonas) Ripárias. Segundo Moster (2007), as definições de áreas ripárias variam de acordo com a perspectiva de cada autor, sendo que eles centram nos componentes em que a paisagem está incluída, nas características que a compõem, nas escalas em que são consideradas, ou nas leis de melhoria das práticas de manejo para qualidade da água. A definição de Ilhardt et al. (1999) para zona ripária inclui o corpo d'água, a margem do riacho e partes das áreas altas que têm uma forte ligação com a água. Ainda seguindo esta definição, as bordas das áreas ripárias típicas são menos uniformes do que aquelas associadas com uma distância pré-fixada como faixas tampão ou faixas-filtro. As áreas ripárias são delineadas de acordo com a distância da água, que influencia na mudança de função do ecossistema. Essas áreas são sujeitas tanto ao maior escoamento superficial de zonas saturadas como ao maior escoamento subsuperficial (horizontes saturados próximos à água subterrânea).

Segundo Ilhardt et al (1999) a definição poderia ser: "Áreas ripárias são ecótonos<sup>1</sup> de interação tridimensional que incluem os ecossistemas aquático e terrestre,

---

<sup>1</sup> Ecótono ou ecótone é o nome dado a uma região de transição entre dois biomas diferentes. No ecótono temos uma biodiversidade maior que a dos biomas em transição, pois nela se encontram espécies de ambos os biomas e, por conseguinte, grande número de nichos ecológicos. Wikipédia: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ec%C3%B3tono> (acessado em 10/04/2009).

que se estende da água subterrânea às copas, cruzando a planície de inundação, até as vertentes próximas que drenam a água, lateralmente no ecossistema terrestre, ao longo do curso d'água, com comprimento variável".

Ainda segundo Moster (2007), a zona ripária é responsável pelos processos que mantêm a integridade do funcionamento hidrogeológico e biológico entre a área produtiva e o riacho. A saúde da microbacia depende da manutenção desses processos, e, portanto, o manejo de microbacias deve incluir as zonas ripárias e respeitar as condições necessárias para o desempenho de sua função tampão. No entanto, deve ser compreendido que a função tampão da zona ripária é apenas uma das funções que contribuem para a manutenção do equilíbrio do ecótono, devendo também ser considerados outros processos, tais como: controle dos escoamentos superficiais e subsuperficiais, geração do escoamento direto produzido pelas chuvas, corredor de fluxo gênico, entre outras características. Clinnick (1985) concluiu que a largura mais indicada para a faixa ciliar, visando à proteção do curso d'água em áreas florestais, é de 30 metros. No entanto, segundo Zakia (1998), é reconhecido que a delimitação da zona ripária na microbacia nem sempre se restringe ao que estabelece o Código Florestal, porém a faixa ciliar de 30 metros pode realizar o papel físico de proteção dos cursos d'água. A zona ripária está intimamente ligada ao curso d'água, mas seus limites não são facilmente demarcados (LIMA e ZAKIA, 2004).

Corroborando com Zakia (1998), há o trabalho de Attanasio (2004) que, ao estudar a bacia hidrográfica do Ribeirão São João, no município de Mineiros do Tietê, SP, verificou que 27,6 % da zona ripária estavam inseridos em APP, portanto protegidos pelas leis ambientais, e 72,2 % estavam sendo utilizados para agricultura, correndo risco de degradação. O autor observou que, em média, 26,1 % das áreas das propriedades rurais da microbacia se encontravam em zona ripária e afirmou que parte dessas áreas poderia ser protegida pelo estabelecimento das reservas legais.

As áreas ripárias ocupam as áreas mais sensíveis da microbacia, próximas aos cursos d'água, nascentes e áreas saturadas, desempenhando importantes funções, como a filtragem superficial e subsuperficial do fluxo da água, a diminuição da ocorrência de escoamento superficial que pode causar erosão e carreamento de nutrientes e sedimentos, promovendo resultados visíveis na qualidade e quantidade da

água do deflúvio. Entretanto, a presença da vegetação ciliar em uma microbacia agrícola não é, por si só, garantia de proteção dos recursos hídricos e da zona ripária. Outras medidas integradas devem ser consideradas, como aquelas relacionadas ao uso e manejo do solo, à adequação das estradas rurais etc (não se põe vírgula antes de etc.). para que não ocorra uma sobrecarga às florestas ciliares e, assim, a consequente degradação do ecossistema ripário (ATTANASIO, 2004).

O trabalho citado nos apresenta algumas informações relacionadas à melhor localização da RL, que se estiver posicionada próximo a APP pode abranger (e proteger) uma maior percentagem das áreas ripárias, trazendo assim uma gama de benefícios para todo o ecossistema.

O estudo da cobertura florestal foi feito em alguns trabalhos ao comparar a qualidade e a quantidade d'água em um manancial com a presença desta cobertura. Lima (2000) afirma que, na natureza, a permanência dos recursos hídricos, em termos de regime de vazão dos córregos, ribeirões e rios e da qualidade da água que emana das microbacias hidrográficas, decorre de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem, que constituem os chamados serviços proporcionados pelo ecossistema. Um desses mecanismos, segundo o autor, é a reconhecida relação íntima que existe entre a cobertura florestal e a água, que é acentuada principalmente nas regiões de cabeceira de drenagem, onde estão as nascentes dos rios. Em Lima (1996) e Chansheng et al. (2000), afirma-se que em hidrologia florestal tem-se por princípio básico que a produção de água em uma microbacia hidrográfica é significativamente influenciada pela presença da cobertura florestal.

Corroborando com esta informação, Reis (2004) menciona que ao redor do mundo, as decisões econômicas sobre o uso da terra estão sendo tomadas em favor da proteção das bacias hidrográficas florestadas, visando a salvaguardar o abastecimento público. O autor cita a pesquisa feita por WWF (2003) que, por sua vez, sugere que mais de um terço das maiores cidades no mundo captam parcial ou totalmente suas águas para abastecimento público de bacias protegidas por florestas. Entre estas

idades podem ser citadas: Tóquio, Singapura, Nova York, Bogotá, Rio de Janeiro, Los Angeles, Brasília, Viena, Barcelona, Sidnei e Melbourne.

Reis (2004), ao analisar o custo específico do uso de produtos químicos em ETAs para abastecimento público concluiu que este custo eleva-se com a redução do percentual de cobertura florestal da bacia de abastecimento, e que o custo específico de tratamento (custo /1000 m<sup>3</sup> água com produtos químicos e energia elétrica da ETA) das águas do rio Piracicaba, SP, é 12,7 vezes superior ao custo específico correspondente das águas do Sistema Cantareira. O autor destacou que a região do Sistema Cantareira possui 27,16 % de sua área com cobertura florestal e a bacia do rio Piracicaba possui apenas 4,30 %.

Sparovek et al. (2002) apresentaram um estudo de caso para a definição da largura da zona ripária ao longo dos cursos d'água. Nesse estudo, a largura ótima da zona ripária foi de 52 m, que apresentou maiores reduções na deposição de sedimentos no curso d'água do que a largura estabelecida pela legislação (30 m).

Polyakov et al. (2005) fizeram uma revisão de trabalhos publicados sobre a ação da zona ripária no controle da poluição difusa. Foram citados diversos trabalhos sobre o controle que espécies de gramínea e pastagem fazem sobre a deposição de sedimentos e fertilizantes agrícolas.

Segundo Gharabaghi et al. (2000), os primeiros 2,5 m de gramínea na zona ripária são responsáveis pela remoção de 50% dos sedimentos, enquanto Robinson et al. (1996) afirmaram que, para declives entre 7% e 13%, a redução de sedimentos nos três primeiros metros de gramínea na zona ripária é de 70% a 80% e, em Lim et al. (1998) 98% dos sedimentos são removidos utilizando uma faixa de 18 m de gramínea na zona ripária.

Pinay et al. (1993) comentam que 30 m de vegetação florestal na zona ripária tem a capacidade de remover 100% dos nitratos presentes na água subterrânea. Este resultado não é confirmado por outros autores, que dizem que a exportação de nitrogênio por florestas é limitada entre 1 a 3 kg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (MCKERGOW et. al., 2003) e que o nitrato pode ser lixiviado a mais de 16 m de profundidade (GEYER et. al., 1992).

## 2.4 Equação Universal de Perda de Solo

Vieira et al. (1996) citando Bertoni e Lombardi Neto (1990) e Marques (1995) trazem a informação de que o solo representa uma tênue camada superficial da crosta terrestre, porém é a fonte de energia responsável pelo grande drama da vida, e possui uma complexa estrutura composta de partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água e substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em diferentes fases de decomposição.

Segundo Kellog (1936 *apud* VIEIRA et. al, 1996) a formação dos solos decorre de atividades destrutivas de intemperismo químico e físico, e forças biológicas construtivas. Os principais fatores de influência da pedogênese são: clima, biota, material parental, topografia e tempo.

Concomitantemente à formação do solo ocorre a erosão do mesmo, com a remoção de suas partículas pela atuação de forças exógenas, principalmente pela ação da água e do vento (VIEIRA et al., 1996).

A estimativa de perda de solo por erosão para uma determinada área é o princípio para planejar ações corretivas. Contudo, existem dificuldades para se avaliar de forma exata e precisa a extensão, magnitude e taxas da erosão acelerada, assim como os seus impactos ambientais e econômicos. Além das dificuldades técnicas, a pesquisa em erosão é cara e morosa, pois os processos erosivos variam no tempo e espaço sobre a ação de numerosas variáveis físicas e de manejo que determinam as condições específicas de um local (WEILL, 1999).

Dentre os muitos modelos que tentam exprimir a ação dos principais fatores que exercem influência nas perdas de solo pela erosão hídrica, o que trata o assunto de modo mais dinâmico, devido ao fato de superar parcialmente restrições climáticas e geográficas e ter uma aplicação generalizada, é a chamada “Equação Universal de Perda de Solo” - EUPS (no inglês, Universal Soil Loss Equation-USLE) (WISCHMEYER & SMITH, 1978). Para expressar a produção de sedimentos em uma bacia, a USLE é associada ao emprego de uma taxa de transferência (Sediment Delivery Ratio - SDR), que traduz a diminuição da produção bruta que pode ser estimada pela USLE, em

decorrência dos depósitos ocorridos na bacia. Tanto a equação como a taxa de transferência (SDR) resultam de expressões empíricas, ainda limitadas no seu uso pelo fato de considerarem somente a produção anual de sedimentos (TUCCI, 1993).

Segundo Machado (2002) a USLE é a equação de estimativa de erosão mais conhecida e aplicada até hoje. Todos os modelos desenvolvidos após a USLE foram elaborados a partir dela, ou contêm parâmetros dessa equação (RENARD & MAUSBACH, 1990). O objetivo básico da USLE é de fazer previsão de médio e longo prazos de erosão do solo com base em séries de longos períodos de coleta de dados e daí então promover o planejamento de práticas conservacionistas para minimizar as perdas de solo em níveis aceitáveis (LARSON et al., 1997).

Machado (2002) informa que a USLE foi inicialmente desenvolvida nos Estados Unidos em 1954 no “National Runoff and Soil Data Center”, do Agricultural Research Service, na Universidade de Purdue, e após anos a equação evoluiu para o modelo revisado por Wischmeier e Smith (1978), com sua fórmula descrita na Equação 1.

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

A USLE é um modelo empírico que possibilita predizer a perda média anual de solo por erosão hídrica, com base no conhecimento dos fatores locais que influenciam a erosão: erosividade da chuva e enxurrada a ela associada (fator R); suscetibilidade natural do solo à erosão (fator K); associação do comprimento da rampa e percentagem do declive (fator LS); cobertura e manejo do solo (fator C); e práticas conservacionistas de suporte (fator P) (WISCHMEIER & SMITH, 1978).

Nos EUA, a USLE foi por longo tempo utilizada no planejamento conservacionista das propriedades agrícolas para definir práticas e sistemas de manejo do solo adequados (MURPHREE & MUTCHLER, 1980). Atualmente, a RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) é o modelo adotado e tem, como base principal, os mesmos dados utilizados pela USLE (RENARD et al., 1997), entretanto, apresenta várias melhorias em determinados fatores em relação à USLE, uma delas é uma nova equação para o comprimento da rampa e o declive (fator LS), pois a USLE foi originalmente aplicada para rampas uniformes (uma de suas limitações é não considerar rampas não uniformes).

Neste trabalho os valores de perda de solo foram avaliados em termos comparativos entre os diversos tipos de relevo e não de forma absoluta, com isso, o uso da RUSLE é justificado.

## **2.5 Perda de solo**

Em relação à medição da perda de solo, em função do tamanho e da localização da cobertura florestal, há poucos trabalhos realizados no Brasil e no mundo. Entretanto, com relação à estimativa da perda de solo utilizando diferentes modelos, existe uma grande quantidade de trabalhos. Para a posterior discussão dos resultados, procurou-se destacar neste item os trabalhos de medição de perda de solo realizados no Brasil e as estimativas de perda de solo utilizando a USLE ou a RUSLE e correlacionando com a cobertura florestal (em todo o mundo).

Bertoni e Lombardi Neto (1990) realizaram uma tentativa de estabelecer padrões de tolerância de perdas para solos do Estado de São Paulo (Tabela 1). Esses padrões variam de acordo com o tipo de solo, pois estes possuem velocidades de formação diferenciadas e diferentes repostas ao processo erosivo. Parâmetros como profundidade do perfil e relação textural entre os horizontes superficiais e subsuperficiais são importantes para chegar a um número que aponte com precisão a tolerância de perdas para determinado solo. Os limites de tolerância não impõem restrições arbitrárias ao uso e manejo do solo, mas simplesmente estabelecem limites dentro dos quais as escolhas das técnicas adotadas devem ser feitas.

Os mesmos autores, em outro trabalho mais recente (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999), conceituam a tolerância à perda de solo como sendo “a quantidade de terra que pode ser perdida por erosão, expressa em toneladas por unidade de superfície e por ano, mantendo ainda o solo com elevado nível de produtividade por longo período de tempo”.

Tabela 1 - Linhas de tolerância de perdas por erosão para alguns solos do Estado de São Paulo

Solos	Tolerância de perdas de solo	
	Amplitudes observadas (t.ha <sup>-1</sup> )	Média ponderada em relação à profundidade (t.ha <sup>-1</sup> )
COM B TEXTURAL		
Podzólico vermelho-amarelo, orto	5,2 a 7,6	6,6
Podzólico vermelho-amarelo, v. Piracicaba	3,4 a 11,2	7,9
Podzólico vermelho-amarelo, v. Laras	6,9 a 13,4	9,1
Podzólico com cascalho	2,1 a 6,6	5,7
Podzolizado Lins e Marília, v. Lins	3,8 a 5,5	4,5
Podzolizado Lins e Marília, v. Marília	3,0 a 8,0	6,0
Mediterrâneo vermelho-amarelo	9,8 a 13,6	12,1
Terra Roxa estruturada	11,6 a 13,6	13,4
COM B LATOSSÓLICO		
Latossolo roxo	10,9 a 12,5	12,0
Latossolo vermelho escuro, orto	11,5 a 13,3	12,3
Latossolo vermelho escuro, f. arenosa	13,4 a 15,7	15,0
Latossolo vermelho-amarelo, orto	12,5 a 12,8	12,6
Latossolo vermelho-amarelo, f. rasa	4,3 a 12,1	9,8
Latossolo vermelho-amarelo, f. arenosa	13,6 a 15,3	14,2
Latossolo vermelho-amarelo, f. terraço	11,1 a 14,0	12,6
Latossolo vermelho-amarelo, húmico	10,9 a 11,5	11,2
Solos Campos do Jordão	4,6 a 11,3	9,6
SOLOS POUCOS DESENVOLVIDOS		
Litossolo	1,9 a 7,3	4,2
Regossolo	9,7 a 16,5	14,0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990).

Segundo Sparovek e Van Lier (1997), além dos valores totais de perda de solo, é importante observar que, nos casos onde a taxa de erosão é menor do que a taxa de incremento da profundidade do solo, os solos tornam-se mais profundos com o tempo. Esse é o caso para a maior parte dos solos bem drenados e cobertos por vegetação densa. No entanto, a agricultura pode modificar, substancialmente, as taxas de formação do solo e de erosão/sedimentação. Com a remoção da cobertura natural do solo e sua substituição por culturas, a proteção dele contra a ação da chuva e do vento torna-se ausente ou menos eficiente. Como consequência, a taxa de erosão aumenta e pode tornar-se mais elevada que a taxa de incremento, resultando na perda de sua profundidade.

Em um trabalho recente, Weill e Sparovek (2008b) apresentam um novo conceito para a análise e interpretação da perda de solo, que é o “Índice de Tempo de Vida do Solo”. Este índice utiliza as informações de perda de solo anual e formação do solo

anual para apresentar o tempo que será necessário para que o solo em estudo seja completa ou parcialmente erodido, sendo, portanto, de fácil interpretação. Para que este índice seja mais utilizado serão necessários maiores informações sobre a formação anual de solo de modo que possamos unir esta informação com os resultados dos modelos de perda de solo existentes.

Com relação a medições da perda de solo em função do tamanho e da localização de cobertura florestal realizados no Brasil, foram encontrados três trabalhos detalhados a seguir.

Andrade (1991) , conduzindo um trabalho no nordeste brasileiro, em Cruzeta, RN, no trópico semi-árido, realizou medições de precipitação, escoamento superficial, perda de sedimentos do solo e fluxo de nutrientes em três microbacias com cerca de 1 ha cada. Uma microbacia (A) foi desmatada e reflorestada com algaroba; a outra (B) foi desmatada, e a última (C) foi mantida com a vegetação nativa de caatinga. Observou que nas microbacias A e B os totais de perda de sedimentos do solo foram maiores (acima de 128%) em comparação com o observado na microbacia C ( $248\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ); e durante o período de cinco anos de crescimento das algarobas, a microbacia A não apresentou alterações significativas no coeficiente de escoamento quando comparada com a microbacia testemunha (C).

Garcia (2003) determinou o volume total de água escoada e a perda de solo por meio da produção de sedimentos provenientes de segmentos de estradas florestais em condições de chuva natural, com diferentes valores de precipitação. Observou que a perda de solo sofreu maior influência da declividade e que a massa de solo erodido cresceu exponencialmente em função do incremento do volume de enxurrada.

Campos (2008) estudou a influência das superfícies geomórficas na variação espacial da perda de solo por erosão na região de Pereira Barreto, SP. Observou que as perdas de solo apresentaram comportamento coerente com a conceituação de superfícies geomórficas, evidenciando as relações de dependência do processo erosivo do solo aos ambientes geomórficos.

Próximo à região da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, temos a Microbacia Hidrográfica do Ribeirão dos Marins, afluente da margem esquerda do rio Piracicaba, onde existe um posto hidrossedimentométrico (que permite o registro de informações

de transporte de sedimentos pelo curso d'água). Utilizando estas informações foram realizados os trabalhos apresentados a seguir.

Machado (2002) estudou o escoamento e a produção de sedimentos nesta microbacia hidrográfica, onde realizou a calibração do Modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) e avaliou a erosão e transporte de sedimentos em dois cenários alternativos de uso da terra: (i) o uso atual foi mantido, mas considerou-se uma faixa de mata ciliar de 30m em toda a extensão dos cursos d'água e de 50m ao redor das nascentes e (ii) substituindo o uso atual por vegetação florestal nas encostas mais íngremes, com alto potencial erosivo. Observou que houve uma redução de 84,4% na produção de sedimentos no cenário 2, enquanto no cenário 1 a redução foi de 10,8%. O autor concluiu que esses resultados evidenciam a necessidade de se tratar a paisagem em bacias hidrográficas de uma forma holística, identificando as "áreas ambientalmente sensíveis", onde são necessárias práticas de controle dos processos erosivos, e não somente com a proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar.

Moro (2005), realizando um trabalho nesta mesma microbacia hidrográfica e também com o uso do SWAT, analisou a erosão e o transporte de sedimentos em diferentes cenários, concluindo que quando no uso do solo predominava o cultivo da cana-de-açúcar, a produção de sedimentos e o volume de escoamento superficial aumentavam consideravelmente em relação ao cenário atual; no entanto, quando a vegetação nativa predominava, ocorria um decréscimo.

Com relação a estimativas da perda de solo realizadas no Brasil, utilizando a USLE ou a RUSLE, e correlacionando com a cobertura florestal, temos a informação apresentada em Minoti (2006) de que a USLE tem sido largamente utilizada em trabalhos de gestão agrícola e de pesquisa. A equação foi adaptada às condições do Estado de São Paulo pelos trabalhos de Bertoni et al. (1975), Lombardi Neto e Bertoni (1975 a e b) e Lombardi Neto e Moldenhauer (1980). Os trabalhos pioneiros desenvolvidos por esses autores estimularam o desenvolvimento de inúmeras pesquisas, tanto para o estabelecimento dos parâmetros da equação para as diferentes regiões do país, como para a aplicação da USLE. Na Tabela 2 pode-se observar as características de alguns trabalhos de pesquisa mais recentes realizados com base na aplicação da USLE.

