

ANELISE RUZZANTE GIANGIULIO

**GESTÃO AMBIENTAL APLICADA A PREVENÇÃO,  
CONTROLE E RECUPERAÇÃO DE EROSÃO LINEAR  
ACCELERADA NO MUNICÍPIO DE IPEÚNA-SP**

Rio Claro – SP

2009

ANELISE RUZZANTE GIANGIULIO

ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ EDUARDO ZAINÉ

**GESTÃO AMBIENTAL APLICADA A PREVENÇÃO,  
CONTROLE E RECUPERAÇÃO DE EROSÃO LINEAR  
ACCELERADA NO MUNICÍPIO DE IPEÚNA-SP**

*Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de  
Formatura do Curso de Graduação em Engenharia  
Ambiental do Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
– Unesp, Campus de Rio Claro, como parte das  
exigências para o cumprimento da disciplina Trabalho de  
Formatura do ano letivo de 2009.*

Rio Claro – SP

2009

551.302    Giangiulio, Anelise Ruzzante  
G433g        Gestão ambiental aplicada a prevenção, controle e recuperação de  
erosão linear acelerada no município de Ipeúna-SP / Anelise Ruzzante  
Giangiulio. - Rio Claro : [s.n.], 2009  
69 f. : il., figs., forms., tabs., fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) -  
Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
de Rio Claro  
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

1. Erosão. 2. Compartimentação fisiográfica. 3. Métodos  
conservacionistas. 4. Uso do solo. I. Título.

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP  
Campus de Rio Claro/SP

## **RESUMO**

A erosão é o processo natural de desprendimento, transporte e deposição de partículas de solo e rocha de um local para outro. A atividade antrópica sem planejamento por vezes acelera esse processo, causando diversos prejuízos para o meio ambiente e para a sociedade. A fim de controlar a aceleração dos processos erosivos provocada pelo homem, surgem iniciativas de caráter preventivo e corretivo. Por se tratarem de obras que intervêm diretamente sobre alguns dos recursos naturais, essas iniciativas devem respeitar as características físicas intrínsecas da região de interesse, caso busquem obter resultado efetivo.

Com base nesse cenário, o presente trabalho propõe alguns métodos de controle, prevenção e recuperação de erosão linear acelerada, em uma área específica do município de Ipeúna/SP. Para tanto, o estudo baseou-se em um método de compartimentação fisiográfica da área, considerando e integrando aspectos relativos ao solo, relevo, geologia e o uso e ocupação que se faz da área de estudo. Adicionalmente, foi produzido um fluxograma com orientações gerais a respeito da gestão de áreas erodidas, focando o controle e recuperação de erosão linear. O resultado demonstra a importância do controle de erosão criterioso, respeitando as características físicas de cada unidade fisiográfica. Os métodos conservacionistas de caráter vegetativo e mecânico, bem como o disciplinamento do fluxo d'água, encontraram grande aplicabilidade na área de estudo.

**Palavras chave:** controle de erosão, compartimentação fisiográfica, Ipeúna/SP

## **ABSTRACT**

The erosion is a natural process of detachment, transport and deposition of soil and rock particles from one place to another. Human activities with no previous planning may accelerate this process, causing several damages to the environment and to society. In order to control the acceleration of these erosion processes caused by humans, prevention and improvement initiatives emerge. Regarding works which interfere directly in some of the natural resources, these initiatives must respect the intrinsic physical properties of the area of interest, if they aim to obtain effective results.

Based on this scenario, this work proposes a few methods of accelerated linear erosion prevention, control and recovery in a specific area of the municipal district of Ipeúna (SP). For that matter, this study is based on a method of physiographic compartmentalization of the area, considering and integrating soil, relief, geology and the use and land cover properties of the study area. Plus, a flowchart with general orientations regarding management of eroded areas was produced, focused on the control and recovery of linear erosion. The result demonstrates the importance of careful erosion control, respecting the physical properties of each physiographic unit. The vegetative and mechanical conservationists methods, and the discipline of water flow, have found wide applicability in the study area

**Key words:** erosion control; physical compartmentalization; Ipeúna (SP).

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVO .....	7
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1. Conceitos Fundamentais .....	7
3.1.1. Erosão em Sulcos .....	8
3.1.2. Voçorocas .....	8
3.1.3. Erosão fluvial.....	9
3.2. Fatores condicionantes da erosão.....	9
3.2.1. Chuva.....	10
3.2.2. Topografia do Terreno.....	10
3.2.3. Cobertura Vegetal.....	11
3.2.4. Natureza do solo .....	11
3.2.5. Ação Antrópica.....	12
3.3. Métodos de Prevenção, Controle e Recuperação de Erosão.....	12
3.3.1. Práticas de prevenção de erosão .....	14
3.3.2. Práticas conservacionistas .....	14
3.3.2.1. Práticas vegetativas .....	15
3.3.2.2. Práticas edáficas .....	17
3.3.2.3. Práticas mecânicas.....	18
3.3.3. Disciplinamento do fluxo d'água .....	21
3.3.3.1. Água Superficial.....	22
3.3.3.2. Água Subterrânea .....	23
3.3.4. Obras de reaterro .....	24
3.3.5. Controle de erosão em taludes marginais de canais fluviais .....	25
3.3.6. Monitoramento de obras.....	28
4. MÉTODOS E ETAPAS DO TRABALHO.....	28
5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
5.1. Localização .....	30
5.2. Hidrografia.....	31
5.3. Geologia.....	32
5.4. Geomorfologia .....	33
5.5. Pedologia .....	35