Tabela 2 - Informações gerais sobre alguns trabalhos realizados no Brasil envolvendo a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo

(continua)

Referência	Local do Estudo	Características
Fernández (1996)	Microbacia hidrográfica do córrego do Pinheirinho (Sumaré, SP)	Cálculo manual do fator LS associado ao SIG-Spring. Identificou o comprimento de encosta e a declividade como causas de superestimação da erosão em microbacias hidrográficas.
Ranieri <i>et al.</i> (1997)	Bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (Piracicaba, SP)	Elaboraram mapas de risco à erosão por método qualitativo e pela USLE, em escalas generalizada e detalhada. As diferenças nos mapas ocorreram entre os métodos e não entre as escalas.
Ranieri <i>et al.</i> (1998)	Microbacia hidrográfica do córrego do Ceveiro (Piracicaba, SP)	Elaboraram o Índice Ponderado de Risco de Degradação – IPD em função das classes de risco à erosão do solo.
Lagrotti (2000)	Microbacia hidrográfica do córrego do Jardim (Santo Antônio do Jardim, SP)	Aplicou a USLE juntamente com a determinação da Capacidade de Uso da Terra. Elaborou o risco ambiental para o município e mapa de adequação ao uso da terra.
Ranieri (2000)	Microbacia hidrográfica inserida na MBH do córrego do Ceveiro (Piracicaba, SP)	Estimou a erosão do solo utilizando dois modelos – USLE e WEPP
Brandão (2001)	Bacia do ribeirão Pinhal (Limeira, SP)	Estimou o potencial natural de erosão superficial e avaliou as áreas de risco de degradação dos recursos hídricos.
Fujihara (2002)	Microbacia hidrográfica do ribeirão Itambi, municípios de Panorama e Ouro Verde, SP	USLE. O manejo inadequado das terras foi responsável pela intensificação dos processos erosivos com a formação de sulcos, ravinas e voçorocas.
Marcomin (2002)	Bacia hidrográfica do rio Pinheiros (Municípios de Orleans e São Ludgero, SC).	USLE. A média de perda de solo da bacia hidrográfica foi cerca de 14,4 vezes maior que o limite de tolerância máximo para os solos da área.
Cruz (2003)	IAPAR, Estação Experimental de Ponta Grossa, PR	O modelo RUSLE superestimou as perdas de solo em eventos de chuva que ocasionaram baixas perdas de solo, apresentando altos coeficientes angulares, quando comparados aos valores de perdas de solo observados
Silviero e Coiado (2003)	Sub-bacia hidrográfica do rio Atibaia (Vários municípios na região de Campinas, SP)	Comparou os resultados da USLE com o volume de sedimentos transportados em uma seção de medidas do rio Atibaia.
Paiva <i>et al.</i> (2003)	Bacia hidrográfica do rio Una (Taubaté, SP)	USLE. 61,53% da área de estudo (432,18 km <sup>2</sup> ) com perdas de solo acima da tolerância.
Marques <i>et al.</i> (2003)	Microbacia hidrográfica do Córrego Taquara Branca (Sumaré, SP)	USLE e MUSLE. Hipótese de construção de terraços reduziu em 68% os gastos monetários necessários à reposição dos nutrientes perdidos por erosão.
Galdino <i>et al.</i> (2004)	Bacia hidrográfica do Alto Taquari (MS e MT)	USLE. Valor médio de perda de solo 555,6 Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> Valor mais elevado Neossolo Litólico 1.839,6 Mg.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> . Perda de solo em pastagens maior do que o dobro da perda em áreas cult. com soja.

Tabela 2 - Informações gerais sobre alguns trabalhos realizados no Brasil envolvendo a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo

(continuação)

Bueno e Stein (2004)	Região do Município de Brotas, SP	Em uma área de 580km foram estudadas glebas submetidas a diferentes usos da terra. 35% das glebas escolhidas apresentaram expectativa de erosão.
Barreto Neto (2004)	Bacia hidrográfica do rio Quilombo (Vale do Ribeira, SP)	MUSLE. Elaboração de 5 cenários de produção de sedimentos de ocupação por floresta até solo descoberto.
Guimarães (2005)	Bacia Hidrográfica do rio Jirau, município de Dois Vizinhos, no Sudoeste do Paraná.	Para o controle do processo erosivo laminar, é necessária a readequação do uso da terra, por meio de uma sistematização dentro de suas potencialidades naturais.
Minoti (2006)	Um compartimento da Bacia Hidrográfica do rio Mogi-Guaçu, SP	Desenvolveu uma metodologia para aplicar de maneira simultânea o modelo USLE para estimar a perda de solo anual e o modelo SWAT para estimar a produção de sedimentos e os parâmetros do balanço hídrico. Observou que a metodologia foi eficaz na caracterização ambiental da área de estudo, na simulação de cenários ambientais e na identificação de áreas mais vulneráveis, gerando respostas complementares.
Domingos (2006)	Bacia Hidrográfica dos Córregos Rangel, Penha e Santo Antonio, localizada no município de Rio Bananal, ES	Utilizou a USLE e estimou a perda de solos na bacia, em 2.661 Mg.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> e produziu um cenário alternativo de uso do solo, onde propôs a recuperação e substituição dos usos existentes nas faixas de preservação permanente por florestas nativas, propiciando uma diminuição das perdas de solos da ordem de 9,54%.
Assunção e Sparovek (2006)	Estado de São Paulo	Apresenta a aplicação da USLE para o Estado de São Paulo (250.000 km <sup>2</sup> ) utilizando como base para cálculo dos parâmetros topográficos (LS) o Modelo de Elevação Digital do Terreno (DEM) obtido a partir do SRTM-EMBRAPA.
Weill e Sparovek (2008a)	Bacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Piracicaba, SP)	Estimou a expectativa de erosão do solo em uma área intensivamente cultivada com cana-de-açúcar no município de Piracicaba (SP).
Weill e Sparovek (2008b)	Bacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (Piracicaba, SP)	Foi desenvolvido o método designado "Índice de Tempo de Vida do Solo", para se proceder ao diagnóstico da erosão em uma área predominantemente utilizada com a cultura da cana-de-açúcar no município de Piracicaba (SP).

Fonte: Adaptado de Minoti (2006).

Dentre os trabalhos resumidos na tabela acima, destaca-se que Domingos (2006), ao analisar um cenário alternativo de uso do solo, em que propôs a recuperação e substituição dos usos existentes nas faixas de preservação permanente por florestas nativas, propiciando neste novo cenário uma diminuição das perdas de solo da ordem

de 9,54%, ou aproximadamente 253 Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de solo que deixará de ser carregado para os mananciais hídricos, na grande maioria das situações. Afirmou que os dados analisados evidenciam que para o controle do processo erosivo laminar é necessária a readequação do uso da terra, que pode ser realizada de duas formas básicas: a primeira delas é adotando-se coberturas que sejam capazes de proteger o solo adequadamente; e a outra é a adoção de práticas conservacionistas mecânicas que fragmentem o comprimento de rampa e diminuam o espaço de escoamento superficial da água.

Com relação à estimativa da perda de solo realizada em outros países, utilizando a USLE ou a RUSLE, existe uma grande quantidade de artigos publicados. Para ilustrar isto, realizou-se uma pesquisa do número de artigos publicados utilizando essas equações para a estimativa da perda de solo. O resultado está apresentado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 - Trabalhos publicados envolvendo a aplicação da USLE e / ou da RUSLE

<b>Ano de Publicação</b>	<b>Número de Publicações</b>	<b>% em relação ao total</b>
1982	8	2,3
1984	5	1,5
1986	2	0,6
1990	5	1,5
1991	2	0,6
1992	12	3,5
1993	14	4,1
1994	10	2,9
1995	6	1,7
1996	9	2,6
1997	9	2,6
1998	15	4,4
1999	15	4,4
2000	18	5,2
2001	10	2,9
2002	27	7,8
2003	30	8,7
2004	21	6,1
2005	33	9,6
2006	13	3,8
2007	31	9,0
2008	33	9,6
2009	12	3,5
<b>Total</b>	<b>344</b>	<b>100</b>

Fonte: pesquisa realizada no ISI Web of Knowledge, em 01/06/2009.

Tabela 4 – Países dos trabalhos publicados envolvendo a aplicação da USLE e / ou da RUSLE

Local de Publicação	Número de Publicações	% em relação ao total
EUA	104	30,2
AUSTRÁLIA	43	12,5
BRASIL	22	6,4
ALEMANHA	20	5,8
CANADÁ	17	4,9
ESPANHA	17	4,9
ITÁLIA	16	4,7
CHINA	16	4,7
ÍNDIA	15	4,4
TURQUIA	13	3,8
BÉLGICA	9	2,6
HOLANDA	9	2,6
RÚSSIA	8	2,3
INGLATERRA	7	2,0
IRÃ	7	2,0
JAPÃO	7	2,0
ETIÓPIA	6	1,7
DINAMARCA	5	1,5
ESLOVÁQUIA	5	1,5
KÊNIA	4	1,2
MÉXICO	4	1,2
POLÔNIA	4	1,2
FINLÂNDIA	3	0,9
INDONÉSIA	3	0,9
REP DA GEORGIA	3	0,9
ARGENTINA	2	0,6
CHILE	2	0,6
COLÔMBIA	2	0,6
HUNGRIA	2	0,6
IRAQUE	2	0,6
NORUEGA	2	0,6
PERU	2	0,6
SRI LANKA	2	0,6
SUÉCIA	2	0,6
SUIÇA	2	0,6
TAIWAN	2	0,6
<b>Total</b>	<b>344</b>	<b>100</b>

Fonte: pesquisa realizada no ISI Web of Knowledge, em 01/06/2009.

Essa grande quantidade de trabalhos publicados, em diferentes partes do mundo, evidencia a grande utilização da USLE e da RUSLE.

Os trabalhos realizados em outros países utilizando essas equações para estudar a largura da faixa de vegetação florestal ao longo dos cursos d'água com maior relevância estão apresentados no item 2.3 deste trabalho



### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Material**

##### **3.1.1 Área de estudo**

###### **3.1.1.1 Localização geográfica**

Segundo Valente (2005), a Bacia do Rio Corumbataí, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°04'46"S e 22°41'28"S e os meridianos 47°26'23"W e 47°56'15"W, tem aproximadamente 170.000,0 ha, sendo que a maior parte de suas terras encontra-se na Depressão Periférica Paulista. Seu perímetro é de aproximadamente 301,52 km, tendo 63,72 km de extensão na direção Norte-Sul e 26,80 km (maior largura) na direção Leste-Oeste. É uma sub-bacia do Rio Piracicaba, estando situada à sua margem direita. Na Figura 1 está apresentada a localização da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí no Estado de São Paulo.

Como pode ser observado na Figura 2 os municípios que a compõem são: Corumbataí; Ipeúna; Rio Claro; e Santa Gertrudes; e parte dos municípios de Analândia; Charqueada; Itirapina; e Piracicaba. Tradicionalmente, como é apresentado na Figura 2, a bacia é dividida nas seguintes sub-bacias: Alto Corumbataí (31.801,68 ha); Passa-Cinco (52.757,60 ha); Médio Corumbataí (29.316,60 ha); Ribeirão Claro (28.174,90 ha) e Baixo Corumbataí (28.724,84 ha).

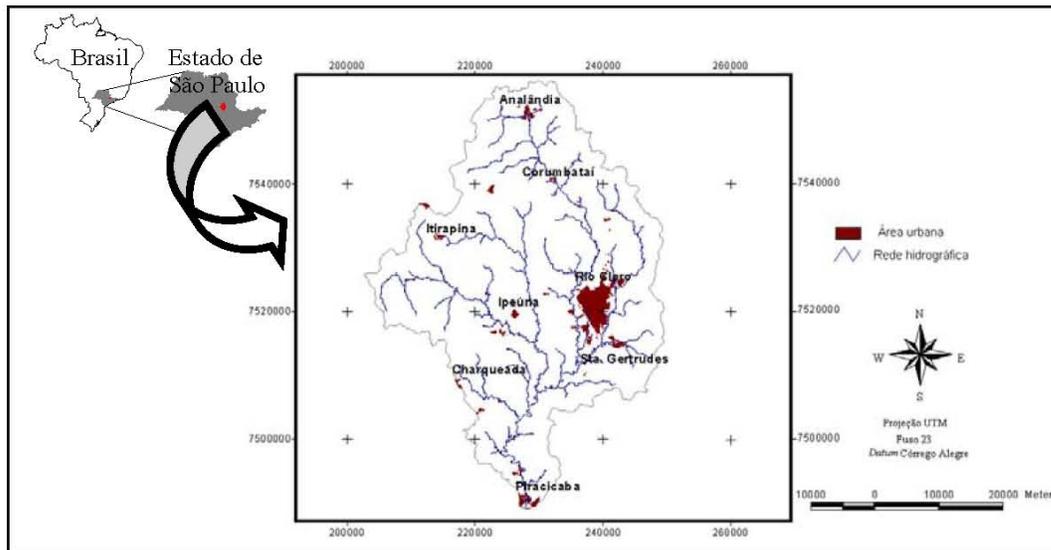


Figura 1 - Localização geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí

Fonte: Valente (2005).

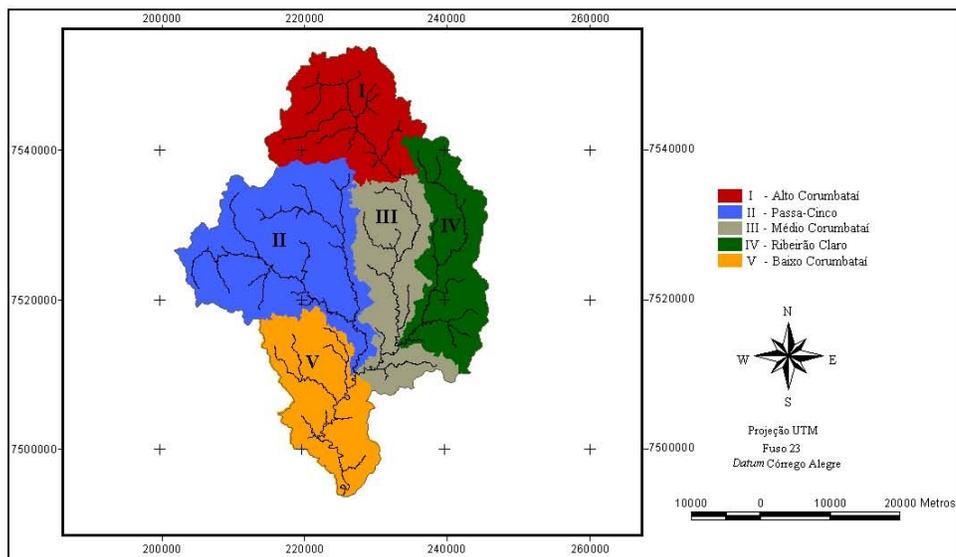


Figura 2 - Divisão em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí

Fonte: Valente (2005).

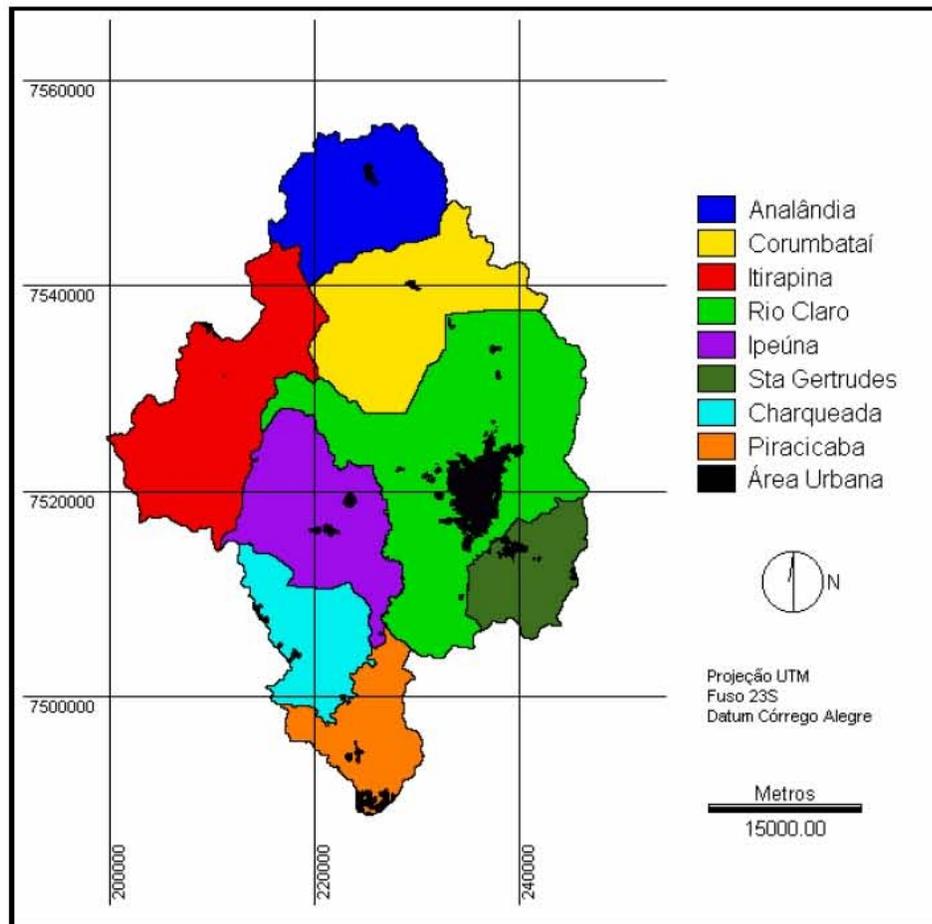


Figura 3 - Municípios na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí

Fonte: Marino Júnior (2006).

### 3.1.1.2 Relevo

O relevo da bacia é representado, segundo Koffler (1993), principalmente por duas modalidades:

(1) Morrotes alongados e espigões: predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos, possuindo a drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados; e

(2) Colinas médias e amplas: predominando interflúvios com áreas de 1 km<sup>2</sup> a mais de 4 km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos que se conectam à drenagem de média a baixa densidade e apresentam padrão subangular, vales abertos e fechados, planícies interiores restritas a presença de lagoas perenes ou

intermitentes. Como pode ser observado na Figura 4, as declividades na bacia variam de planas à muito íngremes.

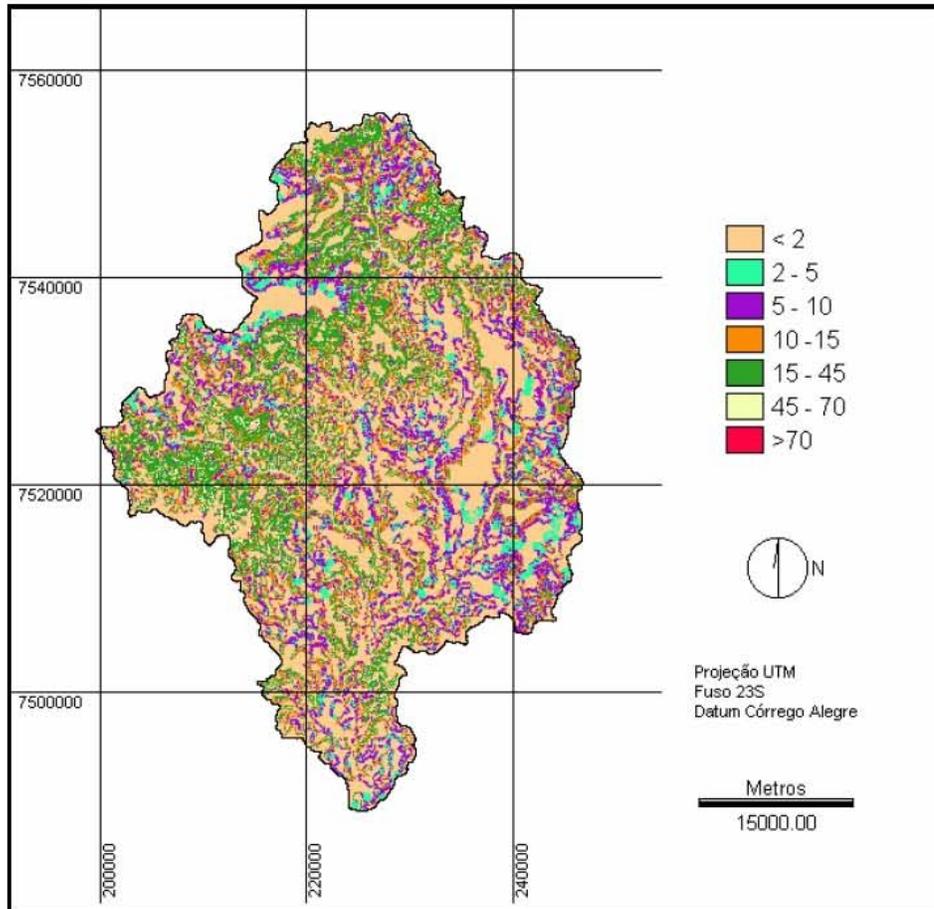


Figura 4 - Classes de declividade, em porcentagem, na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí  
Fonte: Marino Júnior (2006).

### 3.1.1.3 Geologia

A Bacia do Rio Corumbataí é composta pelas formações Rio Claro, Pirambóia, Corumbataí e Irati (KOFFLER, 1994). As características e o potencial mineral de cada formação podem ser observados na Tabela 5. Do ponto de vista geológico, essa bacia localiza-se na Bacia Sedimentar do Paraná, sendo ali encontradas litologias relativas ao Cenozóico, ao Mesozóico e ao Paleozóico (KOFFLER, 1993).

Tabela 5 - Constituição geológica, características e potencial mineral das formações da Bacia do Rio Corumbataí

Formação	Características	Potencial Mineral
Rio Claro	arenitos, arenitos conglomeráticos e arenitos argilosos, restrito à região de Ipeúna	areia (principal); argila
Pirambóia	arenitos finos a médios sílticos argilosos de cor avermelhada, intercalados por níveis de argilito, folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas, típicos de ambiente fluvial e de planície de inundação	argila
Corumbataí	argilitos, folhelhos sílticos cinza, arroxeados ou avermelhados associados a depósitos de planície de maré	argila
Iratí	siltitos, argilitos, folhelhos sílticos cinza, folhelhos pirobetuminosos intercalados com calcários creme, de ambiente marinho raso	calcário e dolomito

Fonte: Koffler (1994).

#### 3.1.1.4 Clima

O clima da região, na classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, subtropical, seco no inverno e chuvoso no verão, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. As temperaturas mais altas ocorrem no período de dezembro a março e as mais baixas no bimestre junho e julho, com 17 °C de temperatura (SALATI, 1996).

O regime de chuvas é tropical, com duas estações definidas: um período seco, de março a setembro, com menos de 20% da precipitação anual, e um período chuvoso, de outubro a fevereiro, com mais de 80% da precipitação anual, sendo o total precipitado no ano em torno de 1390 mm (TROPMAIR e MACHADO, 1974).

#### 3.1.1.5 Solos

A Bacia do Rio Corumbataí, com base na primeira ordem do Novo Sistema de Classificação de Solos Brasileiros (PRADO, 2003), tem aproximadamente 46% de sua área ocupada com Argissolos; 30% com Latossolos; 22% com Neossolos; 0,56% com Gleissolos; 0,41% com Nitossolos; e apenas 0,28% com Chernossolos. A distribuição desses grandes grupos de solos pode ser observada na Tabela 6 e na Figura 5.

Tabela 6 - Grandes grupos de solos da Bacia do Rio Corumbataí

Tipo de solo	Alto Corumbataí	Passa-Cinco	Médio Corumbataí	Ribeirão Claro	Baixo Corumbataí
Latossolos	33,20	30,23	24,54	54,22	8,20
Argissolos	18,76	43,98	69,96	37,96	64,87
Nitossolos	0,14	0,67	0,00	0,00	1,03
Neossolos	47,10	24,71	5,02	7,81	22,91
Gleissolos	0,79	0,31	0,36	0,00	0,60
Chernossolos	0,00	0,00	0,00	0,00	1,09

Fonte: Valente (2005)

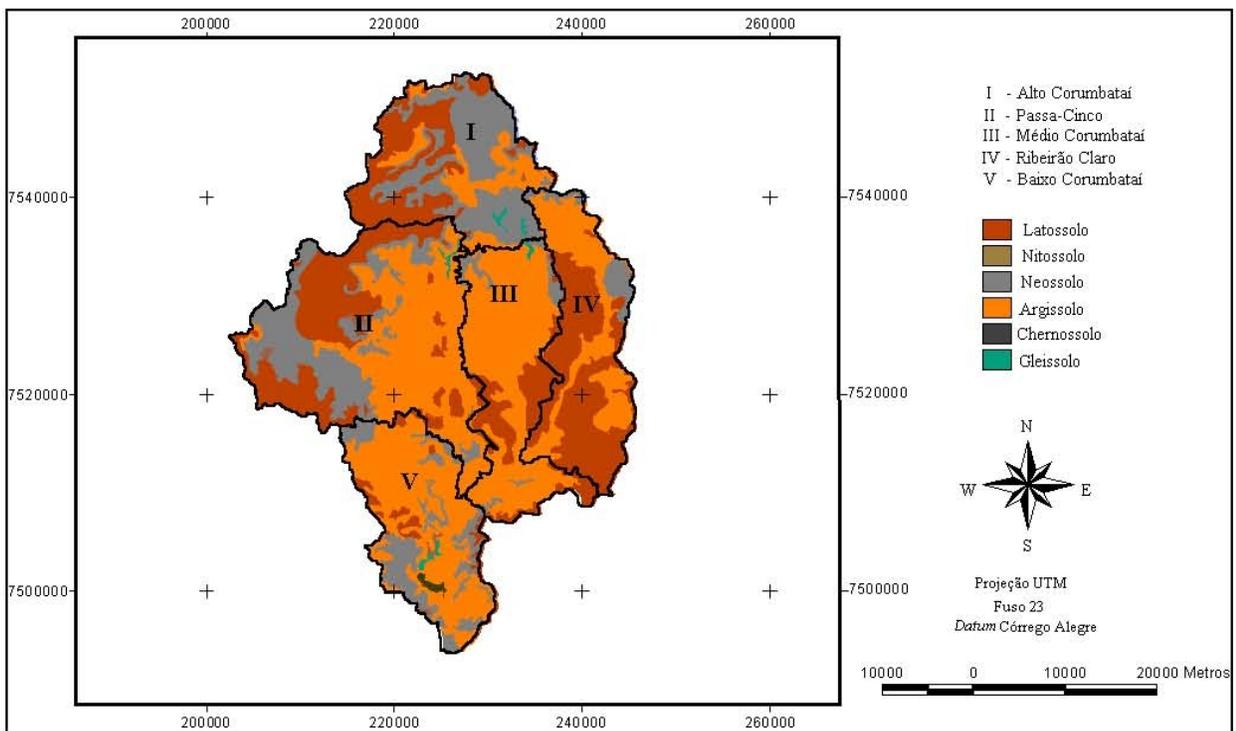


Figura 5 - Grandes grupos de solos na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí

Fonte: Valente (2005)

### 3.1.1.6 Uso e cobertura do solo

Segundo Koffler (1993), a Bacia do Rio Corumbataí era originalmente coberta por florestas, cerrados e campos cerrados e segundo Garcia (2000), a cafeicultura, as ferrovias com máquina a vapor e as numerosas olarias e serrarias do século XIX teriam sido responsáveis pelo desaparecimento dessa vegetação original, da qual existem hoje apenas vestígios.

Valente e Vettorazzi (2003), com base no mapa de uso e cobertura do solo produzido para o ano de 2000, citam que, na área da bacia, existem apenas 11% de floresta nativa e 1,25% de cerrado “lato sensu” e que essa vegetação remanescente encontra-se altamente fragmentada.

As culturas agrícolas, ainda segundo Valente e Vettorazzi (2003), predominam nessa paisagem, sendo que a pastagem representa aproximadamente 44% do uso do solo. A cana-de-açúcar, segunda cultura agrícola de maior representatividade, corresponde a aproximadamente 26% da área total da bacia. Ocorrem ainda outros usos do solo, como a fruticultura e os plantios comerciais de eucalipto, que representam, respectivamente, 3% e 7%, aproximadamente, dessa paisagem.

Koffler (1993) e Vettorazzi et al. (2000) em seus mapeamentos de uso e cobertura do solo dessa bacia, para os anos de 1991 e 1998, respectivamente, também observaram a predominância da pastagem e da cana-de-açúcar. Os autores constataram que a floresta nativa ocupava 6,1% no ano de 1991 e 9,6% da área total da bacia no ano de 1998. Essa tendência de aumento da área ocupada por floresta nativa também foi constatada no inventário do Instituto Florestal (RODRIGUES, 2003), que relatou um aumento de 2,86%, o correspondente a 808 km<sup>2</sup>, em área ocupada por Mata Atlântica, no Estado de São Paulo (ZORZETTO et al., 2003).

Valente (2005) elaborou um mapa de uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí e confirmou a tendência de aumento das áreas de floresta nativa e de cana-de-açúcar, representando 11,26% e 27,77%, respectivamente. A Figura 6 e a Tabela 7 trazem maiores informações sobre o resultado deste trabalho.

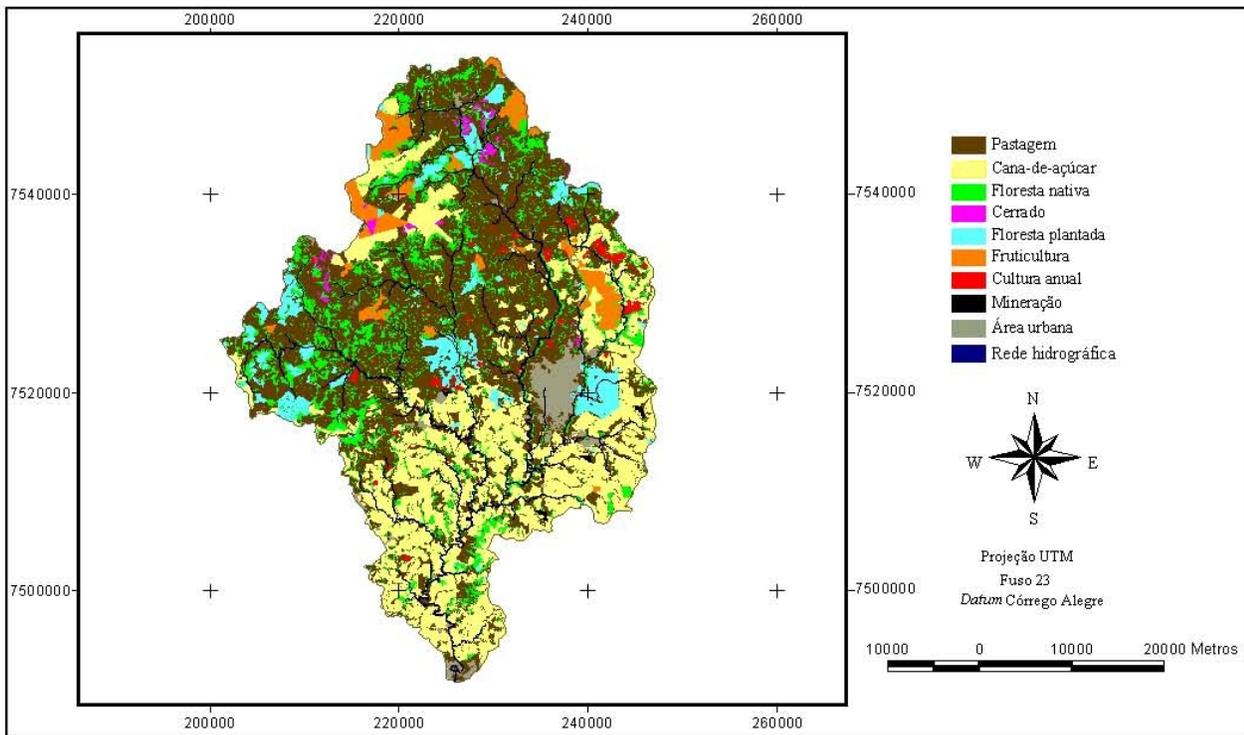


Figura 6 - Uso e Cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (2003)

Fonte: Valente (2005).

Tabela 7 - Uso e cobertura do solo para a Bacia do Rio Corumbataí

Uso e cobertura do solo	Área	
	(ha)	(%)
Pastagem	72.228,48	42,29
Cana-de-açúcar	47.431,92	27,77
Floresta nativa	19.234,84	11,26
Cerrado	1.217,20	0,71
Floresta plantada	9.713,84	5,69
Fruticultura	6.848,80	4,01
Cultura anual	1.575,48	0,92
Mineração	323,92	0,19
Área urbana	4.937,72	2,89
Outros*	7.263,40	4,25
<b>Total</b>	<b>170.775,60</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Valente (2005).

### 3.1.2 Mapas digitais

Os mapas digitais utilizados fazem parte do banco de dados cartográfico do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Rural, da ESALQ/USP.

Foram utilizados os seguintes mapas digitais, com resolução espacial de 20 m e tendo por base o Datum Córrego Alegre e a projeção Universal Transversa de Mercator - fuso 23:

(1) divisão da Bacia Hidrográfica em microbacias, gerado com base no modelo digital do terreno da bacia, sua rede hidrográfica e do ponto de junção de cada sub-bacia no rio Corumbataí;

(2) arquivo vetorial contendo as curvas de nível e pontos cotados na área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, feito com base nas cartas planialtimétricas (IBGE, escala 1:50.000, ano de 1969);

(3) rede hidrográfica: digitalizada (via mesa digitalizadora) com base nas cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000, no ano de 1969 e complementada com digitalização em tela, tendo por base um mosaico de imagens digitais orbitais da área de estudo, do ano de 1999;

(4) mapa de solos: produzido a partir do levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo (OLIVEIRA & PRADO, 1989), na escala 1:100.000;

### **3.1.3 Dados pluviométricos**

Para a elaboração do mapa de erosividade das chuvas na área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, foram utilizados os dados de chuva mensal das estações pluviométricas no interior e na região próxima a área desta bacia. A relação das estações pluviométricas estudadas está apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação das estações pluviométricas utilizadas

Estação Pluviométrica	Localização	Série Histórica
CH 012	Rio Claro	1937 à 2007
CH 014	Itirapina	1936 à 2007
CH 016	Rio Claro	1953 à 2007
CH 027	Araras	1937 à 2007
CH 032	Santa Cruz da Conceição	1937 à 2007
CH 035	Analândia	1937 à 2007
CH 036	Itirapina	1937 à 2007
CH 037	Itirapina	1937 à 2007
CH 056	Piracicaba	1950 à 2007
CH 059	Santa Gertrudes	1942 à 2007
C4-43	Corumbataí	1939 à 2007
C4-54	Charqueada	1939 à 2007
C4-60	São Pedro	1942 à 2007
C4-61	Piracicaba	1943 à 2007
C4-88	Santa Bárbara D'Oeste	1953 à 2007
C4-98	Brotas	1970 à 2007

Fonte: [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br) e [hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)

### 3.1.4 Sistemas computacionais

Os softwares utilizados foram:

- Software IDRISI Kilimanjaro: geração de mapas, interpolação e módulo RUSLE;
- BrOffice.org 3.1.0: planilha eletrônica para elaboração de gráficos e tabelas;
- A9CAD: edição de mapas em DWG.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Complementação do mapa das curvas de nível e pontos cotados

Para a geração do MDT, que foi utilizado na etapa de cálculo dos valores de erosão anual (RUSLE), foi necessário realizar uma complementação do mapa com as curvas de nível e os pontos cotados. Utilizou-se para isto cartas do IBGE na escala 1:50.000 (mesmo material utilizado para elaborar o mapa base) e o software A9CAD.

### 3.2.2 Geração do MDT

Utilizando o novo mapa das curvas de nível e pontos cotados e o software IDRISI Kilimanjaro, foi feita a triangulação das informações deste mapa e, com isso, elaborado o MDT da área necessária ao estudo. Como pode ser observado na Figura 7 o MDT abrange uma área maior que a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Isto foi necessário pois no cálculo da erosão anual (RUSLE) o software IDRISI Kilimanjaro utiliza a informação de cotas de todos os pixels presentes no mapa, não podendo, portanto, haver pixels sem esta informação.

Após a geração deste MDT foi criado um mapa em formato *raster* com pixels de 5m x 5m, que foi utilizado no cálculo da erosão anual.

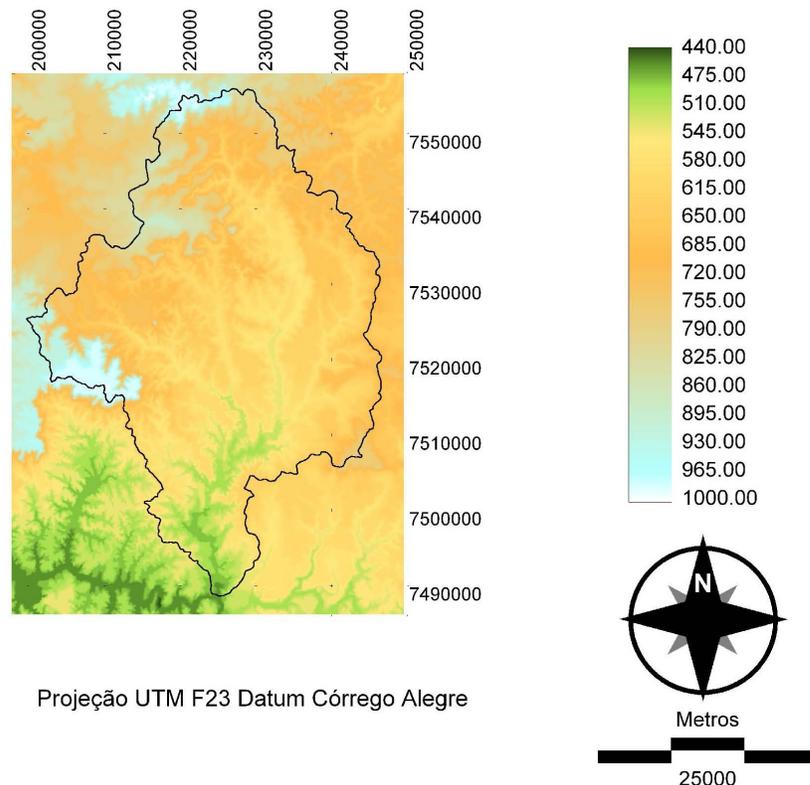


Figura 7 - MDT da área de estudo

### 3.2.3 Escolha das microbacias

Utilizando o MDT gerado, calculou-se a declividade de cada pixel da área do mapa. Posteriormente, calculou-se a declividade média de cada microbacia da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

A classificação da declividade das microbacias foi realizada seguindo o padrão apresentado por Ramalho Filho e Beek (1995 modificado por MINOTI, 2006) (Tabela 9).

Tabela 9 - Classes de Declividade, Relevo e Graus de limitação por suscetibilidade à erosão

Classes de Declividade (%)	Relevo	Grau de Limitação
0 a 3	Plano/praticamente plano	Nulo (N)
3 a 8	Suave ondulado	Ligeiro (L)
8 a 13	Moderadamente ondulado	Moderado (M)
13 a 20	Ondulado	Forte (F)
20 a 45	Forte ondulado	Muito forte (MF)
45 a 100	Montanhoso	Extremamente forte (EF)
Acima de 100	Escarpado	

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995 modificado por MINOTI, 2006).

Para a separação das microbacias em três grupos diferentes foram utilizados os seguintes critérios:

1. Microbacias de relevos suaves: declividade média de 0% a 8%; foram selecionadas com declividade ao redor de 5%;
2. Microbacias de relevos intermediários: declividade média de 8% a 20%; foram selecionadas com declividade ao redor de 15%;
3. Microbacias de relevos declivosos: declividade média acima de 20%; foram selecionadas com declividade acima de 20%;

Como havia apenas seis microbacias que se enquadravam no critério do último grupo de microbacias (de relevos declivosos), o número de microbacias das outras classes também foi limitado a seis.

Foram então selecionadas 18 microbacias, em três situações diferentes de relevo quanto à declividade média (seis microbacias para cada classe de relevo), com áreas ao redor de 200 ha. Na Figura 8 e Tabela 10 estão apresentadas maiores informações sobre as microbacias selecionadas para o estudo.

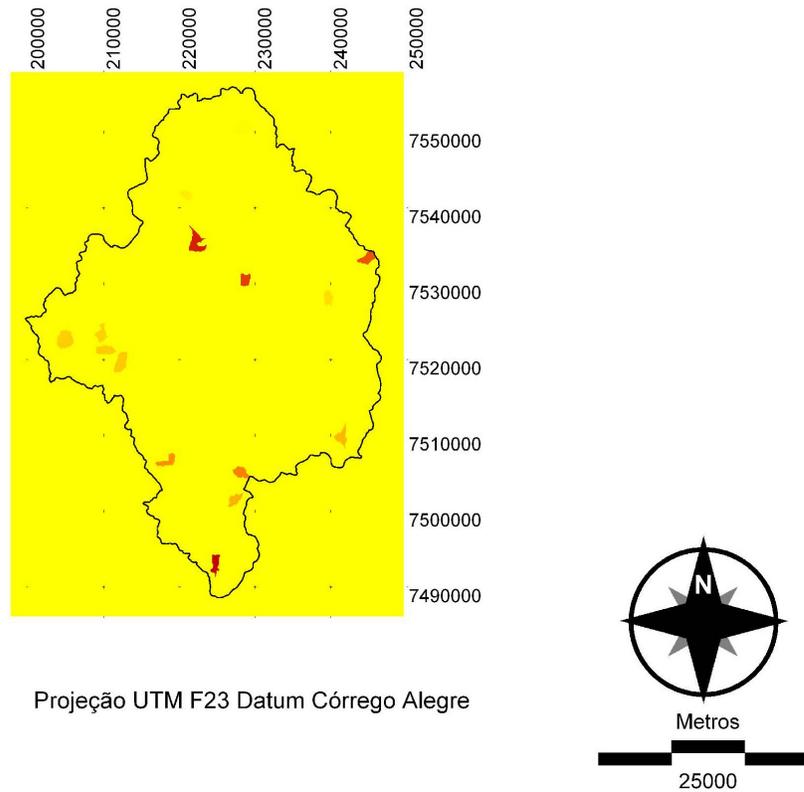


Figura 8 - Distribuição das microbacias selecionadas para o estudo

Tabela 10 - Identificação, tamanho e declividade das microbacias selecionadas para o estudo

Classes de declividade	Identificação	Área (ha)	Declividade média (%)
Baixa	11	259,88	6,0
	63	183,04	4,5
	129	233,40	5,3
	203	208,68	4,5
	315	231,36	5,4
	473	207,64	4,1
Média	4	185,08	15,7
	30	144,52	15,8
	140	196,84	13,7
	233	227,28	11,6
	351	180,28	12,4
	409	170,20	15,7
Alta	86	220,48	20,2
	88	183,88	21,4
	90	231,08	20,1
	94	246,44	22,6
	102	329,76	22,1
	407	203,04	21,4

### **3.2.4 Definição dos cenários e elaboração dos mapas dos fatores C e P**

Para atingir o objetivo deste trabalho foram gerados cenários de uso e cobertura do solo, de modo a avaliar o efeito da cobertura florestal na redução da erosão anual. A cobertura florestal utilizada foi a prevista em lei com as seguintes variações:

- Tamanho da APP: igual ao previsto na legislação; o dobro do valor da legislação e a metade do valor da legislação;
- Tamanho da RL: igual ao previsto na legislação; o dobro do valor da legislação e a metade do valor da legislação;
- Localização da RL: na parte alta da microbacia e na parte baixa da microbacia.