5.6.	Uso e Ocupação do Solo .....	37
5.7.	Clima.....	38
5.8.	Erosão na área de estudo.....	38
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	39
6.1.	Diagnóstico dos processos erosivos da área de estudo .....	39
6.1.1.	Sulcos provocados por trilhas de gado .....	40
6.1.2.	Sulcos provocados pelo escoamento de água nas laterais das estradas .....	41
6.1.3.	Sistemas de Drenagem.....	42
6.1.4.	Assoreamento e solapamento de margens fluviais .....	43
6.2.	Avaliação dos processos erosivos e proposta de controle para cada unidade.....	43
6.2.1.	Unidade 1 - Planície Fluvial do rio Passa Cinco .....	44
6.2.2.	Unidade 2 – Depósitos de tálus .....	45
6.2.3.	Unidade 3 - Depósitos coluvionares Cenozóicos .....	46
6.2.4.	Unidade 4 – Itaqueri no reverso da cuesta.....	48
6.2.5.	Unidade 5 – Basaltos em relevo escarpado .....	48
6.2.6.	Unidade 6 – Diabásio em morrotes alongados .....	48
6.2.7.	Unidade 7 – Arenito Botucatu na escarpa .....	49
6.2.8.	Unidade 8 – Pirambóia podzólico em meia encosta.....	50
6.2.9.	Unidade 9 – Pirambóia em morrotes e espigões.....	51
6.2.10.	Unidade 10 – Corumbataí em colinas médias .....	52
6.3.	Fluxograma geral sobre gestão de áreas erodidas .....	53
6.3.1.	Avaliação Preliminar / Estágio evolutivo da feição .....	54
6.3.2.	Objetivo do controle .....	54
6.3.3.	Avaliação das especificidades do local .....	55
6.3.4.	Monitoramento .....	55
7.	CONCLUSÕES .....	56
7.1.	Propostas para futuros trabalhos .....	57
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
	APÊNDICE A - Tabela Síntese dos Resultados.....	62
	APÊNDICE B - Ficha de Cadastro de Erosão.....	64
	APÊNDICE C - Fluxograma geral sobre gestão de áreas erodidas.....	66

## 1. INTRODUÇÃO

O intenso processo de urbanização, o acelerado crescimento industrial e a expansão da atividade agrícola e de mineração, provocam, em seu conjunto, um grande número de intervenções antrópicas no ambiente, dos mais variados tipos e portes que, freqüentemente, resultam na alteração profunda das condições do meio.

A erosão é apenas uma das respostas do meio físico ante a estas alterações provocadas pelo homem, porém, a sua ocorrência causa muitos impactos ambientais negativos, tais como: redução do potencial de áreas agricultáveis; danos a equipamentos de infra-estrutura nas áreas urbanas; e assoreamento dos rios, lagos, represas e reservatórios. Este último gerando por consequência o aumento na incidência de cheias (enchentes/inundações), a deterioração da qualidade das águas, a perda de eficiência de obras hidráulicas, entre outros (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

Os processos erosivos podem ser divididos em 2 grupos principais (PROIN/CAPES; UNESP/IGCE, 1999):

*Erosão natural, geológica ou normal:* processo natural de denudação e evolução da superfície dos terrenos, desenvolvendo-se de forma lenta e contínua, de acordo com as condições de equilíbrio de formação do solo;

*Erosão acelerada ou antrópica:* processo induzido pela intervenção humana, altamente destrutivo, desenvolvendo-se rapidamente, sendo sua intensidade superior à formação do solo, não permitindo, desta forma, sua recuperação natural.

Sendo um processo natural do meio físico, a erosão pode ser acelerada ou retardada de acordo com as intervenções antrópicas que são realizadas em determinada região. Com vistas a retardar este processo de desequilíbrio da natureza, surgem iniciativas de pesquisas voltadas para a prevenção, controle e recuperação de erosão.

Não existe um roteiro universal para a problemática da erosão. Augusto Filho (1992 apud SCARANCE, 2004) considera que os estudos sobre este tema devem se fundamentar no entendimento dos condicionantes impostos pelo meio físico, para que se possa atuar nas causas que desencadearam o processo erosivo. Desta forma, no desenvolvimento de um projeto de controle e recuperação de erosão, são necessários conhecimentos multidisciplinares tais como geológicos, geotécnicos, geomorfológicos, hidrológicos, pedológicos e, ainda, conhecimentos de engenharia, hidráulica, materiais de construção, bioengenharia, entre outros. Scarance (2004) afirma que caso o conhecimento multidisciplinar não seja aplicado corretamente, as eventuais

obras corretivas correm o risco de ser técnica e economicamente ineficientes, ou até desnecessárias.

Neste contexto encontram-se as técnicas de compartimentação fisiográfica, em que a avaliação dos terrenos é feita pela sua separação em áreas homólogas com base em determinados critérios. A partir desta compartimentação, podem ser efetuadas inferências sobre as propriedades do meio físico e estabelecidas as decorrentes potencialidades e limitações do terreno, o que traz significativo auxílio em estudos que visam o planejamento territorial (OLIVEIRA, 2004), como os estudos sobre controle e recuperação de processos erosivos.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho consiste na proposição de medidas de prevenção, controle e recuperação de erosão linear acelerada, fundamentadas basicamente em algumas características físicas e antrópicas de uma determinada região do município de Ipeúna, SP.

De forma secundária propõem-se apresentar algumas diretrizes gerais para uma adequada gestão ambiental voltada para o controle e recuperação de erosão linear acelerada, baseado em diagnóstico e mapeamento geológico geotécnico da área (ZORATTO, 2009).

Para tanto este projeto foi desenvolvido em conjunto com o Trabalho de Conclusão de Curso de Gisele Zoratto (2009), o qual tem como produto final um mapa Geológico-Geotécnico da mesma área de estudo do presente trabalho.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Conceitos Fundamentais**

Fazendo abstração da erosão eólica, segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), toda remoção de solo exige a presença de água sobre o terreno, cuja única fonte é a chuva. As gotas da chuva que golpeiam o solo contribuem para a erosão da seguinte maneira:

- a) desprendem as partículas de solo no local que sofre o seu impacto;
- b) transportam por salpicamento as partículas desprendidas;
- c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície.

A erosão hídrica é um processo complexo que pode ser definido de forma simplista e didática como o processo que ocorre quando o solo perde a capacidade de absorver a água e esta passa a escoar sobre a superfície de forma laminar ou linear (JESUS, 2009).