Para determinar a variação que seria utilizada foi feita uma revisão bibliográfica sobre trabalhos que avaliaram estes fatores e que tivessem determinado outros valores. Entretanto, não foi encontrado nenhum trabalho que pudesse ser utilizado.

Com isso, os cenários de estimativa de produção de sedimentos que foram gerados para cada microbacia foram os seguintes:

1. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
2. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
3. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
4. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e obedecendo à legislação quanto à Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;

5. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
6. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
7. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e obedecendo a legislação quanto à Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
8. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
9. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais alta da microbacia;
10. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
11. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
12. Obedecendo à legislação quanto à área de APP e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
13. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e obedecendo à legislação quanto à Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
14. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;

15. Considerando a APP no dobro do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
16. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e obedecendo à legislação quanto à Reserva Legal e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
17. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal no dobro do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia;
18. Considerando a APP na metade do valor estabelecido na legislação e considerando a Reserva Legal na metade do valor estabelecido na legislação e alocando a Reserva Legal na parte mais baixa da microbacia.

A cobertura do solo foi padronizada para pastagem no restante da área de cada microbacia que não estivesse ocupada com floresta nativa, conforme os cenários apresentados (nas áreas de APP e RL). Isto foi feito para fim de análise comparativa com os cenários definidos referentes à cobertura florestal (quantidade e localização), evitando assim a grande diferença no uso do solo que as microbacias apresentam entre si originalmente.

Para realizar um índice de redução da erosão nas microbacias estudadas, foi determinado qual o máximo potencial de redução da erosão por meio da diferença entre a erosão anual proporcionada em cada microbacia com o uso de 100% de floresta nativa e com o uso de 100% de pastagem. Para isto ser possível foram criados mais dois cenários:

19. Considerando toda a microbacia coberta por floresta nativa;
20. Considerando toda a microbacia coberta por pastagem.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos cenários estudados.

Tabela 11 - Características dos cenários avaliados no presente estudo, quanto ao tamanho da Área de Preservação Permanente – APP e tamanho e posição da Reserva Legal - RL

Cenário	Tamanho da APP	Tamanho da R.L.	Posição da Reserva Legal
1	= a legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
2	= a legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
3	= a legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
4	2x a legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
5	2x a legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
6	2x a legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
7	metade da legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
8	metade da legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
9	metade da legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
10	= a legislação	= a legislação	ao redor da APP
11	= a legislação	2x a legislação	ao redor da APP
12	= a legislação	metade da legislação	ao redor da APP
13	2x a legislação	= a legislação	ao redor da APP
14	2x a legislação	2x a legislação	ao redor da APP
15	2x a legislação	metade da legislação	ao redor da APP
16	metade da legislação	= a legislação	ao redor da APP
17	metade da legislação	2x a legislação	ao redor da APP
18	metade da legislação	metade da legislação	ao redor da APP
19		100% floresta nativa	
20		100% pastagem	

Para a edição dos cenários foram utilizados os mapas das microbacias selecionadas e o mapa da hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí em formatos DWG no software A9CAD. Após a edição foi gerado um arquivo DWG para cada cenário que foi importado para o software IDRISI Kilimanjaro em formato *vetorial*; em seguida foi feita a conversão para o formato *raster* e, por fim, foram feitas reclassificações de modo a gerar os mapas de Fator C e Fator P para cada cenário. Estes mapas foram feitos com o pixel de 5m x 5m.

Os valores de Fator C e P utilizados estão apresentados na Tabela 12 e a Figura 9 e Figura 10 apresentam uma microbacia no cenário 1, com os mapas finais dos fatores C e P, respectivamente.

Tabela 12 - Fatores P e C utilizados no presente estudo

Uso e Cobertura do Solo	Fator C	Fator P
Floresta Nativa	0,004	0,200
Pastagem	0,030	0,500

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1990)

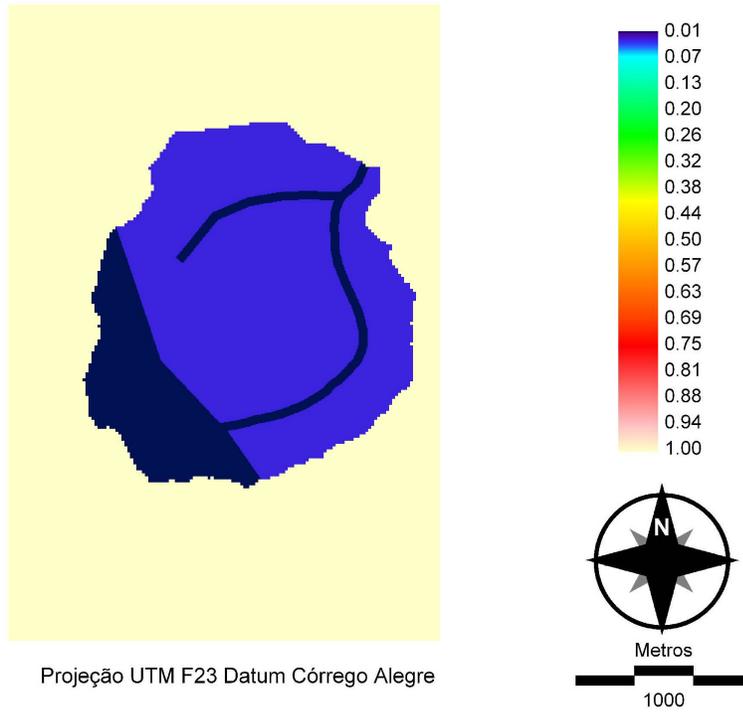


Figura 9 - Mapa final do Fator C do cenário 1 para uma microbacia

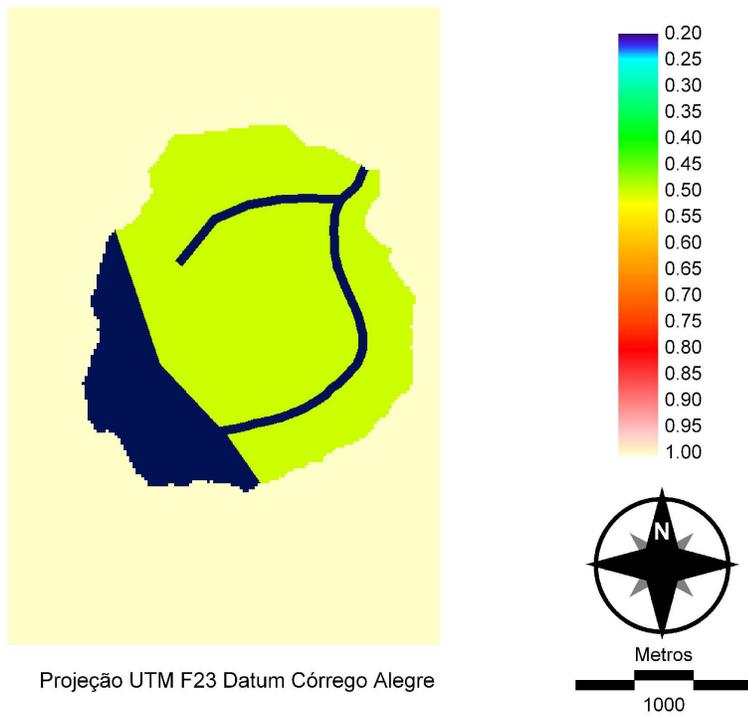


Figura 10 - Mapa final do Fator P do cenário 1 para uma microbacia

### 3.2.5 Elaboração do mapa de erodibilidade dos solos

O mapa de solos da bacia foi reclassificado para valores de erodibilidade utilizando os dados propostos em Bertoni e Lombardi Neto (1990), apresentados na Tabela 13. O mapa final da erodibilidade dos solos na área de estudo está apresentado na Figura 11.

Tabela 13 - Valores de erodibilidade utilizados para as classes de solo encontradas na área de estudo

Classes de Solo	Erodibilidade (Fator K da RUSLE)
Latossolos	0,0175
Argissolos	0,0350
Nitossolos	0,0296
Neossolos	0,0296
Gleissolos	0,0000
Chernossolos	0,0175

Fonte: Adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (1990)

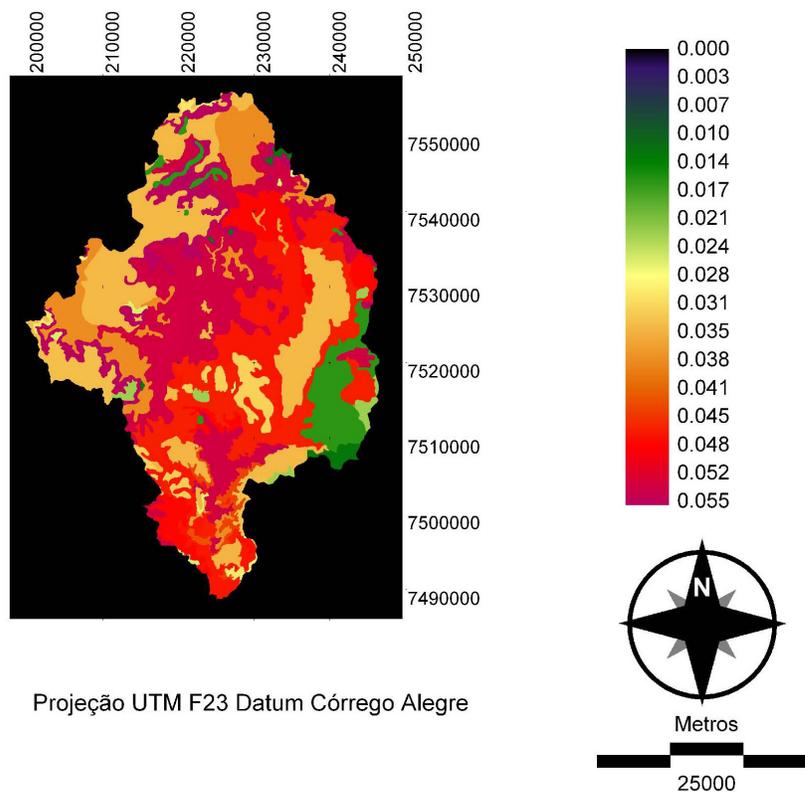


Figura 11 - Mapa da erodibilidade dos solos na área de estudo

### 3.2.6 Cálculo da erosividade das chuvas

Será detalhada neste item a metodologia para estimativa da erosividade das chuvas, pois este parâmetro da RUSLE foi calculado para o desenvolvimento deste trabalho, enquanto os outros foram obtidos de outros trabalhos. É importante comentar que em IPEF (2001) foi apresentado um mapa de erosividade da chuva para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Entretanto, para este mapa foram calculados os índices de erosividade apenas para o mês de novembro e não para o ano todo

De acordo com Renard et al. (1997) o fator R, erosividade da chuva, foi proposto por Wischmeier e Smith (1958), sendo definido como um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de erodir o solo de um terreno sem cobertura vegetal (LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992; BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

A erosividade expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente. Este potencial da água da chuva é função de sua energia, que depende tanto do tamanho das gotas como da intensidade da precipitação (LAL e ELLIOT, 1994).

Dentre os métodos existentes para determinar a erosividade da chuva destaca-se o índice  $EI_{30}$  de Wischmeier e Smith (1959), baseado na intensidade de uma chuva com 30 minutos de duração.

Muitos autores criticam a utilização do  $EI_{30}$  como um índice de erosão para os trópicos devido à escassez, e mesmo a inexistência, de dados pluviográficos necessários para a obtenção do  $I_{30}$  em muitos países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil e, ainda, à morosidade das análises dos diagramas dos pluviógrafos para o cálculo da energia cinética, destacando-se também a complexidade no cálculo do  $EI_{30}$ , que requer registros detalhados da precipitação (AQUINO et. al., 2006).

Bertoni e Lombardi Neto (1999), numa tentativa de simplificar o método para o cálculo de R, propuseram uma equação para determinação da erosividade da chuva, considerando a valores de precipitação média mensal (mm) e de precipitação média anual (mm).

O índice de erosividade média anual da precipitação de um dado local (R) é, então, computado como o somatório dos valores dos índices médios mensais de erosividade (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999; BERTOL, 1993).

$$EI = 67,355 * \left( \frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (2)$$

em que:

EI é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>,

r é a precipitação média mensal, em mm,

P é a precipitação média anual, em mm.

A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos para as estações utilizadas e na Figura 12 é apresentada o mapa final da erosividade das chuvas na área da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí.

Tabela 14 - Relação das estações pluviométricas utilizadas

Estação Pluviométrica	Precipitação média													EI anual
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	
CH 012	220	191	152	60	60	38	30	28	61	125	139	212	1317	6563
CH 014	236	213	161	69	56	38	28	28	60	127	147	214	1376	6899
CH 016	226	196	155	74	69	40	31	32	68	126	144	225	1385	6755
CH 027	231	199	153	65	57	41	27	27	57	123	164	222	1367	6853
CH 032	219	202	157	60	55	39	23	23	60	128	158	227	1352	6847
CH 035	227	204	156	61	55	39	27	28	57	127	155	212	1348	6775
CH 036	243	216	159	73	62	45	29	28	60	134	158	230	1437	7120
CH 037	223	196	156	64	57	38	25	25	54	122	155	215	1331	6718
CH 056	238	195	169	67	61	50	29	36	62	115	128	200	1349	6627
CH 059	248	187	165	63	57	42	32	30	62	131	148	201	1366	6773
C4-43	230	205	157	66	58	41	26	24	59	125	159	217	1367	6861
C4-54	228	196	163	80	69	43	31	32	67	142	140	226	1416	6849
C4-60	227	176	144	70	59	44	27	30	60	121	136	190	1284	6328
C4-61	233	194	151	76	56	48	31	30	60	127	133	203	1343	6797
C4-88	252	186	162	75	71	46	37	37	75	129	141	204	1414	7067
C4-98	232	196	178	90	78	52	40	38	74	116	138	217	1448	6808

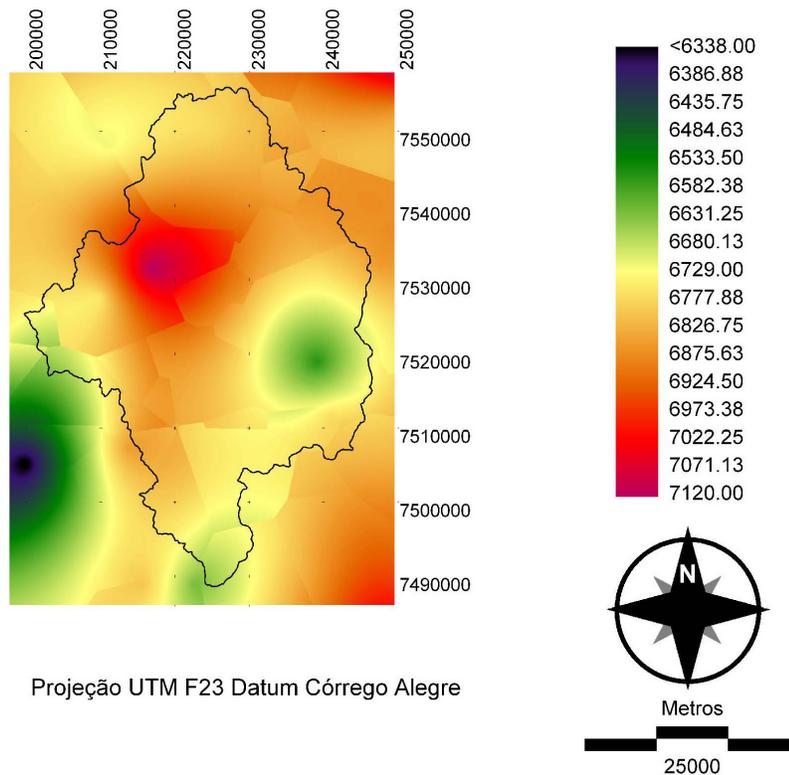


Figura 12 - Mapa de erosividade anual da chuva na Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí

### 3.2.7 Estimativa dos valores de erosão anual

Após a criação de todos os mapas necessários para o cálculo, em todos os cenários, da erosão anual (RUSLE), foi utilizado o módulo RUSLE do software IDRISI Kilimanjaro para o cálculo da erosão anual por pixel, em todas as microbacias para todos os cenários. No total foram necessários 360 cálculos deste módulo, sendo que a média de tempo de cada cálculo foi de 30 minutos, resultando em 180 horas de simulação.

É importante registrar que antes da aplicação deste módulo vários testes foram executados para dominar a ferramenta e conferir se esta não produziria resultados incorretos. A demanda de tempo para esta etapa foi de duas a três vezes maior que a etapa dos cálculos finais descrita no parágrafo anterior.

### 3.2.8 Fluxograma da Metodologia

A Figura 13 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho.

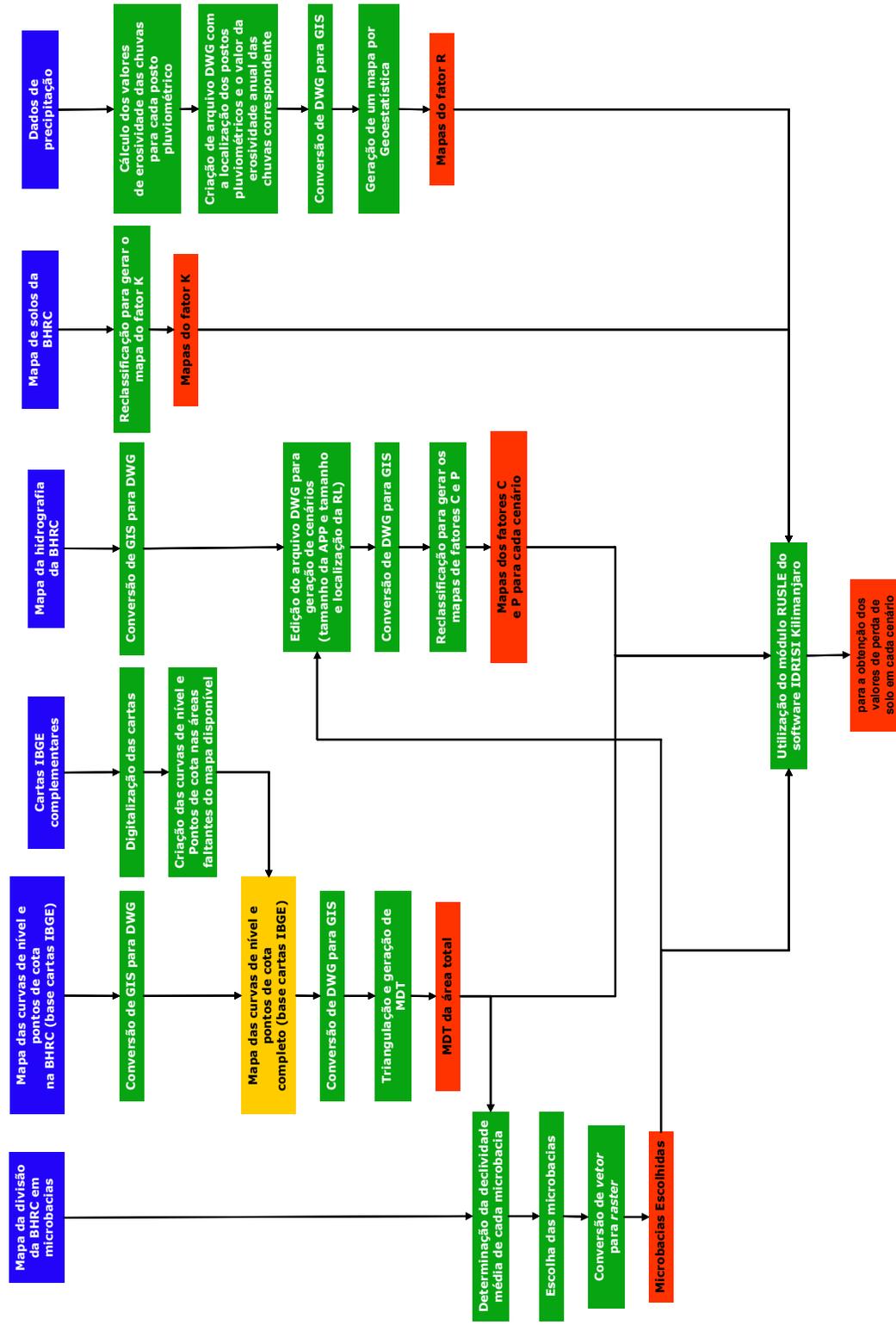


Figura 13 - Fluxograma da metodologia empregada



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de erosão anual para cada microbacia e cenário estão na Tabela 22, em Anexo.

### 4.1 Redução relativa na perda de solo anual

Com o objetivo de melhor comparar os efeitos dos diferentes cenários e de seus fatores (tamanho da APP, tamanho e localização da RL), foi gerado o índice chamado de Redução Relativa da perda de solo anual. Esta redução relativa é a comparação de quanto o cenário reduziu a erosão anual em comparação com o potencial, que foi determinado pela diferença entre a erosão anual produzida com as microbacias cobertas totalmente com pasto e elas totalmente cobertas com floresta nativa. A Equação 3 resume a metodologia para a geração deste índice:

$$RR = \left( \frac{E_i - E_F}{E_P - E_F} \right) * 100 \quad (3)$$

em que:

RR é a Redução Relativa da perda de solo anual, em %,

$E_i$  é a Erosão Anual média (de todas as microbacias) para o *i-ésimo* cenário, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

$E_F$  é a Erosão Anual média (de todas as microbacias) para o cenário onde as microbacias foram consideradas com 100% de floresta nativa, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

$E_C$  é a Erosão Anual média (de todas as microbacias) para o cenário onde as microbacias foram consideradas com 100% de pastagem, em MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Na Tabela 23, em Anexo, estão apresentados todos os valores de redução relativa obtidos para as microbacias e cenários estudados.

Foram analisadas as médias de todas as microbacias em cada cenário, que estão apresentadas na Tabela 15 e na Figura 14.

Tabela 15 – Redução relativa da perda de solo anual média para cada cenário e classe de declividade

Cenário	baixa declividade	média declividade	alta declividade	média
<b>1 *</b>	<b>22%</b>	<b>31%</b>	<b>26%</b>	<b>27%</b>
2	44%	47%	53%	48%
3	11%	15%	11%	13%
4	32%	38%	36%	35%
5	56%	61%	58%	58%
6	21%	29%	16%	22%
7	18%	18%	21%	19%
8	39%	42%	51%	44%
9	7%	10%	9%	9%
<b>10 *</b>	<b>33%</b>	<b>35%</b>	<b>20%</b>	<b>29%</b>
11	57%	58%	38%	51%
12	19%	22%	12%	18%
13	44%	50%	25%	40%
14	80%	82%	50%	71%
15	31%	35%	16%	28%
16	28%	29%	18%	25%
17	52%	56%	35%	48%
18	14%	16%	9%	13%
média	34%	37%	28%	33%

(\*) cenários que estão em acordo com a legislação vigente

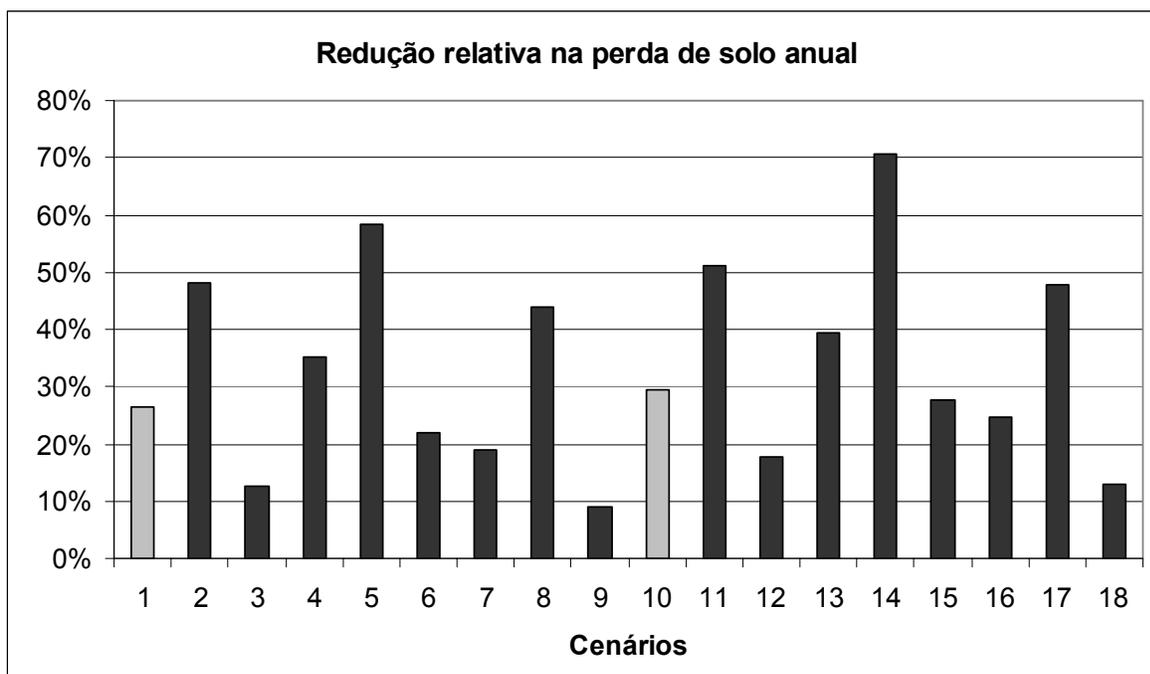


Figura 14 - Redução relativa da perda de solo anual para cada cenário analisado

Obs.: Destaque para os cenários que estão em acordo com a legislação vigente

Os cenários 1 e 10, que estão em acordo com a legislação vigente, promoveram uma redução relativa de 26% e 29%, respectivamente. Observa-se que a redução relativa destes cenários apresenta valores intermediários, atingindo menos de 30% do potencial de redução de erosão que seria possível em uma microbacia.

Os cenários 6 e 14, que tem maior área de cobertura florestal, apresentaram os maiores valores, 58% e 70%, respectivamente, enquanto que os cenários 9 e 18, que tem a menor área de cobertura florestal, apresentaram os menores valores, 9% e 13%, respectivamente. Estes resultados estão em acordo com os valores dos fatores C e P utilizados na RUSLE.

A Tabela 16 apresenta o resumo dos resultados de redução relativa obtidos, por classe de declividade e por fator estudado (tamanho da APP, tamanho e localização da RL). Cada um destes fatores foi analisado separadamente e o resultado da análise apresentado nos próximos itens.

Tabela 16 – Redução relativa da perda de solo anual por classe de declividade para cada fator analisado

Cenário	Redução relativa da perda de solo anual (%)		
	baixa declividade	média declividade	alta declividade
APP = a legislação	31	35	27
APP = o dobro da legislação	44	49	34
APP = metade da legislação	26	28	24
RL = a legislação	29	55	17
RL = o dobro da legislação	33	58	21
RL = metade da legislação	24	48	12
RL na parte alta	28	32	31
RL na parte baixa	40	43	24
média geral	34	37	28

#### 4.1.1 Classe de declividade

As Figuras 15 e 16 apresentam os resultados de redução relativa para cada cenário e para cada classe de declividade.

Observa-se que as classes de declividade alta e média dos cenários estudados apresentaram menor valor na redução relativa da perda de solo anual. Esta informação

está de acordo com Fujihara (2002), que afirma que o fator LS (declividade e comprimento da rampa) é um dos mais importantes na erosão anual.

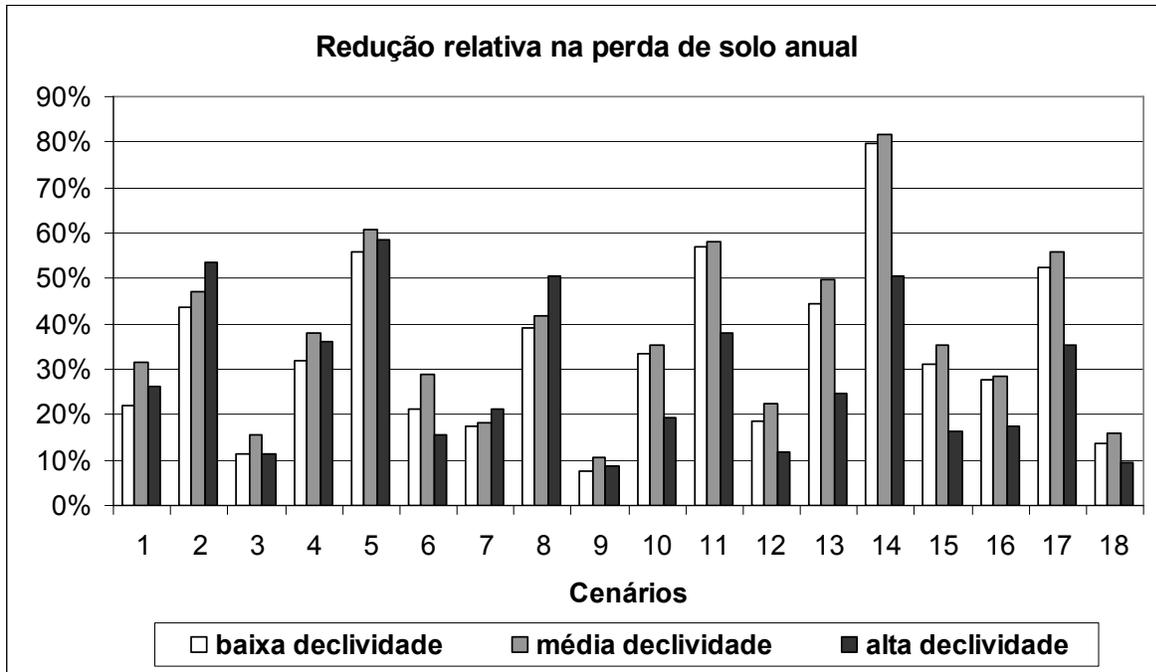


Figura 15 - Redução relativa da perda de solo anual por classe de declividade para cada cenário analisado

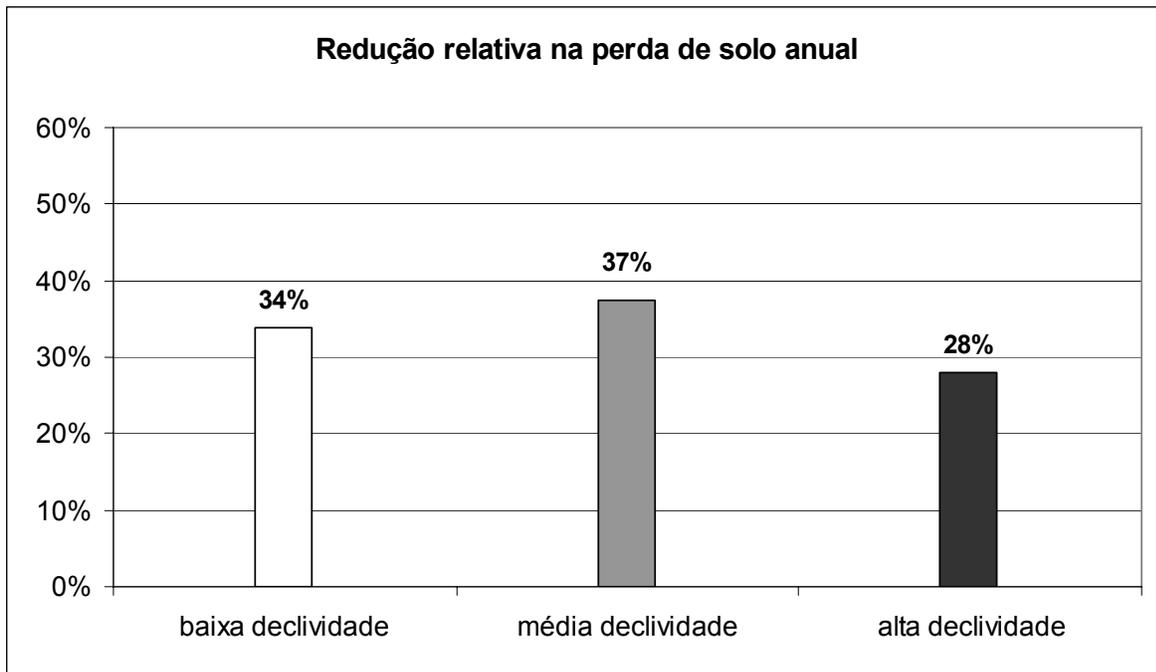


Figura 16 – Redução relativa da perda de solo anual média por classe de declividade

#### 4.1.2 Tamanho da Área de Preservação Permanente

As Figuras 17 e 18 apresentam os resultados de redução relativa por tamanho da APP e para cada classe de declividade.

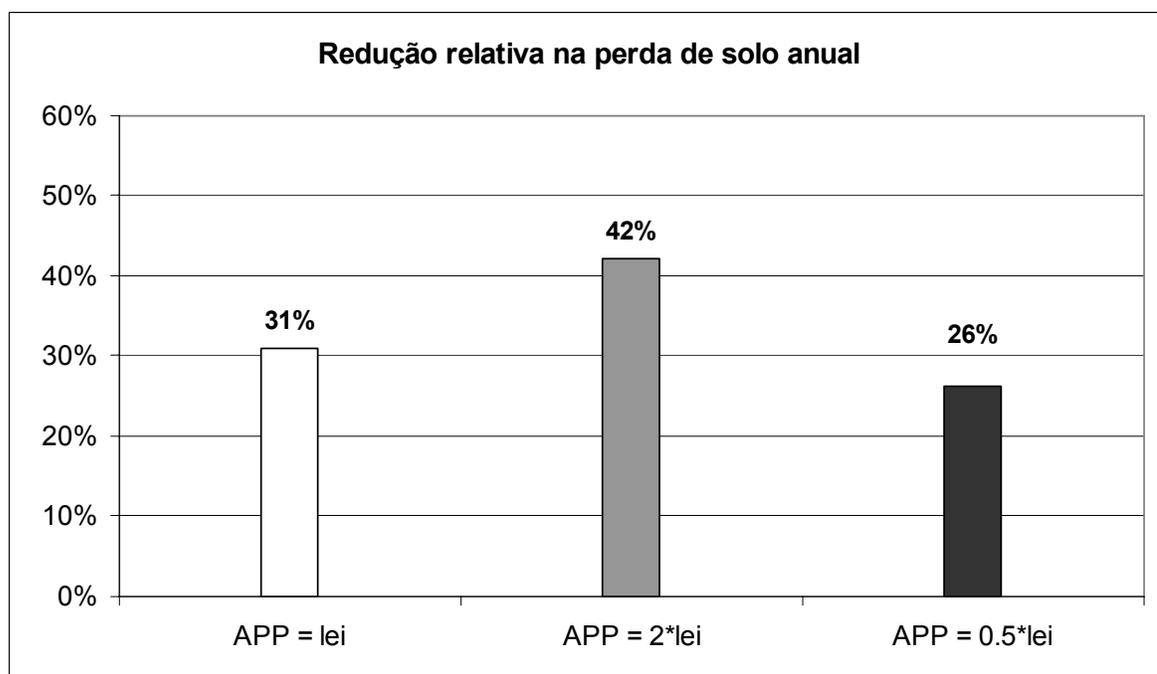


Figura 17 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da APP

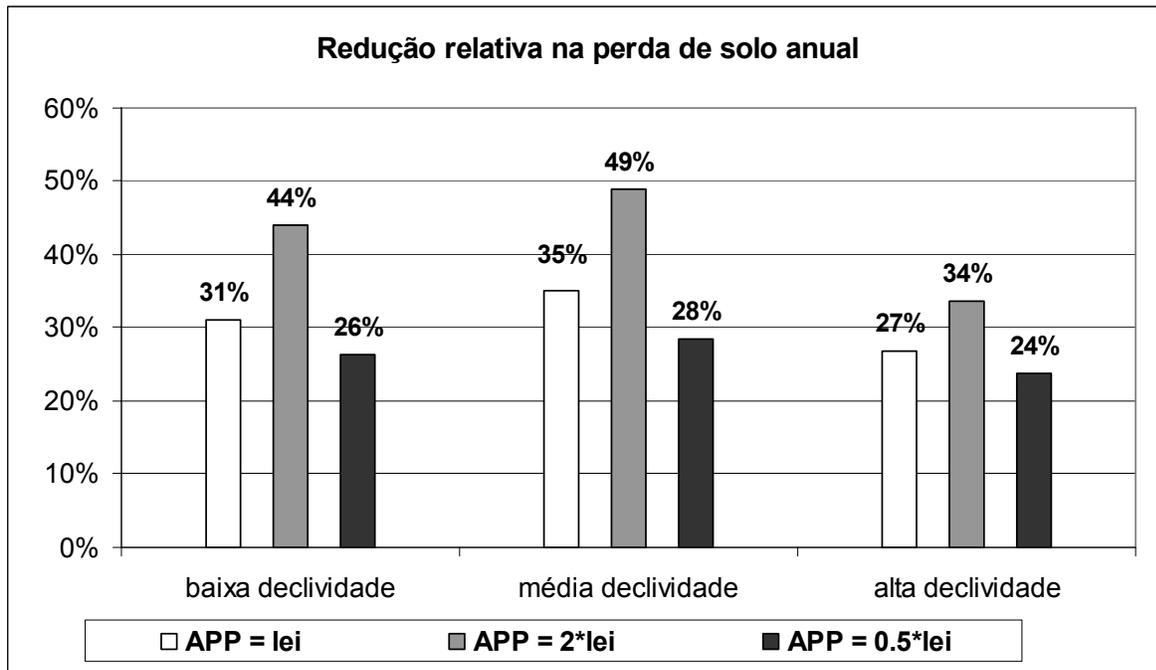


Figura 18 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da APP para cada classe de declividade

Destaca-se aqui quando a APP teve tamanho igual ou metade do definido na legislação, os valores médios de redução relativa da perda de solo anual foram bem próximos, 31% e 26%, respectivamente. Enquanto que para a APP no dobro do valor previsto na legislação a redução média foi de 42%.

Isso indica a tendência de que uma menor largura da APP pode proporcionar o mesmo efeito, ou efeito bem próximo, na erosão anual de uma microbacia.

Gharabaghi et al. (2000) e Robinson et al. (1996), apesar de estudarem o efeito da cobertura de espécies de gramínea e pastagem na zona ripária (e não de cobertura florestal), chegaram a conclusões semelhantes, pois afirmaram que os primeiros 2,5 a 3,0 m da zona ripária são responsáveis por mais de 50% da remoção de sedimentos.

Maiores discussões sobre a largura da área de cobertura florestal ao longo dos cursos d'água serão feitas no item 4.1.4.

Observa-se que os valores de redução relativa tem grande influência da classe de declividade, apresentando o mesmo comportamento observado na Figura 16.

#### 4.1.3 Tamanho da Reserva Legal

As Figuras 19 e 20 apresentam os resultados de redução relativa por tamanho da RL e para cada classe de declividade.

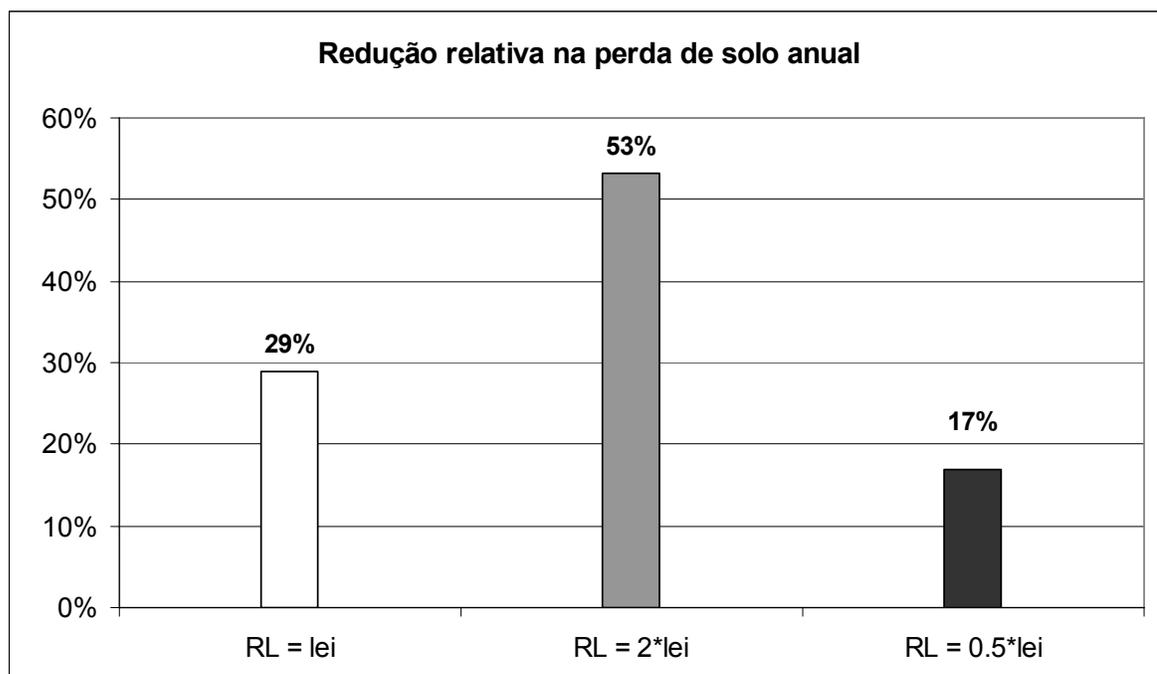


Figura 19 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da Reserva Legal

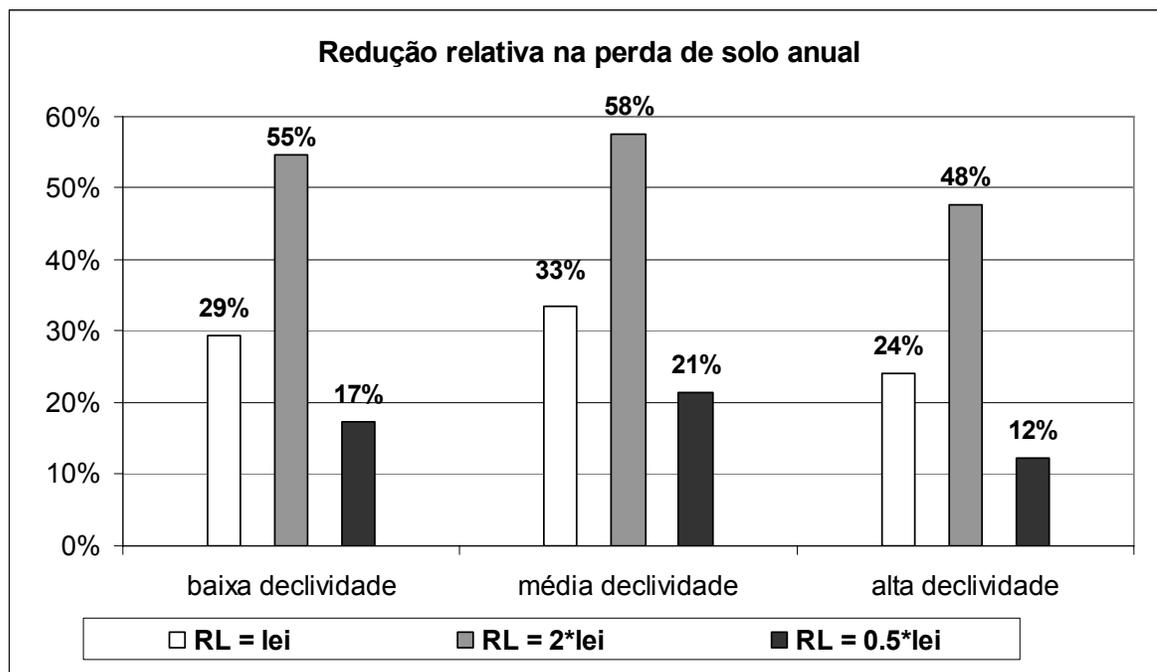


Figura 20 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da Reserva Legal para cada classe de declividade

A redução relativa da perda de solo apresentou uma tendência de proporcionalidade linear direta para o tamanho da RL. Isto pode ser creditado à maior cobertura florestal que a RL representa na microbacia, quando comparada à cobertura da APP.