Silva (2003) considera a existência de dois estágios evolutivos no desenvolvimento de feições erosivas, as quais são controladas por diferentes grupos de processos geomorfológicos. Assim tem-se:

- *Estágio Inicial*: a erosão hídrica é predominante no leito da erosão e rápidos movimentos de massa ocorrem nos lados desta feição erosiva; a formação de canais é muito intensa, devido às características morfológicas ainda não se encontrarem estáveis (comprimento, largura, área e volume);
- *Estágio Final*: o transporte de sedimentos e a sedimentação são os principais processos no leito da erosão; sua largura aumenta devido a erosão lateral e movimentos de massa lentos transformam os lados da feição erosiva.

### 3.1.1. Erosão em Sulcos

Segundo IPT (1991 apud JESUS, 2009) a concentração do fluxo d'água em caminhos preferenciais origina sulcos, os quais, aprofundados, podem formar ravinas com profundidade variada.

Segundo Jesus (2009), alguns autores, inclusive a literatura internacional, distinguem sulcos, ravinas e voçorocas segundo um critério dimensional.

Entende-se que a definição das incisões erosivas não deve se limitar aos parâmetros quantitativos, mas também se apoiar nos processos atuantes que as individualizam. Desse modo, adotou-se neste trabalho a definição proposta por Almeida Filho e Ridente Junior (2001) para os quais *sulcos* são as incisões que possuem menos de 50 cm de profundidade, sendo possível desfazê-las com máquinas agrícolas. Se as incisões possuírem acima de 50 cm, e não for possível desfazê-las com máquinas agrícolas, são denominadas *ravinas*.

Almeida Filho e Ridente Junior (2001) ainda afirmam que em processos erosivos denominados de ravinas, devem ser considerados mecanismos de erosão que envolvem movimentos de massa, representados pelos pequenos deslizamentos que provocam o alargamento da feição erosiva e também seu avanço remontante.

### 3.1.2. Voçorocas

Segundo o mesmo critério de Almeida Filho e Ridente Junior (2001), voçorocas (ou boçorocas) são ravinas que atingiram o lençol freático.

Elas são reconhecidas como feições de maior magnitude e impacto ambiental. Podem, portanto, ser consideradas como o estágio mais avançado e complexo do processo erosivo, cujo poder destrutivo é notavelmente superior ao das outras formas erosivas (DAEE/IPT 1989).

As voçorocas representam um fenômeno processual complexo, onde tomam lugar: movimentos de massa, *piping*, escoamento superficial e subsuperficial e esqueletização do maciço (JESUS, 2009).

Ao atingir o lençol freático, os mecanismos de erosão são intensificados em função do surgimento do gradiente piezométrico que ao emergir no pé do talude, apresenta suficiente força para deslocar partículas, podendo estabelecer o processo de erosão tubular regressiva “*piping*”. Ocorre também, a liquefação do material arenoso pela lenta percolação d’água junto à parede da voçoroca, provocando uma diminuição da coesão do solo e conseqüente solapamento do talude (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

### 3.1.3. Erosão fluvial

A erosão fluvial é causada pelas águas dos rios, principalmente na época das cheias, sendo muitas vezes responsável pelo desmoronamento ou escorregamento das margens, que arrastam uma grande quantidade de solo, contribuindo, assim, para a diminuição da fertilidade agrícola, poluição e assoreamento dos cursos d’água, canais, lagos e represas. A erosão marginal, como componente da erosão fluvial, é uma variável da dinâmica dos cursos d’água, definida como o “recuo linear das margens”, devido à remoção dos materiais do barranco (talude) pela ação fluvial (correntes, ondas) ou por forças de origem externa (precipitação) (BANDEIRA, 2005).

A altura, a geometria e a estrutura do barranco, as propriedades mecânicas do material que compõe a margem, as características hidrológicas do fluxo nas proximidades das margens e as condições climáticas são alguns dentre os numerosos fatores que condicionam a erosão das margens fluviais (BANDEIRA, 2005).

## **3.2.Fatores condicionantes da erosão**

O movimento do solo pela água é um processo complexo, influenciado pela quantidade, intensidade e duração da chuva, natureza do solo, cobertura vegetal, e declividade da superfície do terreno. Em cada caso, a força erosiva da água é determinada pela interação ou balanço dos vários fatores, favorecendo, alguns, o movimento do solo, e outros, opondo-se a ele.

Para encontrar soluções adequadas ao problema da erosão, é necessário conhecer as inter-relações dos fatores contribuintes, pois, ainda que alguns não se possam modificar diretamente, todos podem ser controlados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Os principais fatores condicionantes do processo erosivo podem ser descritos da seguinte forma:

### 3.2.1. Chuva

Muitos autores consideram a chuva um dos fatores de maior importância na erosão dos solos. Dentre os fatores climáticos relevantes, tais como intensidade, duração e frequência da chuva, a intensidade destaca-se como o mais importante na erosão.

Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas constituem a forma mais agressiva de impacto da água no solo. No Brasil, as chuvas médias anuais não são bem distribuídas, pois ocorre uma concentração no período de setembro a março, justamente na época em que o solo está sendo cultivado. Estes fatos tornam nosso clima um fator altamente favorável ao desencadeamento de processos erosivos, principalmente no meio rural.

O índice que expressa a capacidade da chuva provocar erosão é conhecido como **erosividade**, sendo um importante parâmetro para a quantificação de perdas de solo.

### 3.2.2. Topografia do Terreno

As características do relevo têm papel fundamental no processo erosivo uma vez que controlam a relação entre infiltração e escoamento superficial da água. Maiores velocidades de escoamento superficial estão associadas a terrenos mais acidentados enquanto maiores concentrações de fluxo normalmente se relacionam a encostas mais longas (SENA, 2008). Desta forma, pode-se dizer, de modo geral, que as variáveis topográficas que influenciam diretamente a erosão são a declividade e o comprimento de rampa da encosta. Outros fatores podem ser ainda citados, tais como a forma da vertente, as rupturas topográficas, e a dissecação do relevo.