Assim como ocorreu para o tamanho da APP, observa-se que a classe de declividade contribuiu para o resultado da redução relativa, apresentando o mesmo comportamento observado na Figura 16.

#### 4.1.4 Localização da Reserva Legal

As Figuras 21 e 22 apresentam os resultados de redução relativa por localização da RL e para cada classe de declividade.

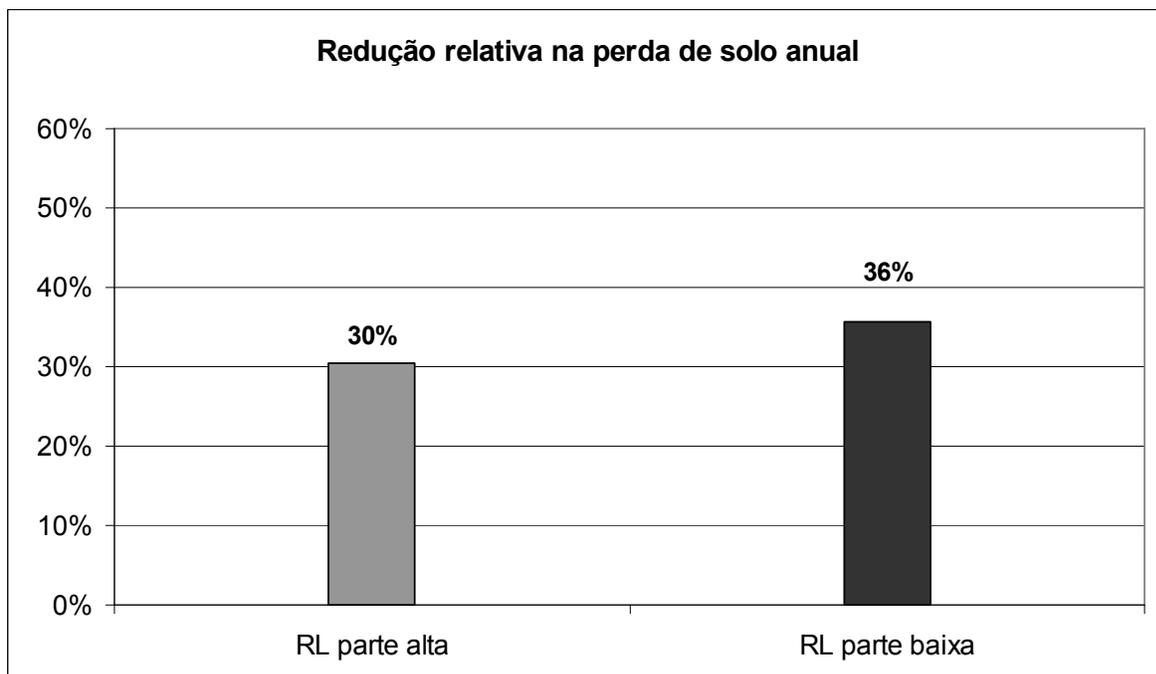


Figura 21 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de localização da Reserva Legal

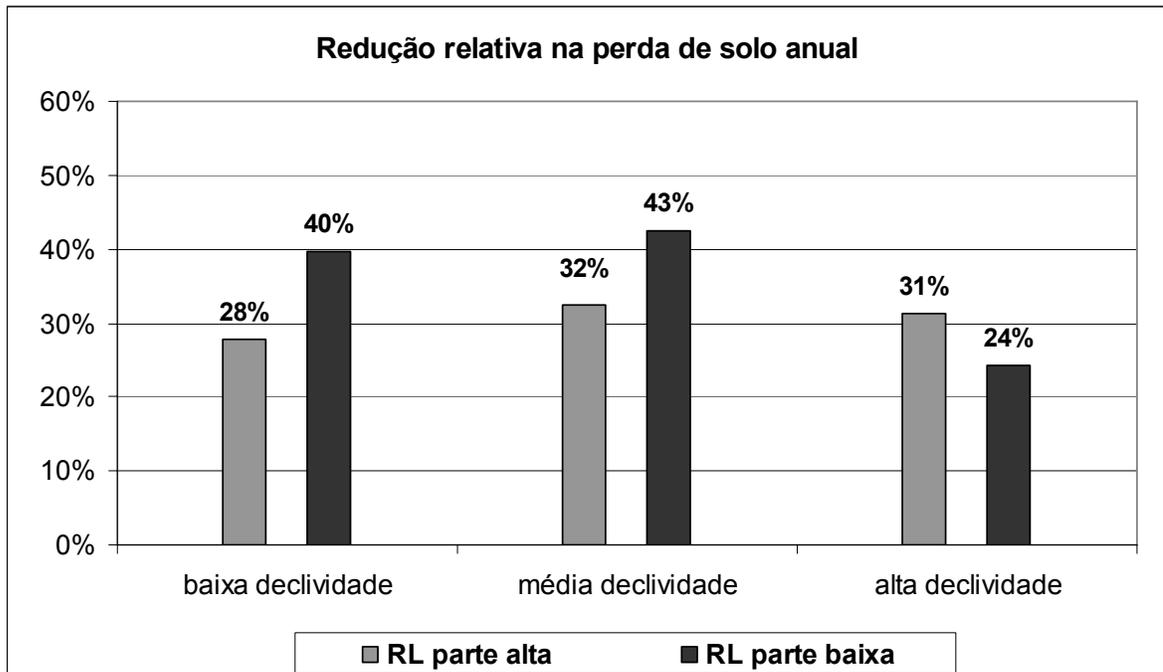


Figura 22 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de localização da Reserva Legal para cada classe de declividade

Quando a RL está localizada na parte baixa da microbacia, ou seja, ao redor da APP, ocorre uma redução relativa da perda de solo anual maior do que com a RL na parte alta desta. Isto apenas não foi observado nas microbacias com classe de declividade alta, onde o resultado se inverteu.

Vários autores (MOSTER, 2007; ILHARDT et al., 1999; ZAKIA, 1998; LIMA e ZAKIA, 2004; ATTANASIO, 2004) mostram a importância da manutenção de uma cobertura florestal ao redor dos cursos d'água maior do que o exigido pela legislação vigente para a APP, para a proteção de toda a zona ripária. A redução relativa da erosão anual apresentada nas Figuras 21 e 22 vem a concordar com esses autores, quando a declividade média das microbacias for de até 20%.

Sparoveck et al. (2002) vêm também corroborar com estes resultados, pois afirmaram que, para um estudo de caso em Piracicaba, a largura ideal da faixa da zona ripária seria de 52 m, o que traria uma remoção de sedimentos maior do que a proporcionada pela largura exigida pela legislação (30 m).

Entretanto, como as áreas próximas aos cursos d'água geralmente apresentam menores declividades do que as áreas do restante da bacia hidrográfica, este resultado

não está confirmando os de Machado (2002) e Moro (2005), pois segundo esses autores a alocação da cobertura florestal nas áreas de maior declividade é que traria maiores reduções na formação de sedimentos.

A inversão do resultado para as microbacias com classe de declividade alta está relacionada à configuração destas, pois quando a RL está na parte baixa, as áreas sem cobertura florestal estão associadas a rampas mais declivosas, o que não ocorre para as outras microbacias.

Novamente observa-se que a classe de declividade contribuiu para o resultado da redução relativa, apresentando o mesmo comportamento observado na Figura 16.

Cabe fazer aqui uma observação: após a averbação da RL ao redor da APP (ou em qualquer outro lugar da propriedade rural) é necessário um processo jurídico, que costuma ser demorado, para alterar esta averbação; e uma exigência deste processo é a permuta por uma área com cobertura florestal em condição melhor do que a do lugar que se quer alterar. Então ao se averbar a RL ao redor da APP deve-se ter a certeza da não utilização futura deste lugar, como, por exemplo, para construir uma barragem no curso d'água.

#### **4.1.5 Contribuição de cada fator estudado**

De modo a quantificar a contribuição de cada fator estudado na redução relativa da erosão anual e, assim, definir a importância de cada um destes, foi feita uma análise por grupo de redução relativa. Para cada fator analisado (classe de declividade, tamanho da APP, tamanho e localização da RL) os resultados foram separados em grupos de redução relativa.

As classes de redução relativa da erosão anual foram determinadas pela distribuição de todos os valores calculados (Tabela 23 em Anexo) e são as seguintes:

- ✓ baixa redução: valores de redução relativa de 1,2% a 31,7%;
- ✓ média redução: valores de redução relativa de 31,8% a 62,3%; e

- ✓ alta redução: valores de redução relativa de 62,4% a 92,9%.

Para melhor explicar este agrupamento, ele será descrito para o primeiro fator: classe de declividade. Para este fator foram testadas três condições: classe baixa (0% a 5%), classe média (8% a 20%) e classe alta (acima de 20%). Para cada um destes fatores há os resultados das 18 microbacias, com um total de 54 resultados. Estes resultados foram quantificados para cada classe de redução relativa e estão apresentados na Figura 23 e na Tabela 17.

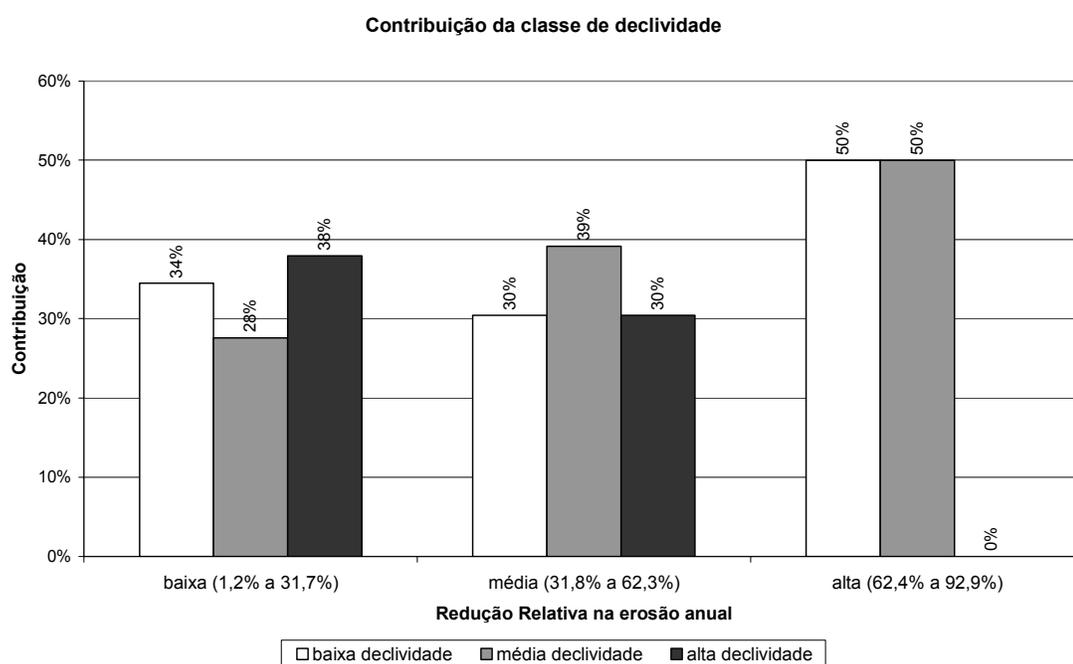


Figura 23 – Contribuição das microbacias por classe de declividade, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

Tabela 17 - Contribuição das microbacias por classe de declividade (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

	agrupamento de redução relativa		
	baixa (1,2% a 31,7%)	média (31,8% a 62,3%)	alta (62,4% a 92,9%)
baixa declividade	10 (34%)	7 (30%)	1 (50%)
média declividade	8 (28%)	9 (39%)	1 (50%)
alta declividade	11 (38%)	7 (31%)	0 (0%)
total	29 (100%)	23 (100%)	2 (100%)

As baixa e média declividades permitiram com a aplicação dos cenários até uma alta redução relativa na erosão anual. As três classes de declividade apresentaram resultados bem distribuídos para as reduções relativas baixas e médias.

A alta declividade apresentou mais resultados de baixa redução relativa da erosão anual, ou seja, há a tendência de que para se obter maiores reduções relativas na erosão anual, deve-se priorizar as microbacias de menor declividade e/ ou aumentar a cobertura florestal nas microbacias de maior declividade.

Sugere-se que a definição da cobertura florestal deva levar em consideração a declividade da microbacia.

A Figura 24 e a Tabela 18 apresentam a contribuição das microbacias por tamanho da APP, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual.

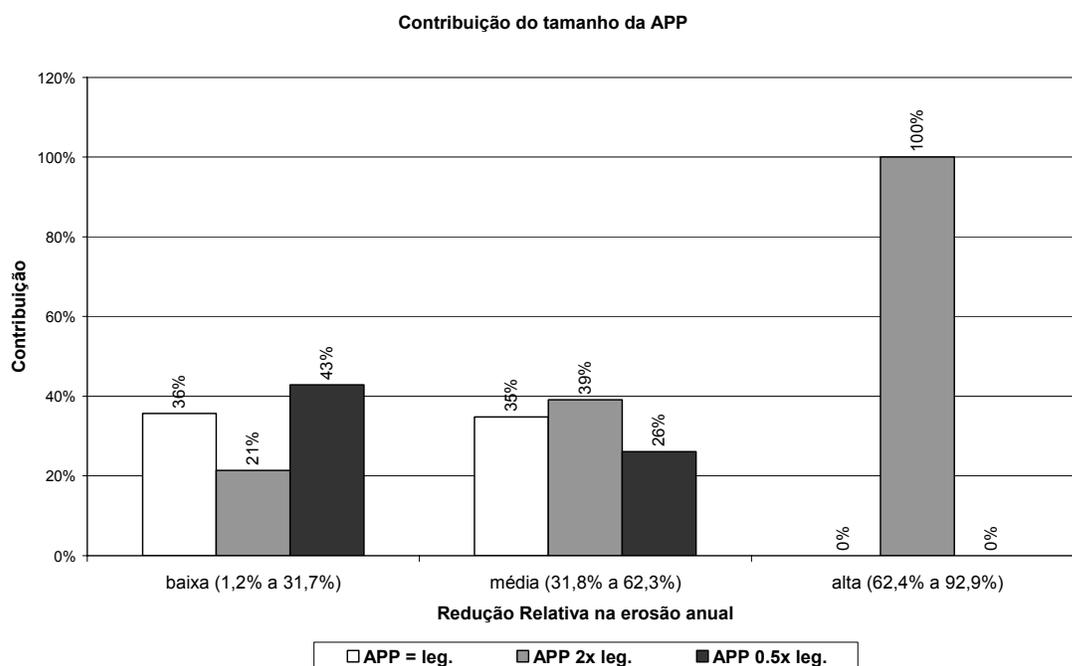


Figura 24 - Contribuição das microbacias por tamanho da APP, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

Tabela 18 - Contribuição das microbacias por tamanho da APP (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

	agrupamento de redução relativa		
	baixa (1,2% a 31,7%)	média (31,8% a 62,3%)	alta (62,4% a 92,9%)
APP = lei	10 (36%)	8 (35%)	0 (0%)
APP 2x lei	6 (21%)	9 (39%)	2 (100%)
APP 0.5x lei	12 (43%)	6 (26%)	0 (0%)
<b>total</b>	<b>28 (100%)</b>	<b>23 (100%)</b>	<b>2 (100%)</b>

Altas reduções relativas ocorreram apenas quando a APP foi o dobro do tamanho previsto na legislação. Para a APP igual ao da legislação e na metade deste tamanho, ocorreram reduções relativas baixas e médias, em número bem semelhante. Isto

corroborar com o resultado apresentado nas Figuras 17 e 18, nas quais a média da redução relativa é muito próxima nas situações do tamanho da APP igual ou a metade da legislação.

Nota-se, portanto, que há uma tendência de que menores valores de APP produzam a mesma redução relativa na erosão anual.

Sugere-se que sejam feitos mais trabalhos para diagnosticar a contribuição de diferentes tamanhos da APP na redução da erosão anual.

A Figura 25 e a Tabela 19 apresentam a contribuição das microbacias por tamanho da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual.

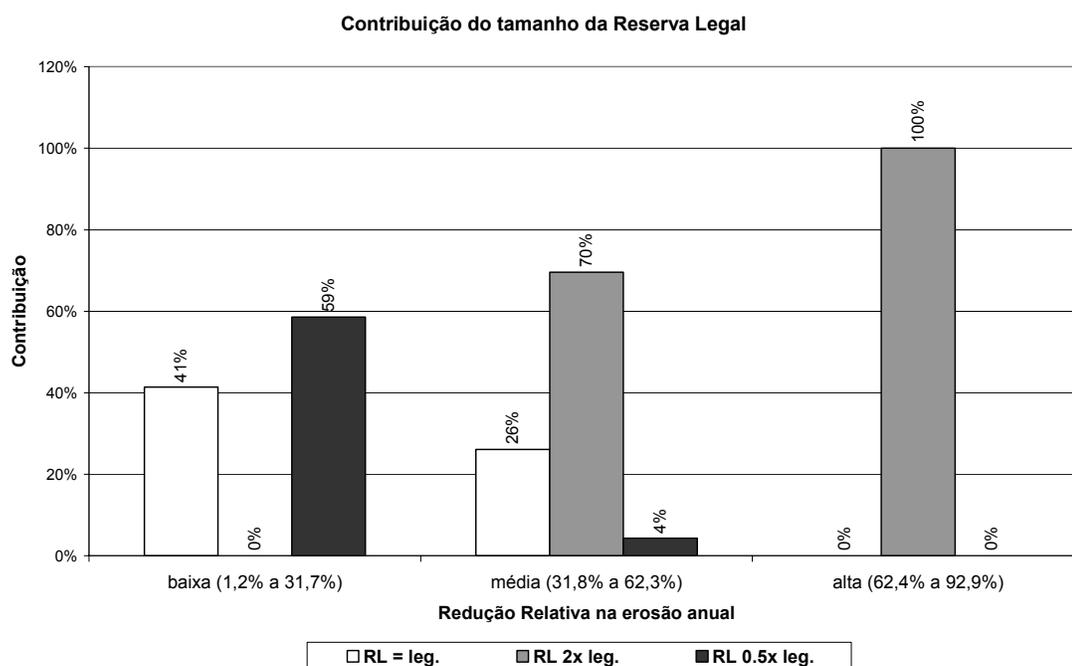


Figura 25 - Contribuição das microbacias por tamanho da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

Tabela 19 - Contribuição das microbacias por tamanho da RL (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

	agrupamento de redução relativa		
	baixa (1,2% a 31,7%)	média (31,8% a 62,3%)	alta (62,4% a 92,9%)
RL = lei	12 (41%)	6 (26%)	0 (0%)
RL 2x lei	0 (0%)	16 (70%)	2 (100%)
RL 0.5x lei	17 (59%)	1 (4%)	0 (0%)
total	29 (100%)	23 (100%)	2 (100%)

Para o tamanho da RL, assim como para o tamanho da APP, obtiveram-se altos valores de redução relativa na erosão anual apenas quando se aplicou o dobro dos tamanhos definidos na legislação vigente.

Em relação à RL igual ao tamanho definido na legislação e na metade deste valor, houve um resultado diferente do da análise do tamanho da APP, ou seja, quando a RL foi menor a redução relativa foi mais baixa (apresentando apenas um resultado de média redução relativa). Nota-se que assim como apresentado nas Figuras 19 e 20, o tamanho da RL teve resultados em uma proporção linear entre o tamanho da RL e a redução relativa na erosão anual.

A Figura 26 e a Tabela 20 apresentam a contribuição das microbacias por localização da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual.