Apesar das diferenças entre as classes de declividade definidas por diversos autores, a maioria deles concorda que declividades superiores a 10 ou 12% indicam condições de desenvolvimento de processos erosivos acelerados em áreas com solos potencialmente erodíveis. (SENA, 2008). A perda de solo é uma função exponencial da declividade (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

O comprimento de rampa da encosta, que pode ser definido como a distância, em superfície, entre os pontos de maior e menor cota do perfil longitudinal da encosta, é uma variável de grande importância na intensidade do processo erosivo. De maneira geral pode-se afirmar que quanto maior este comprimento, maior a aceleração do escoamento superficial em direção à base da encosta (SENA, 2008).

### 3.2.3. Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), o efeito da vegetação pode ser assim enumerado:

- a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo;
- c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água;
- d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água;
- e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

A intensidade do processo erosivo em função da cobertura vegetal será determinado pelo grau de adensamento vegetal, e pela proteção que cada espécie em particular fornece ao solo. Salienta-se que com a remoção da vegetação nativa, a sua substituição por outro tipo de cobertura não terá a mesma eficiência na prevenção do processo erosivo, podendo, em certos casos, favorecer o desenvolvimento do mesmo (SENA, 2008).

### 3.2.4. Natureza do solo

Em se tratando deste atributo, a forma de avaliação normalmente utilizada é a caracterização da **erodibilidade** do solo, que reflete o potencial do mesmo sofrer erosão.

A erodibilidade de um determinado solo é definida principalmente através de propriedades físicas e biológicas tais como estrutura, textura, permeabilidade, densidade, e teor de matéria orgânica. Segundo DAEE/IPT (1989), devem ser ainda considerados os fatores, espessura e relação estrutural entre horizontes.

Segundo Infanti e Fornasari (1998), as principais áreas erodidas no país estão associadas às áreas de ocorrência das formações geológicas sedimentares, cujas coberturas pedológicas correspondem a materiais arenosos. Segundo Salomão (1994 apud RIDENTE JUNIOR, 2000), os solos rasos (litólicos e cambissolos) são considerados os solos de mais alta suscetibilidade, seguidos seqüencialmente pelos podzólicos, areias quartzosas, latossolos e hidromórficos.

### 3.2.5. Ação Antrópica

Sena (2008) afirma que a ação humana é, geralmente, o principal fator desencadeador do processo erosivo acelerado, seja ele rural ou urbano. As interferências provocadas pelas ações de uso e ocupação do solo costumam se refletir em desequilíbrios nos processos naturais que ocasionam o início do processo ou potencializam processos pré-existentes.

Dentre as atividades antrópicas que podem interferir na erosão, encontram-se alterações hidrológicas como a construção de barragens; modificações do relevo e no solo através obras de corte e aterro; alterações na cobertura vegetal através do desmatamento e conseqüente exposição do solo à erosão, entre outros (SENA, 2008).

Em geral, pode-se dizer que qualquer atividade ligada ao uso do solo sem planejamento pode induzir o desenvolvimento de processos erosivos (SENA, 2008).

### **3.3. Métodos de Prevenção, Controle e Recuperação de Erosão**

Depois de conhecidas as especificidades do meio físico em que se instalou o processo erosivo, e entende-se a dinâmica que desencadeou o mesmo, inicia-se o processo de escolha da melhor alternativa para controle e recuperação da erosão.

De acordo com Silva (2003), antes que sejam tomadas quaisquer medidas de combate a erosão, deve-se primeiramente determinar a fase de evolução da erosão. Esta pode ser Inicial (Sulcos), Intermediária (Ravinas), ou Avançada (Voçorocas).

Após iniciado o processo erosivo, a escolha da melhor alternativa de controle deve estar fundamentada no uso futuro que se pretende fazer da área em questão. Este irá subsidiar a escolha de uma técnica de controle onde pretende-se apenas estabilizar o fenômeno erosivo, de forma a conviver com a degradação provocada pelo mesmo, ou recuperação, onde, segundo o Decreto Federal 97.632 de 1989, tem como objetivo o *“retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente”*.

Feita esta escolha, deve-se recorrer a um método de controle ou recuperação que atue diretamente nas causas do processo erosivo, devendo-se para tanto estudar as características específicas do local capazes de influenciá-lo, bem como o uso do solo que se faz da área em questão. As alternativas de projeto deverão sempre partir das soluções mais simples e baratas, adotando-se soluções mais complexas e custosas apenas quando as primeiras se mostrarem inviáveis ou inadequadas (SCARANCE, 2004).

Assim, em casos em que se pretenda estabilizar o fenômeno erosivo e antes de se intervir de forma mais profunda para controlar o mesmo, deve-se analisar a possibilidade de se isolar a área afetada, evitando-se tanto a entrada de pessoas e animais através de cercamento, como o escoamento das águas superficiais através da revegetação da cabeceira de drenagem. Em muitos casos estas simples medidas dão condição para que o sulco ou ravina se recupere naturalmente.

Silva (2003) afirma que a dificuldade em controlar a erosão como um processo não deveria ir além das dificuldades de implementar as medidas que limitam a incidência direta da chuva e o rápido escoamento da água sobre o solo, visto que a erosão hídrica pode ser controlada através de inúmeras ações, mas fundamentalmente inspiradas em uma única necessidade: *limitar a velocidade da água que incide, e da água que escoo sobre a superfície do solo.*

De forma sucinta, pode-se dizer que a erosão pode ser contida controlando-se a vazão, a declividade ou o uso que se faz do terreno. O controle da vazão é obtido com desvio ou condução da água por caminhos preferíveis em relação ao sulco erosivo. O controle da declividade é conseguido com retaludamento ou colocação de obstáculos que diminuam a velocidade de escoamento. O controle de erosão através do uso do terreno pode ser feito através de modificações na cobertura pelo capeamento vegetal ou reforço da superfície, tornando-a mais resistente a ação da água de escoamento (MAGALHÃES, 2001).

Cabe destacar que ao projetar obras de defesa do solo que impliquem em canalização da água, ou o seu retardamento, é necessário que se execute um dimensionamento, considerando as características do local. Desta forma, para um correto dimensionamento destas obras (no caso do presente trabalho, os terraços, disciplinamento do fluxo d'água superficial e subsuperficial e reaterro), é necessário ter em mãos alguns dados hidrológicos a respeito da área impactada, tais como a estimativa da enxurrada a ser contida (quantidade e intensidade), e estimativa de intensidade e duração das chuvas locais. É ainda necessário que se conheça o tempo de concentração da bacia, que se traduz como a duração da chuva que corresponde ao máximo da enxurrada. A chuva que deve ser considerada no cálculo da enxurrada máxima é aquela que pode cair num tempo igual ao tempo de concentração (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). É

importante ainda que se conheça o tipo de solo da área que se pretende intervir (textura, permeabilidade, profundidade, etc), bem como as características topográficas da região. Caso estas informações não sejam consideradas no dimensionamento das obras, estas correm o risco de serem ineficientes caso tenham sido subdimensionadas, ou ainda, no caso do superdimensionamento, a obra se torna onerosa e ociosa.

### 3.3.1. Práticas de prevenção de erosão

As medidas de prevenção de erosão consistem fundamentalmente na adoção de planejamento prévio em qualquer atividade ligada ao uso do solo. Oliveira et al (1987 apud SILVA, 2003) sugere orientações voltadas a nível preventivo tais como: priorização das áreas de investimento em obras corretivas, orientação das expansões urbanas e a definição das adequações necessárias à implantação de obras viárias que atravessem áreas de alta suscetibilidade à erosão. Para tanto, as Cartas Geotécnicas apresentam-se como uma ferramenta fundamental, já que tem como objetivo expor as limitações e potencialidades dos terrenos, estabelecendo as diretrizes de ocupação frente às formas de uso do solo (PRANDINI et al, 1991, apud SILVA, 2003).

De modo geral, qualquer prática preventiva consiste na adoção de medidas que neutralizem os aspectos condicionantes do processo erosivo antes que o mesmo se instale. Sendo assim, práticas que evitem a concentração do fluxo d'água em canais preferenciais; práticas de manejo e conservação do solo, entendendo e respeitando suas aptidões naturais, incluindo a sua não utilização de forma a preservar sua vegetação natural, podem ser consideradas medidas que previnem a ocorrência de feições erosivas. Desta forma, pode-se dizer que dentre as principais práticas preventivas, destacam-se as obras de drenagem de águas pluviais e o recobrimento com vegetação de áreas exploradas (SCARANCE, 2004).

Cabe destacar que as práticas de prevenção de erosão são, em geral, mais baratas, mais simples de executar e demandam menos tempo que as práticas de controle e recuperação de erosão (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001). Assim, via de regra, sempre que possível deve-se priorizar a adoção de medidas preventivas frente às corretivas.

### 3.3.2. Práticas conservacionistas

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008), as práticas conservacionistas compreendem todas as tecnologias que visam o aumento da cobertura vegetal e à infiltração da água no solo, com a intenção de protegê-lo contra o impacto das gotas da chuva, de diminuir o volume e a

velocidade do escoamento superficial, proporcionando o tempo necessário para que a água possa infiltrar antes de seu escoamento.

As práticas conservacionistas são classificadas em vegetativas, edáficas e mecânicas. As vegetativas e edáficas são mais simples de executar e de se manter. Assim, sempre que possível deve-se recorrer a elas, utilizando as mecânicas como complementares (BERTONI ; LOMBARDI NETO, 2008).

### *3.3.2.1. Práticas vegetativas*

As práticas de caráter vegetativo são aquelas em que se utiliza a vegetação para defender o solo contra a erosão. Estas podem ser consideradas tanto práticas de prevenção quanto de controle ou recuperação de erosão, dependendo do estágio evolutivo da feição erosiva que se pretende combater. Dentre as diversas práticas vegetativas, encontram-se o reflorestamento e as pastagens.

#### Florestamento e Reflorestamento

A vegetação vem sendo utilizada na engenharia há séculos no controle de processos erosivos e como proteção e reforço em obras civis. Estas atividades, devido a seu baixo custo, requerimento técnico relativamente simples para instalação e manutenções, adequação paisagística e ambiental, tem encontrado largo campo de aplicação em regiões tropicais e subtropicais, já que nestas as condições favoráveis ao crescimento da vegetação ocorrem na maioria do ano (PEREIRA, 2009a).

As terras de baixa capacidade de produção e, ao mesmo tempo, muito suscetíveis à erosão, devem ser recobertas de vegetações permanentes bastante densas, sendo esta a maneira mais segura e econômica da utilização deste tipo de terreno (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Nas regiões de topografia acidentada, as florestas devem ser formadas no topo dos morros a fim de reduzir as enxurradas em que se formam nas cabeceiras, atenuando os problemas de erosão nos terrenos situados a jusante. Seguindo este mesmo raciocínio, em erosões muito desenvolvidas como voçorocas, o reflorestamento das cabeceiras é bastante vantajoso (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Em se tratando de voçorocas, a cobertura vegetal tem ainda outro importante papel na estabilização dos taludes laterais, diques e reaterro, protegendo o solo descoberto pelo

movimento de terra do impacto direto das gotas de chuvas, além de conter e evitar o escoamento superficial concentrado (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

A escolha das espécies vegetais a serem utilizadas na revegetação das voçorocas e de sua área de contribuição irá depender das dimensões (largura e profundidade) da voçoroca e da viabilidade econômica de utilização futura da área. Nas áreas onde as voçorocas apresentam dimensões que não permitam o seu fechamento com movimentação de terra, as espécies utilizadas na vegetação devem apresentar crescimento rápido, possuir sistema radicular abundante, serem rústicas (adaptadas a condições de pequena fertilidade) e proporcionarem boa cobertura do solo. Neste caso pode-se utilizar espécies de gramíneas, de leguminosas e outras como o *Vetiveria zizanioides* – capim vetiver (TAVARES, 2008).