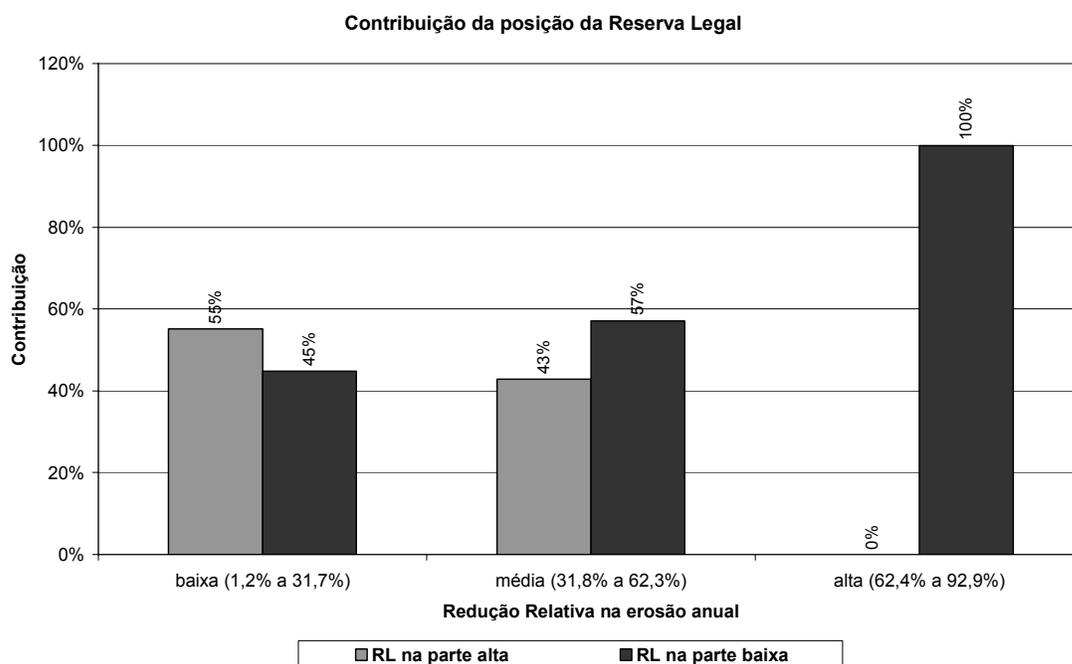


Figura 26 - Contribuição das microbacias por localização da RL, para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

Tabela 20 - Contribuição das microbacias por localização da RL (número e percentagem), para cada grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

	agrupamento de redução relativa		
	baixa (1,2% a 31,7%)	média (31,8% a 62,3%)	alta (62,4% a 92,9%)
RL na parte alta	16 (55%)	9 (43%)	0 (0%)
RL na parte baixa	13 (45%)	12 (57%)	2 (100%)
total	29 (100%)	21 (100%)	2 (100%)

O posicionamento da RL na parte mais baixa proporcionou maiores reduções relativas na erosão anual, pois, apenas na utilização deste cenário ocorreram altas reduções e nesta situação houve um maior número de reduções médias. Com o posicionamento da RL na parte mais alta houve um efeito contrário, com um maior número de resultados para baixa redução relativa.

Este resultado confirma as informações das Figuras 21 e 22, onde a RL alocada próximo à APP teve maior contribuição na redução relativa da erosão anual.

A Figura 27 e a Tabela 21 apresentam a contribuição das microbacias em todos os fatores estudados, por grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual.

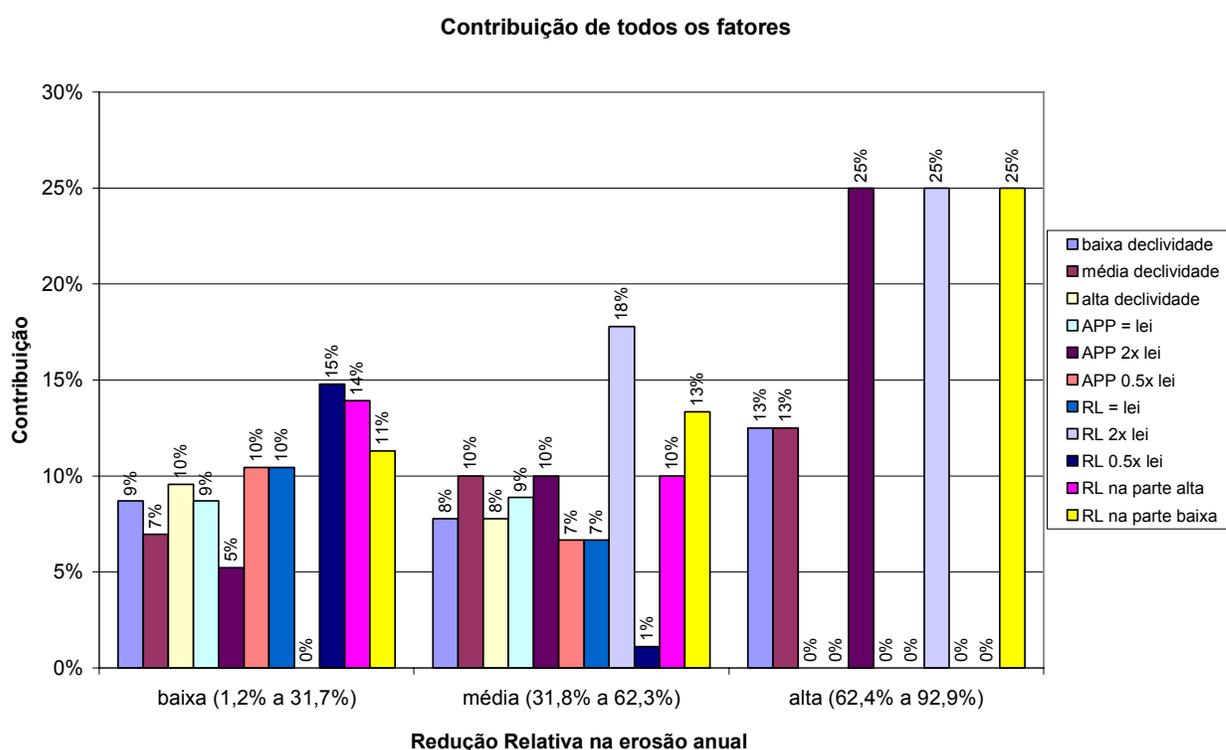


Figura 27 - Contribuição das microbacias para todos os fatores estudados, por grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

Tabela 21 - Contribuição das microbacias para todos os fatores estudados, por grupo de contribuição relativa na redução da erosão anual

	agrupamento de redução relativa		
	baixa (1,2% a 31,7%)	média (31,8% a 62,3%)	alta (62,4% a 92,9%)
baixa declividade	8,7%	7,8%	12,5%
média declividade	7,0%	10,0%	12,5%
alta declividade	9,6%	7,8%	0,0%
APP = leg.	8,7%	8,9%	0,0%
APP 2x leg.	5,2%	10,0%	25,0%
APP 0.5x leg.	10,4%	6,7%	0,0%

RL = leg.	10,4%	6,7%	0,0%
RL 2x leg.	0,0%	17,8%	25,0%
RL 0.5x leg.	14,8%	1,1%	0,0%
RL na parte alta	13,9%	10,0%	0,0%
RL na parte baixa	11,3%	13,3%	25,0%
total	100,0%	100,0%	100,0%

Dentro dos resultados de baixa redução da erosão anual, os cenários que promoveram estes resultados com mais frequência foram a localização da RL na parte mais alta e o tamanho da RL na metade do valor definido pela legislação.

Para altas reduções da erosão anual, os cenários que proporcionaram isto foram apenas: baixa e média declividade, o dobro dos valores definidos pela legislação para a APP e a RL e a localização a RL na parte baixa das microbacias.

Observa-se que a quantidade de floresta foi o fator que teve maior frequência nas altas reduções relativas de erosão, juntamente com a localização da RL ao redor da APP.

Mesmo considerando o fato de que é necessário tratar a paisagem em bacias hidrográficas de uma forma global, identificando as “áreas ambientalmente sensíveis”, onde são necessárias práticas de controle dos processos erosivos e não somente com a proteção dispensada aos cursos d’água por meio da mata ciliar (MACHADO, 2002; MORO, 2005; DOMINGOS, 2006), com todos os resultados apresentados, nota-se a tendência de que a largura da faixa de APP deve ser determinada levando em consideração a declividade da microbacia e também que a RL deve estar localizada ao longo da APP, pois estas características podem trazer melhores resultados na redução da erosão anual.

## 5 CONCLUSÕES

A utilização do ambiente SIG para o estudo do efeito de diferentes cenários de cobertura do solo na produção de sedimentos utilizando a RUSLE é necessário e de fundamental importância.

O efeito da cobertura florestal na redução da erosão anual é variável em função da declividade média da microbacia.

Em relação à largura da Área de Preservação Permanente - APP, altas reduções ocorrem apenas quando a largura da APP é o dobro da prevista na legislação. Para largura de APP igual à prevista na legislação e na metade deste tamanho, ocorrem reduções relativas baixas e médias. As reduções da erosão anual são próximas nas situações da largura da APP igual ou metade da que consta na legislação.

Há uma proporção linear entre o tamanho da Reserva Legal - RL e a redução na erosão anual, ou seja, quanto maior a RL maior a redução na erosão anual.

A largura da faixa de APP deve ser determinada levando-se em consideração a declividade da microbacia e a RL deve estar localizada ao longo da APP, pois estas características trazem melhores efeitos na redução da erosão anual.



## REFERÊNCIAS

ADDY, K.L.; GOLD, A.J.; GROFFMAN, P.M.; JACINTHE, P.A. Ground water nitrate removal in subsoil of forested and mowed riparian buffer zones. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, p. 962–970, 1999.

ALBUQUERQUE, A.W. **Determinação de parâmetros para a equação universal de perda de solo nas condições de Sumé - PB**. 1997. 133 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

ANDRADE, G.C. **Efeitos do reflorestamento e do desmatamento sobre a hidrologia, erosão de solo e fluxo de nutrientes em microbacias no semi-árido do Rio Grande do Norte**. 1991. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ANTONELLO, S.L. **Um sistema de planejamento e gestão para bacias hidrográficas com uso de análise multicritérios**. 2008. 130 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008

AKSOY, H.; M. KAVVAS, L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. **Catena**, Amsterdam, v. 64, p. 247–271, 2005.

AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L.; Estimativa da erosividade das chuvas ( R ) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006.

ASSAD, E.D; SANO, E.E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, SPI; EMBRAPA, CPAC, 1998. 434 p.

ASSUNÇÃO, A.L.C.; SPAROVEK, G. Relação entre vegetação remanescente no Estado de São Paulo com potencial de degradação dos solos estimado pela U.S.L.E. In: SIICUSP SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 14., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo : USP, 2006. 1 CD-ROM.

ATTANASIO, C.M. **Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade**. 2004. 193 p Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BAKKER, M.M.; GOVERS, G.; VAN DOORN, A.; QUETIER, F.; CHOUVARDAS, D.; ROUNSEVELL, M.; The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe: The importance of landscape pattern. **Geomorphology**, New York, v. 98, p. 213-226, 2008.

BAND, L.E.; PATTERSON, P.; NEMANI, R.; AND RUNNING, S.W. Forest ecosystem processes at the watershed scale — incorporating hillslope hydrology. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, V. 63, p. 93–126, 1993.

BARBOSA, A. **O desmatamento no Brasil: uma questão histórica**. **Brasil Escola**, 2009. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/brasil/o-desmatamento-no-brasil-uma-questao-historica.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2009.

BARRETO NETO, A.A. **Modelagem dinâmica de processos ambientais**. 2004. 123 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BARTH, F.T.; POMPEU, C.T.; FILL, H.D.; TUCCI, C.E.M.; KELMAN, J.; BRAGA Jr., B.P.F. **Modelo para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo: Nobel; ABRH, 1987. 526 p.

BASILE, A. **Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP**. 2006. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BERTOL, I. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 515–521, 1993.

BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. **Programa estadual de microbacias hidrográficas**. Campinas: CATI, 1993. 16 p.

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

\_\_\_\_\_. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI, J.R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 25 p. (IAC. Boletim Técnico, 21).

BRANDÃO, D. **Risco de degradação dos recursos hídricos na Bacia do Ribeirão Pinhal- Limeira (SP): uma proposta metodológica**. 2001. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BUENO, C.R.P.; STEIN, D.P. Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2004.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information system for earth resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 193 p.

BUSSCHER, W.J.; REEVES, D.W.; KOCHHANN, R.A.; BAUER, P.J.; MULLINS, G.L.; CLAPHAM, W.M.; KEMPER, W.D.; GALERANI, P.R. Conservation farming in southern

Brazil: using cover crops to decrease erosion and increase infiltration. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, n. 3, p. 188-192, 1996.

CALHOUN, J.M. Riparian management practices of the Department of Natural Resources. *In Streamsides management: riparian wildlife and forestry interaction*. Edited by K. Raedeke. Contribution # 59. Institute of Forest Resources, University of Washington, Seattle, Wash. p. 207–211, 1988.

CALIJURI, M.L. **Sistemas de informações geográficas**. São Carlos: USP, EESC, 1996. 124 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 15 dez. 2008.

CAMPOS, M.C.C.; MARQUES, J.J.; MARTINS FILHO, M.V.; ZIGOMAR, G.T.P.; BARBIERI, M.S.D.M. Variação espacial da perda de solo por erosão em diferentes superfícies geomórficas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2485-2492, dez. 2008.

CASAGRANDE, C.A. **Diagnóstico ambiental e análise temporal da adequabilidade do uso e cobertura do solo na bacia do Ribeirão dos Marins**. 2005. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CASTELLE, A.J.; JOHSON, A.W.; CONOLLY, C. Wetland and stream buffer size requirement: a review. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v. 23, p. 878-882, 1994.

CHANSHENG, H.; MALCOLM, S.B.; DAHLBERG, K.A.; FU, B. A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. **Landscape Ecology and Urban Planning**, Amsterdam, v. 49, p. 25-34, 2000.

CLINNICK, P.F. Buffer strip management in Forest Operations: a review. **Australian Forestry**, Melbourne, v. 48, n. 1, p. 34-45. 1985.

COSTA, F.P.S. **Áreas legais de preservação (APP e RL) do município de Engenheiro Coelho – SP: distribuição espacial e situação sócio-econômica visando um plano de intervenção**. 2008. 147 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CRUZ, J.B.C. **Avaliação operacional da Revisão da Equação Universal de Perda de Solo (REUPS) para o LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico de Ponta Grossa, PR**. 2003. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

DOMINGOS, J.L. **Estimativa de perda de solo por erosão hídrica em uma bacia hidrográfica**. 2006. 67 p. Monografia (Bacharel em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória 2006

FERNÁNDEZ, G.A.V. **Análise da erosão do solo usando a EUPS, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 1996. 143 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

FERRAZ, F.F.B. **Dinâmica dos sedimentos em suspensão na bacia do Rio Piracicaba**. 2002. 112 p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

FERRAZ, S.F.B., VETTORAZZI, C.A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de Ecologia de Paisagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 575-583.2003,

FERRAZ, S.F.B., VETTORAZZI, C.A., THEOBALD, D., BALLESTER, M.V.R.; Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 204, p. 67-83, 2005.

FU, B.J.; ZHAO, W.W.; CHEN, L.D.; ZHANG, Q.J.; LU, Y.H.; GULINCK, H.; POESEN, J. Assessment of soil erosion at largewatershed scale using rusle and GIS: a case study in the loess plateau of China. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 16, p. 73–85, 2005.

FUA, G.; CHENA, S.; McCOOLB, D. K. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 85, p. 38–49, 2006.

FUJIHARA, A.K. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. 2002. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GALDINO, S.; VIEIRA, L.M.; PADOVANI, C.R.; SORIANO, B.M.A. Erosão potencial laminar hídrica na Bacia do Alto Taquari. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 125-133, 2004.

GARCIA, A.R.; MACHADO, C.C.; SILVA, E.; SOUZA, A.P.; SÉRGIO, R. Volume de enxurrada e perda de solo em estradas florestais em condições de chuva natural. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 535-542, Aug. 2003.

GARCIA, L.B.R. Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí – séculos XVIII a XX. DEPLAN/IGCE/UNESP, Rio Claro, 2000; **Atlas Ambiental da Bacia**

**do Rio Corumbataí.** Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla>>. Acesso em: 02 set. 2008.

GEYER, D.J.; KELLER, C.K.; SMITH, J.L.; D. JOHNSTONE, D.L. Subsurface fate of nitrate as a function of depth and landscape position in Missouri Flat Creek watershed, USA. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v. 11, p. 127–147, 1992.

GHARABAGHI, B.; RUDRA, R.P.; WHITELEY, H.R.; D DICKINSON, T. Sediment removal efficiency of vegetative filter strips. **Annual Research Report**, Guelph Turfgrass Institute, Guelph, p. 32-40, 2000.

GUIMARÃES, E.; TOMAZONI, J.C. A sistematização dos fatores da eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 57/03, p. 235-244, 2005.

HAMILTON, L.; CASSELLS, D. Hydrology overview. In: WORLD BANK; WWF World Wide Fund for Nature. **Alliance for forest conservation and sustainable use**. Running pure the importance of forest protected areas to drinking water. Research report. Washington, 2003. p. 58- 63.

HAMLETT, J.M.; MILLER, R.L.; PETERSON, G.W.; BAUMER, G.M.; RUSSO, J. Statewide GIS-based ranking of watersheds for agricultural pollution prevention. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 47, n. 5, p. 399-404, 1992.

HOYOS, N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. **Catena**, Amsterdam, v. 63, p. 85–108, 2005.

ILHARDT, B.L.; VERRY, E.S.; PALIK, B.J. Defining riparian areas. In: VERRY, E.S.; DOLLOFF, C.A.; HORNBECK, J.W. (Ed.). **Riparian management in forests of the Continental Eastern United States (Hardcover)**. Washington: National Academy Press, 1999. chap. 2, p. 23-42.

INSTITUTE OF WATER RESEARCH. Michigan State University. **RUSLE**: an online soil erosion assessment tool. Disponível em: <<http://www.iwr.msu.edu/rusle/>>. Acesso em: 26 mar. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cartas base**. São Paulo, 1969. Escala de 1:50.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na bacia do Rio Corumbataí**. Piracicaba, 2001. 118 p. (Relatório do Projeto).

JENKINS, A.; PETERS, N. E.; RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments**: a tool for environmental research. Chichester: John Wiley, 1994. chap. 2, p. 31-54.

KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do Rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, Rio Claro, v. 18, n. 1, p. 135-150, 1993.

\_\_\_\_\_. Carta de declividade da bacia do Rio Corumbataí para análise digital(SIG). **Geografia**, Rio Claro, v. 19, n. 2, p. 167-182, 1994.

KOULI, M.; SOUPIOS, P.; VALLIANATOS, F.; Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. **Environmental Geology**, Berlin, v. 57, p. 483–497, 2009.

KRASA, J.; DOSTAL, T.; VAN ROMPAEY, A.; VASKA, J.; VRANA, K.; Reservoirs' siltation measurements and sediment transport assessment in the Czech Republic, the Vrchlice catchment study. **Catena** 64 (2005) 348–362.

KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K. **Inventário florestal natural do Estado de S.P.** São Paulo: Instituto Florestal, 2005. 184 p.

LAGROTTI, C.A.A. **Planejamento agroambiental do município de Santo Antônio do Jardim – SP:** estudo de caso na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Jardim. 2000. 124 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LAL R. Soil erosion and land degradation: the global risks. **Advances in Soil Science**, New York, v. 7, p. 129-172, 1990.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion:** research methods. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1994. p. 180–208.

LARSON, W.E.; LINDSTROM, M.J.; SCHUMACHER, T.E. The role of severe storms in soil erosion: a problem needing consideration. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 52, n. 2. p. 90-95, 1997.

LIM, T.T.; EDWARDS, D.R.; WORKMAN, S.R.; LARSON, B.T.; DUNN, L. Vegetated filter strip removal of cattle manure constituents in runoff. **Transactions of ASAE**. St. Joseph, v. 41, p. 1375–1381, 1998.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas** Piracicaba: ESALQ, 1996. 318 p.

\_\_\_\_\_. A microbacia e o desenvolvimento sustentável. **Ação Ambiental**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 20-22, 1999.

\_\_\_\_\_. Importância das florestas para produção de água. In: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DA COBERTURA FLORESTAL DA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2000. p. 10-18.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2004. cap. 3, p. 33-44.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade dos solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975a. 12 p. (IAC. Boletim Técnico, 27).

\_\_\_\_\_. **Tolerância de perdas de terra para alguns solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975b. 12 p. (IAC. Boletim Técnico, 28).

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas. SP. **Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

LOWRANCE, R.; ALTIER, L.S.; NEWBOLD, J.D.; SCHNABEL, R.R.; GROFFMAN, P.M.; DENVER, J.M.; CORRELL, D.L.; GILLIAM, J.W.; ROBINSON, J.L.; BRINSFIELD, R.B.; STAVER, K.W.; LUCAS, W.; TODD, A.H. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. **Environmental Management**. Cambridge, v. 21, p. 687–712, 1997.

MACHADO, R.E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 154 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 735-741, 2003.

MACHADO, R.E.; VETTORAZZI, C.A.; XAVIER, A.C.; Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia, utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 727-733, 2003.