A cobertura vegetal também mostra-se eficaz no controle de erosão de margens fluviais. O reflorestamento ciliar é usado para a proteção das margens dos rios, empregando espécies arbóreas que fornecem frutos comestíveis para alimentação dos peixes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Segundo Pereira e Pereira (2009a), estas áreas erodidas não devem ser simplesmente revegetadas. A escolha adequada das espécies e respectivas quantidades é um fator decisivo no estabelecimento da vegetação e proteção contra os processos erosivos, sendo, portanto, necessários conhecimentos técnicos que abrangem os aspectos edáficos, climáticos, fisiológicos e ambientais específicos de cada espécie vegetal.

### Pastagens

Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que as pastagens, embora em intensidade menor que as florestas, fornecem grande proteção ao solo contra os estragos pela erosão. Assim, o pasto bem manejado encontra-se como uma alternativa para terrenos onde as culturas não propiciam produções compensatórias, ou muito suscetíveis a erosão.

O manejo das pastagens afeta diretamente seu valor como revestimento do solo contra a erosão. Um peso de gado muito grande, por exemplo, pode resultar em uma vegetação excessivamente raleada e reduzida (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008), reduzindo sua proteção contra a erosão ou até dando origem a elas, visto que as trilhas do gado tornam-se canais preferenciais de drenagem da enxurrada, gerando sulcos de profundidades variadas.

Assim, para que as pastagens possam constituir uma eficiente maneira de proteger o solo contra a erosão, deve-se mantê-las com um peso de gado compatível com a sua capacidade. Uma

alternativa para esta questão é o rodízio de pastagens, onde a área total é dividida em um determinado número de pastos, sendo o gado passado de um para o outro em uma seqüência determinada. Assim os pastos têm tempo suficiente para se refazerem, sem o perigo do pastoreio excessivo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Além de se evitar o pastoreio excessivo, Bertoni e Lombardi Neto (2008) destacam algumas indicações a respeito de um adequado manejo de pastos:

- a) Deve-se proceder o ressemeio periódico (capim e leguminosas), com aplicação de fertilizantes quando necessário, visando manter sua cobertura vegetal sempre densa;
- b) As árvores de sombra para abrigo do gado devem ser localizadas na parte alta do terreno, longe dos cursos d'água;
- c) Quando possível, o pastoreio misto, de várias espécies de animais, assegura sempre melhor utilização da pastagem.

### *3.3.2.2. Práticas edáficas*

São práticas conservacionistas que, com modificações no sistema de cultivo, mantêm ou melhoram a fertilidade do solo. Podem ser consideradas atividades de prevenção e controle de erosão. Dentre elas, pode-se citar a adubação química, orgânica, a calagem, entre outros (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

A combinação de fatores de baixa fertilidade e precária estruturação física de solos que compõe grande parte dos taludes de feições erosivas de grandes dimensões deixa indícios de que, para provê-los de uma cobertura vegetal de proteção, torna-se oportuno melhorar as condições de fertilidade do solo (COSTA; URASHIMA; SILVA, 2009).

Com vistas a auxiliar o estabelecimento da vegetação, surgem iniciativas como as técnicas de bioengenharia, que consistem em uma associação de alternativas envolvendo estruturas biodegradáveis. Neste sentido, é comum o uso de mantas ou geossintéticos que, quando de sua decomposição, auxiliam a estabilizar a vegetação em desenvolvimento e assim controlar a erosão (PEREIRA, 2009).

No controle de erosão, os geossintéticos atuam como elemento de reforço inserido no solo ou em associação com o solo para a melhoria das propriedades de resistência e de deformação do solo natural. Por exemplo, geotêxteis e geogrelhas são usados para acrescentar resistência à tração na massa de solo de forma a possibilitar paredes de solo reforçado verticais ou aproximadamente verticais. Adicionalmente, os geossintéticos ainda reduzem os efeitos da erosão do solo causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial da água (BATHURST,

[199-]). As Figuras 1 e 2 ilustram tipos de geossintéticos comumente utilizados no controle de erosão.

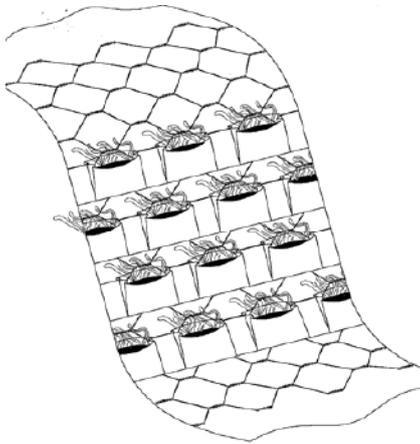


Figura 1 - Geossintético de malha hexagonal para proteção de encostas (COSTA, URASHIMA, SILVA, 2009)

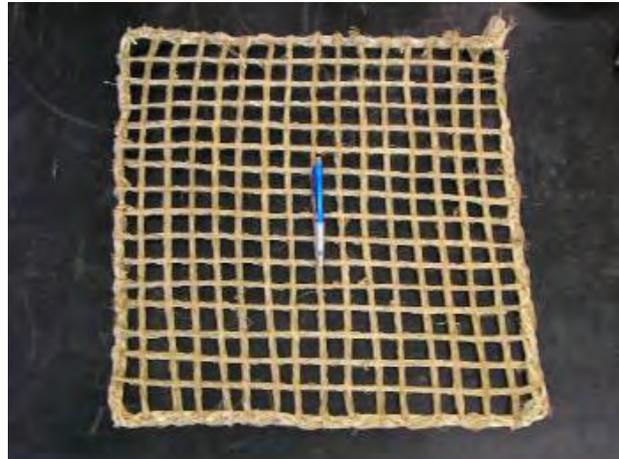


Figura 2 – Geotêxtil produzido com fibra de buriti..

Os geossintéticos são classificados pela sua composição (natural ou sintética) e pelo seu modo de instalação (superficial ou enterrada). Podem ser usadas como mantas temporárias ou permanentes, e para o controle da erosão, dependerá da função requerida. Esses produtos são de fácil instalação. Depois de semear o talude, os rolos de geossintéticos são colocados sobre o mesmo e presos por grampos (FORTES; SOUZA; PIRES, 2001).

Controlando a erosão do solo, os geossintéticos criam um ambiente estável, não erodido, no qual a vegetação pode estabelecer-se e crescer com menor risco de remoção de sementes ou plantas jovens, ou dano para raízes novas, pela ação do deslocamento das partículas erodidas (FORTES, 2001).

### 3.3.2.3. Práticas mecânicas

As práticas de caráter mecânico são aquelas em que se recorre a estruturas artificiais mediante a disposição adequada de porções de terra, com a finalidade de quebrar a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar-lhe a infiltração do solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Dependendo do estágio evolutivo da erosão, as práticas de caráter mecânico podem ser consideradas tanto como medidas de prevenção como de controle de erosão.

Dentre as práticas de caráter mecânico, o **terraceamento** é uma das mais antigas e eficientes no controle de erosão. A principal função do terraço é parcelar o comprimento de rampa do talude, possibilitando a redução de velocidade e subdividindo o volume do deflúvio

superficial facilitando sua infiltração no solo, ou disciplinar o seu escoamento até um leito estável de drenagem natural, reduzindo assim a formação de sulcos erosivos (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que a declividade do terreno é que determina a praticabilidade do terraceamento, uma vez que a erosão aumenta com esse declive, entretanto, o custo da construção e da manutenção do terraço aumenta com o grau do declive a tal ponto que esse fator pode torná-lo desaconselhável.

Existem diversos tipos de terraços, e sua escolha depende das condições do terreno, tais como tipo de solo e declividade. As Figuras 3 e 4 apresentam, esquematicamente, alguns tipos de terraços.

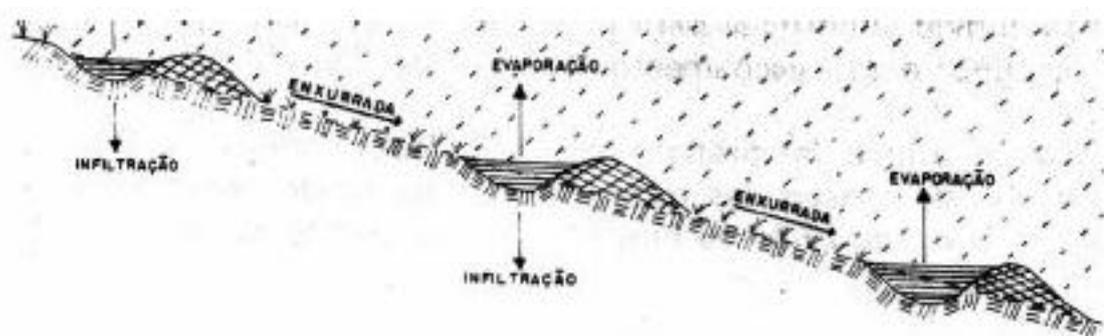


Figura 3 - Representação esquemática de um terraceamento mostrando a retenção das águas da enxurrada e o parcelamento do declive (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

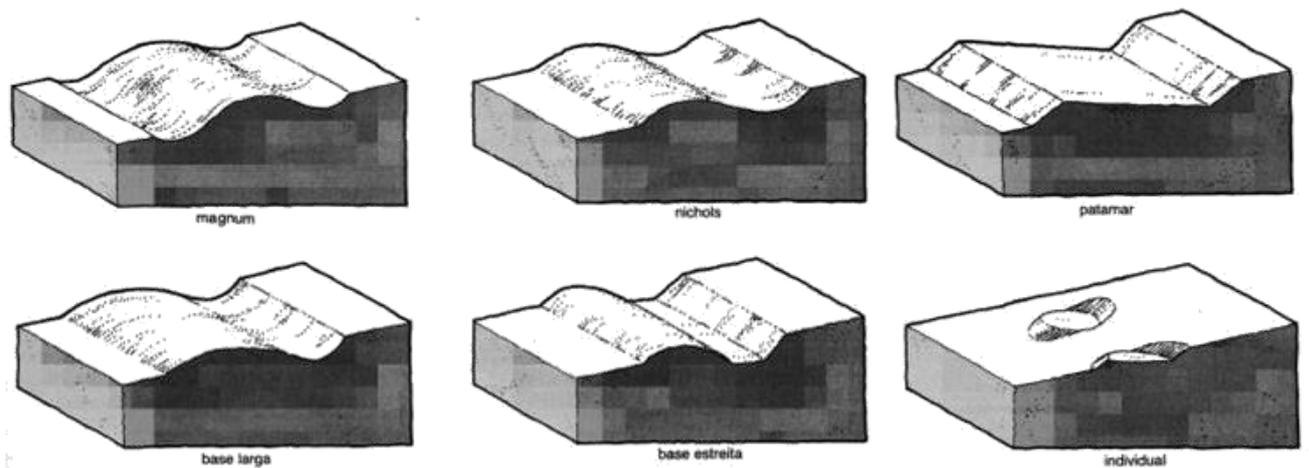


Figura 4 - Representação esquemática dos vários tipos de terraços (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

Em geral, o terraço base larga é indicado para terrenos de até 12% de declividade. Porém em alguns solos de boa permeabilidade, podem ser utilizados em terrenos de até 20% (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Outra aplicação das práticas de caráter mecânico é encontrada no controle de erosão em beiras de estradas vicinais. Quando estas são implantadas sem técnicas adequadas de drenagem, a enxurrada tende a se concentrar nas bordas da estrada rural, desencadeando processos erosivos que além das conseqüências usuais de degradação do meio ambiente, instabilizam a obra viária, diminuindo sua trafegabilidade ou até mesmo causando acidentes aos usuários (CASARIN, 2008).