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

MARINO JUNIOR, E. **Análise integrada dos efeitos do uso da terra em fragmentos florestais da bacia do rio Corumbataí, SP** - 2006. 111 p. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

MARQUES, J.F. **Efeitos da erosão do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental**. 1995. 271 p. Tese (Doutorado em Economia) -

Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

MARQUES, J.F.; NETO, F.L.; BACELLAR, A.A.A.; Erosão do solo: indicadores físicos e econômicos. In: MARQUES, J.F.; SKORUPA, L.A.; FERRAZ, J.M.G. (Ed.). **Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2003. p. 129-153.

MCKERGOW, L.A.; WEAVER, D.M.; PROSSER, I.P.; GRAYSON, R.B.; REED, A.E.G. Before and after riparian management: sediment and nutrient exports from a small agricultural catchment, Western Australia. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 270, p. 253–272, 2003.

MINOTI, R.T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de microbacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP**. 2006. 231 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 1069-1076, 2006.

MORO, M.A. **Utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MOSTER, C. **Avaliação hidrológica da zona ripária através da análise da água subterrânea ao longo das vertentes de uma microbacia experimental**. 2007. 82 p.: Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MURPHREE, C.E.; MUTCHLER, C.K. Cover and management factors for cotton. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, p. 585-595, 1980.

MUTUA, B.M.; KLIK, A.; LOISKANDL, W. Modelling soil erosion and sediment yield at a catchment scale: the case of masinga catchment, Kenya. **Land Degradation & Development**, West Sussex, v. 17, p. 557–570, 2006.

OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H.; **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo**: memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1989. 118 p.

ONORI, F.; BONIS, P.; GRAUSO, S.; Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). **Environmental Geology**, Berlin, v. 50, p. 1129–1140, 2006.

ORTIZ, J.L. **Emprego do geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo**. 2003. 205 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ORTIZ, J.L.; VETTORAZZI, C.A.; COUTO, H.T.Z. do; GONÇALVES, J.L.M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 72, p. 67-79, 2006.

PAIVA, C.F.E.; OLIVEIRA, V.S.; VENDRAME, I.R.; AULICINO, L.C.M.; Estimativa das perdas de solo por erosão hídrica na bacia do rio Uma Taubaté-SP com o emprego de sensoriamento remoto. In: SBSR SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1407-1414.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI, A.J.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. **Documentos EMBRABA CNPMA**. v. 8, 83p. Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 1997.

PINAY, G.; ROQUES, L.; FABRE, A. Spatial and temporal patterns of denitrification in a riparian forest. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 30, p. 581–591, 1993.

POLYAKOV, V.; FARES, A.; RYDER, M.H. Precision riparian buffers for the control of nonpoint source pollutant loading into surface water: A review. **Environmental Reviews**, Kingston, v. 13, p. 129–144, 2005.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento, manejo**. Piracicaba: ESALQ, 2003. 275 p.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S.C.F.; DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 1, Feb. 2005 .

PROJETO PIRACEMA. **Banco de dados “Geoprocessamento”**. Disponível em: <<http://www.cena.usp.br/piracema>>. Acesso em: 20 jul. 2008.

PUNDEK, M. Utilização prática da equação universal de perdas de solo para as condições de Santa Catarina. In: SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água: projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em**

**microbacias hidrográficas.** 2. ed. Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina, 1994. p. p.99-129.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras.** Rio de Janeiro: EMBRAPA, CNPS, 1995. 65 p.

RANIERI, S.B.L. **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os Modelos USLE e WEPP.** 2000. 95 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

RANIERI S.B.L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M.P.; DOURADO NETO, D.; Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas , 1998, v. 22, n.4, p. 751-760

RANIERI, S.B.L. **Avaliação de Métodos e Escalas de Trabalho Para Determinação de Risco de Erosão em Bacia Hidrográfica Utilizando Sistema de Informações Geográfica (SIG).** 1996. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

REIS, L.V.S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba.** 2004. 215 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

RENARD, K.G.; MEYER, L.D.; FORSTER, G.R.; Introduction and history. In: RENARD, K.G.; FORSTER, G.R.; WEESIES, G.A; McCOOL, D.K.; YODER, D.C. (Coord.). **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation, planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE).** Washington: USDA, ARS, 1997. p. 2 – 18, (Agriculture Handbook, 703).

RENARD, K. G.; MAUSBACH, M. J. Tools of conservation. In: LARSON, W. E.; FOSTER, G. R.; ALLMARAS, R. R.; SMITH, C. M. (Ed.). **Proceedings of soil erosion a productivity workshop.** Minnesota: University of Minnesota, 1990. chap. 4, p. 55-64.

ROBINSON, C.A.; GHAFFARZADEH, M.; AND CRUSE, R.M. Vegetative filter strip effects on sediment concentration in cropland runoff. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 51, p. 227–230, 1996.

RODRIGUES, R.R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.189, p. 1-20, ago. 1999.

\_\_\_\_\_. **Programa de adequação ambiental de estações experimentais do Instituto Florestal.** Piracicaba: FEALQ, 2003. 64 p.

SALATI, E. **Análise ambiental sintética e qualidade da água do rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do rio Corumbataí.** 1996. 198 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1996.

SCHIETTECATTE, W.; D'HONDT, L.; CORNELIS, W.M.; ACOSTA, M.L.; LEAL, Z.; LAUWERS, N.; ALMOZA, Y.; ALONSO, G.R.; DÍAZ, J.; RUÍZ, M.; GABRIELS, D.; Influence of landuse on soil erosion risk in the Cuyaguaje watershed (Cuba). **Catena**, Amsterdam, v. 74, p. 1–12, 2008.

SHERIDAN, J.M.; LOWRANCE, R.; AND BOSCH, D.D. Management effects on runoff and sediment transport in riparian forest buffers. **Transactions of ASAE**. St. Joseph, v. 42, p. 55–64, 1999.

SHI, Z.H.; CAI, C.F.; DING, S.W.; WANG, T.W.; CHOW, T.L. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China. **Catena**, Amsterdam, v. 55, p. 33–48, 2004.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, Amsterdam, v. 57, p. 251-259, 2004

SILVA, T.M. Contribuição ao planejamento ambiental da bacia do Rio Faria – Timbó: o uso das encostas. **Caderno de Geociências**, Rio de Janeiro, n.1, p.15-21, 1988.

SIVIERO, M.R.L.; COIADO, E.M. Estimativa do volume de sedimentos por equações propostas (Garde;Raju, 1985) defronte com valores mensurados numa estação de medição - rio Atibaia /SP /Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.1 CD-ROM.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **National Engineering Handbook**. Section 4, Hydrology. U. S. Department of Agriculture . Washington D.C., 1972.

S.O.S. MATA ATLÂNTICA. **Evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas do domínio da Mata Atlântica**, São Paulo: INPE. 1998. 42 p.

SPAROVEK, G.; RANIERI, S.B.L.; GASSNER, A.; DE MARIA, I.C.; SCHNUG, E.; DOS SANTOS, R.F.; JOUBERT, A. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. **Agricultural, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 90, p. 169–175, 2002.

SPAROVEK, G.; VAN LIER, Q.J. Definition of tolerable soil erosion values. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, p. 467-471, 1997.

TESSLER, M.B. Reflexões sobre a tutela jurídica da Mata Atlântica. In: LIMA, A. (Org.). **Aspectos jurídicos da proteção da Mata Atlântica**. São Paulo: Instituto Sócio Ambiental, 2001. p. 25-29. (Documentos, 7).

TIM, U.S.; JOLLY R. Evaluating Agricultural Nonpoint-Source Pollution Using Integrated Geographic Information Systems and Hydrology / Water Quality Model. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 23, p. 25-35, 1994.

TROPPIAIR, H.; MACHADO, M.L.A. Variação da estrutura da mata de galeria na Bacia do rio Corumbataí (SP) em relação à água do solo, tipo de margem e do traçado do rio. **Biogeografia**, São Paulo, n.8, p.1-28, 1974.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade; UFRGS; EDUPS; ABRH, 1993. 943 p.

VALENTE, R.O.A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

VALENTE, R.O.A.; VETTORAZZI, C.A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 114-129, dez. 2002.

\_\_\_\_\_. Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 196, 9 p., maio 2003.

\_\_\_\_\_. Avaliação da estrutura florestal na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 45-57, 2005.

VETTORAZZI, C.A.; VALENTE, R.O.A.; BALLESTER, M.V.R.; Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the State of São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000, Lake Buena Vista. **Proceedings...** Ann Arbor: ERIM International, 2000. v.1, p. 10-12.

VIEIRA, M.N.F.; VIEIRA, L.S.; SANTOS, P.C.T.C.; CHAVES, R.S. **Levantamento e conservação do solo**. Belém: FCAP, Serviço de Documentação e Informação, 1996. 320 p.

WACHAL, D.J.; BANKS, K.E.; HUDAK, P.F.R. HARMEL, D. Modeling erosion and sediment control practices with RUSLE 2.0: a management approach for natural gas well sites in Denton County, TX, USA. **Environmental Geology**, Berlin, v. 56, p. 1615-1627, 2009.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G.; Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (piracicaba, sp). i - estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos

fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 801-814, 2008.

\_\_\_\_\_. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (piracicaba, sp). ii - interpretação da tolerância de perda de solo utilizando o método do índice de tempo de vida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 815-824, 2008.

WEILL, M.A.M. **Estimativa da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. Piracicaba, 1999. 100 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

WHICHERT, M.C.; Avaliação das perdas de solo em plantios florestais em áreas declivosas em função do preparo de solo. In: SIICUSP SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 12., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo : USP, 2004. 1 CD-ROM.

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

WWF/THE WORLD BANK. Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use. **The importance of forest protected areas to drinking water**: research report. Disponível em: <[http://worldwildlife.org/news /displayPR.cfm?prID=59/](http://worldwildlife.org/news/displayPR.cfm?prID=59/)>. Acesso em: 25 fev. 2009.

YUE-QING, X.; JIAN, P.; XIAO-MEI, S.; Assessment of soil erosion using RUSLE and GIS: a case study of the Maotiao River watershed, Guizhou Province, China **Environmental Geology**, Berlin, v. 56, p. 1643–1652, 2009.

ZAKIA, M.J.B. **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: Implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas** . 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ZHOU, P.; LUUKKANEN, O.; TOKOLA, T.; NIEMINEN, J.; Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. **Catena**, Amsterdam, v. 75, p. 319–325, 2008.

ZHOU, P.; LUUKKANEN, O.; TOKOLA, T.; NIEMINEN, J.; 2007. Vegetation Dynamics and Forest Landscape Restoration in the Upper Min River Watershed, Sichuan, China. **Restoration Ecology** (OnlineEarly Articles). doi:10.1111/j.1526-100X.2007.00307.x

ZORZETTO, R.; FIORAVANTI, C.; FERRONI, M.A.; Floresta renasce. **Pesquisa FAPESP**, Campinas, p.48-53, set. 2003.



**ANEXOS**

Tabela 22 - Resultados de erosão anual para as microbacias e cenários avaliados (Mg.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)

	Cenários																		Me- pas- to dia				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18					
Tamanho da APP	1	1	1	2	2	2	0,5	0,5	1	1	1	1	2	2	2	0,5	0,5	0,5	-				
Tamanho da R.L.	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	-				
Posição da Reserva Legal	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	baixo				
Micro-Declividade	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa	baixa				
11	6,0	3,1	2,4	3,6	3,0	2,2	3,4	3,1	2,3	3,6	2,8	2,2	3,4	2,7	1,9	3,2	2,9	2,2	3,5	3,8	0,5	2,9	
63	4,5	2,5	2,1	2,5	2,4	2,0	2,4	2,5	2,1	2,5	2,0	1,4	2,3	1,7	0,9	2,1	2,0	1,4	2,3	2,6	0,3	2,1	
129	5,3	1,5	1,2	1,6	1,4	1,1	1,5	1,5	1,3	1,7	1,2	0,8	1,4	1,0	0,5	1,3	1,2	0,8	1,5	1,7	0,2	1,2	
203	4,5	2,2	1,7	2,9	1,7	1,1	2,4	2,5	2,0	3,1	2,4	1,8	2,8	1,9	1,0	2,2	2,6	1,9	2,9	3,4	0,5	2,2	
315	5,4	3,8	3,0	3,9	3,2	1,9	3,3	4,1	3,3	4,2	2,9	1,9	3,4	2,6	0,9	2,8	3,2	2,4	3,7	4,5	0,6	3,0	
473	4,1	2,2	1,3	2,5	1,8	1,0	2,2	2,3	1,4	2,6	2,3	1,6	2,6	1,8	0,7	2,1	2,5	1,8	2,7	2,9	0,4	2,0	
média	5,0	2,5	1,9	2,8	2,3	1,6	2,5	2,7	2,1	2,9	2,2	1,6	2,6	1,9	1,0	2,3	2,4	1,8	2,8	3,2	0,4	2,2	
máximo	6,0	3,8	3,0	3,9	3,2	2,2	3,4	4,1	3,3	4,2	2,9	2,2	3,4	2,7	1,9	3,2	3,2	2,4	3,7	4,5	0,6	3,0	
mínimo	4,1	1,5	1,2	1,6	1,4	1,0	1,5	1,5	1,3	1,7	1,2	0,8	1,4	1,0	0,5	1,3	1,2	0,8	1,5	1,7	0,2	1,2	
4	15,7	8,9	6,0	10,5	7,0	4,1	8,5	10,2	6,9	11,2	8,0	5,8	9,7	5,9	3,5	7,7	9,0	6,1	10,4	12,3	1,6	7,7	
30	15,8	10,0	8,0	10,8	8,7	6,1	9,3	10,5	8,5	11,1	9,5	6,7	11,0	8,0	2,7	9,4	10,4	7,3	11,7	13,1	1,8	8,9	
140	13,7	12,5	10,1	13,1	11,5	9,2	12,2	12,6	10,3	13,4	10,0	6,8	11,7	9,0	4,8	10,6	10,5	7,4	12,2	13,7	1,8	10,4	
média	11,6	10,2	8,0	10,4	9,3	7,2	9,5	10,6	8,3	10,8	8,3	6,1	9,4	7,2	4,5	8,4	8,9	6,4	9,9	11,1	1,5	8,5	
declivi	12,4	6,8	4,8	8,0	4,8	3,2	6,2	7,8	5,6	9,0	6,4	5,0	7,3	4,5	2,4	5,5	7,1	4,0	8,2	10,3	1,4	5,9	
-dade	15,7	9,9	13,2	21,3	16,6	10,3	18,9	19,8	14,4	22,1	17,3	11,7	19,9	14,8	7,0	19,2	18,7	13,3	21,5	25,1	3,3	16,1	
média	14,1	9,7	8,4	12,4	9,6	6,7	10,8	11,9	9,0	12,9	9,9	7,0	11,5	8,2	4,1	10,1	10,7	7,4	12,3	14,3	1,9	9,6	
máximo	15,8	12,5	13,2	21,3	16,6	10,3	18,9	19,8	14,4	22,1	17,3	11,7	19,9	14,8	7,0	19,2	18,7	13,3	21,5	25,1	3,3	16,1	
mínimo	11,6	6,8	4,8	8,0	4,8	3,2	6,2	7,8	5,6	9,0	6,4	5,0	7,3	4,5	2,4	5,5	7,1	4,0	8,2	10,3	1,4	5,9	
86	20,2	11,2	8,2	14,5	10,2	7,4	13,3	11,7	8,6	15,1	15,2	12,3	16,5	14,8	9,8	15,7	15,5	12,8	16,9	18,7	2,5	12,8	
88	21,4	23,4	19,2	29,4	26,6	18,2	28,7	27,7	19,8	29,8	26,4	22,4	28,0	25,4	20,3	27,3	26,6	22,6	28,5	30,3	4,0	25,0	
90	20,1	23,1	15,3	24,1	21,8	14,1	23,0	23,9	16,5	24,7	21,0	16,0	22,5	19,5	12,9	21,6	21,7	16,8	23,1	25,3	3,4	20,1	
94	22,6	32,1	22,4	34,9	31,4	21,7	34,2	32,5	22,8	35,2	30,9	26,7	33,0	30,2	24,8	32,3	31,2	26,9	33,4	35,6	4,7	29,8	
102	22,1	19,6	11,5	24,0	8,5	10,2	23,1	20,1	11,7	24,5	23,0	19,8	24,3	22,1	16,3	23,4	23,0	20,2	24,7	26,4	3,5	19,5	
-dade	407	21,4	18,6	12,6	21,5	16,8	11,0	20,3	19,3	13,6	22,2	19,1	12,9	21,8	16,6	9,5	19,8	20,4	14,3	23,0	26,1	3,5	17,4
média	21,3	14,9	24,7	19,2	13,8	23,8	22,5	15,5	25,3	22,6	18,4	24,4	21,4	15,6	23,4	23,0	18,9	24,9	27,1	3,6	20,8		
máximo	22,6	32,1	22,4	34,9	31,4	21,7	34,2	32,5	22,8	35,2	30,9	26,7	33,0	30,2	24,8	32,3	31,2	26,9	33,4	35,6	4,7	29,8	
mínimo	20,1	11,2	8,20	14,4	8,54	7,35	13,3	11,7	8,645	15,1	15,2	12,27	16,4	14,7	9,45	15,7	15,4	12,7	16,8	18,6	2,49	12,75	

Tabela 23 - Resultados de média da redução relativa da erosão anual para os cenários avaliados

Cenários		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tamanho da APP		1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	0,5	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	0,5	0,5	0,5
Tamanho da R.L.		1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5
Posição da Reserva Legal		alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	baixo								
Microbacia		% de redução de perda de solo para APP =																	
Declividade		% de redução de perda de solo para APP 2x																	
		% de redução de perda de solo para APP 1/2 da legislação																	
		% de redução de perda de solo para APP 1/2 da legislação																	
11		6,0	23%	44%	8%	26%	48%	11%	22%	45%	7%	31%	48%	13%	57%	18%	29%	48%	9%
63		4,5	4%	22%	3%	7%	26%	6%	3%	21%	2%	28%	55%	13%	76%	20%	26%	54%	10%
129		5,3	18%	36%	7%	26%	42%	15%	16%	32%	4%	39%	65%	23%	85%	32%	35%	65%	18%
203		4,5	40%	58%	16%	57%	77%	35%	30%	47%	10%	36%	56%	22%	82%	42%	26%	51%	16%
315		5,4	18%	40%	17%	32%	66%	31%	10%	30%	9%	42%	66%	28%	93%	43%	34%	54%	21%
473		4,1	30%	63%	17%	43%	75%	29%	25%	59%	13%	24%	53%	12%	86%	32%	15%	42%	8%
<b>média</b>		<b>5,0</b>	<b>22%</b>	<b>44%</b>	<b>11%</b>	<b>32%</b>	<b>56%</b>	<b>21%</b>	<b>18%</b>	<b>39%</b>	<b>7%</b>	<b>33%</b>	<b>57%</b>	<b>19%</b>	<b>80%</b>	<b>31%</b>	<b>28%</b>	<b>52%</b>	<b>14%</b>
11		15,7	32%	59%	17%	49%	77%	36%	19%	51%	10%	40%	61%	24%	82%	43%	31%	58%	18%
63		15,8	28%	45%	20%	39%	62%	33%	23%	40%	18%	32%	57%	19%	92%	33%	24%	51%	13%
129		13,7	10%	30%	5%	19%	38%	12%	9%	29%	2%	31%	58%	17%	75%	25%	27%	53%	13%
203		11,6	9%	32%	8%	19%	41%	17%	6%	29%	4%	30%	53%	18%	40%	28%	23%	49%	13%
315		12,4	40%	62%	26%	62%	79%	46%	29%	52%	15%	44%	59%	34%	65%	54%	36%	70%	23%
473		15,7	70%	55%	17%	39%	68%	28%	24%	49%	14%	36%	62%	24%	83%	27%	30%	54%	17%
<b>média</b>		<b>14,1</b>	<b>31%</b>	<b>47%</b>	<b>15%</b>	<b>38%</b>	<b>61%</b>	<b>29%</b>	<b>18%</b>	<b>42%</b>	<b>10%</b>	<b>35%</b>	<b>58%</b>	<b>22%</b>	<b>82%</b>	<b>35%</b>	<b>29%</b>	<b>56%</b>	<b>16%</b>
11		20,2	46%	65%	26%	52%	70%	33%	43%	62%	22%	21%	40%	14%	24%	18%	20%	37%	11%
63		21,4	26%	42%	3%	14%	46%	6%	10%	40%	2%	15%	30%	9%	38%	12%	14%	29%	7%
129		20,1	10%	46%	5%	16%	51%	10%	6%	40%	3%	20%	42%	13%	57%	17%	16%	39%	10%
203		22,6	11%	43%	2%	14%	45%	5%	10%	42%	1%	15%	29%	8%	18%	11%	14%	28%	7%
315		22,1	29%	65%	10%	78%	71%	14%	27%	64%	8%	15%	29%	9%	44%	13%	15%	27%	7%
473		21,4	33%	60%	20%	41%	67%	26%	30%	55%	17%	31%	58%	19%	74%	28%	25%	52%	14%
<b>média</b>		<b>21,3</b>	<b>26%</b>	<b>53%</b>	<b>11%</b>	<b>36%</b>	<b>58%</b>	<b>16%</b>	<b>21%</b>	<b>51%</b>	<b>9%</b>	<b>20%</b>	<b>38%</b>	<b>12%</b>	<b>50%</b>	<b>16%</b>	<b>18%</b>	<b>35%</b>	<b>9%</b>

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)