Considerando o alto custo da técnica de pavimentação, é importante obter tecnologias alternativas que possibilitem a manutenção das estradas de terra, que as quais proporcionem boas condições de tráfego durante o ano todo (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

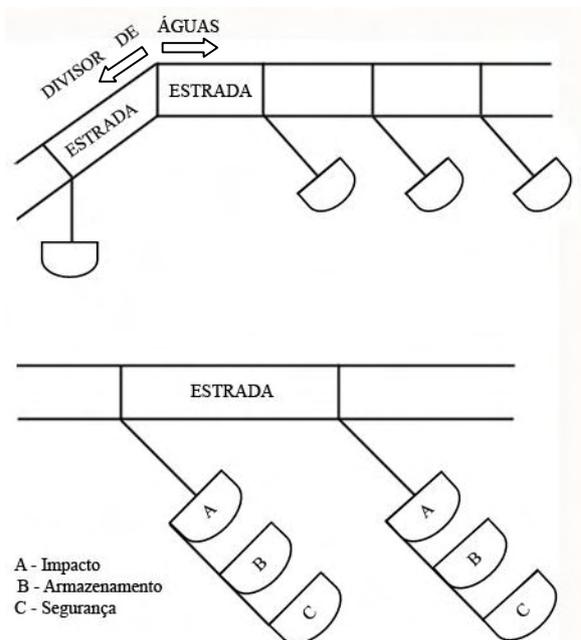


Figura 5 - Modelos de bacias de captação localizadas em série e em paralelo (adaptado de ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).



Figura 6 – Bacia de captação (TAVARES, 2008).

Neste contexto, a construção de terraços associados a bacias de retenção são de grande utilidade, pois através de cortes e aterros ao longo das margens das estradas rurais é obtido o armazenamento das águas das chuvas, que, por infiltração no solo, vão abastecer o lençol freático, aumentando o potencial dos mananciais (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001). As Figuras 5 e 6 ilustram modelos de bacias de captação.

Destaca-se que a eficiência das obras de caráter mecânico está diretamente relacionada com o seu correto dimensionamento, sendo este baseado nas características físicas específicas da região em que se quer controlar a erosão. Dentre eles, encontram-se os dados hidrológicos citados

anteriormente, o tipo de solo (permeabilidade, profundidade), além do uso que se faz do terreno (TAVARES, 2008).

### 3.3.3. Disciplinamento do fluxo d'água

As práticas de disciplinamento do fluxo d'água consistem na execução de um conjunto de obras, cuja finalidade primordial é evitar ou diminuir a energia do escoamento das águas sobre terrenos desprotegidos, de forma a evitar a evolução de processos erosivos (SILVA, 2003).

A prática de disciplinamento do fluxo d'água superficial é de extrema importância em atividades de prevenção, controle ou recuperação de processos erosivos. Já o disciplinamento de águas subterrâneas é recomendado apenas para controle e recuperação de erosões do tipo voçoroca, em que o sulco erosivo já atingiu o lençol freático.

O disciplinamento do fluxo d'água pode ser alcançado através de obras de sistema de drenagem tais como: pavimentação das ruas, guias, sarjetas, boca de lobos e galerias de águas pluviais. No controle destes processos é fundamental a execução de projetos que contemplem a bacia de contribuição constituindo-se de: microdrenagem, macrodrenagem e obras de extremidades (SILVA, 2003). Por se tratar de obras que implicam na canalização de água, para um correto dimensionamento do sistema de drenagem, são necessários conhecimentos hidrológicos sobre a bacia de contribuição, tais como estimativa de enxurrada (intensidade e duração), intensidade e duração das chuvas, tempo de concentração, entre outros.

Destaca-se a relevância das práticas de disciplinamento do fluxo d'água em projetos preventivos, tanto para áreas urbanas em expansão, quanto para áreas rurais, em beiras de estradas vicinais. Entre estas práticas preventivas, destaca-se a disposição do arruamento em novos loteamentos.

Após a implantação de uma cidade, o percurso caótico das enxurradas passa a ser determinado pelo traçado das ruas e acaba se comportando, tanto quantitativa como qualitativamente, de maneira bem diferente de seu comportamento original (CARDOSO NETO, [199-]). Atentando-se a este fato, o Plano Diretor de Rio Claro – SP (2008) determina que em novos loteamentos, a disposição das vias e quadras deverá ser orientada pelas condições topográficas do terreno de forma a quebrar a velocidade da enxurrada. Para tanto, em encostas com declividade de 15 a 30%, a disposição das quadras e o plano de arruamento deverão seguir as curvas de nível, alternando-se as quadras de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam contínuas.

### 3.3.3.1. Água Superficial

O controle do escoamento de águas superficiais consiste em um conjunto de obras que irão conduzir o excesso das águas pluviais até um local de destino final apropriado. Os destinos finais mais adequados consistem em cursos d'água naturais, em lagos, no oceano, ou, no caso de solos bastante permeáveis, esparramadas sobre o terreno por onde infiltram no subsolo (CARDOSO NETO, [199-]).

É recomendável que o percurso da água entre sua origem e seu destino seja o mínimo possível, e que esta condução seja feita por gravidade (CARDOSO NETO, [199-]).

Um sistema de drenagem de águas superficiais pode ser subdividido da seguinte forma:

- *Microdrenagem*: Denominado pelo sistema responsável pela captação da água pluvial e sua condução até o sistema de macrodrenagem. É composto por estruturas como sarjetas, bocas-de-lobo, coletores, galerias e poço de visita;
- *Macrodrenagem*: são obras responsáveis pelo escoamento final das águas pluviais drenadas de montante para jusante, até atingirem os locais adequados para deságüe. As obras de macrodrenagem visam melhorar as condições de escoamento para minimizar os problemas de erosões, assoreamento e inundações ao longo dos principais talvegues (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001);
- *Obras de extremidades*: são os dissipadores de energia, dispostos na saída dos emissários, tendo a finalidade de reduzir a velocidade das águas, de tal forma a permitirem um escoamento tranquilo no talvegue receptor. Entre os vários tipos de dissipadores, temos: degraus dissipadores, bacia de imersão, dissipador de impacto tipo Bradley Peterka, dissipador com ressalto hidráulico, entre outros (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001); Um sistema de drenagem bem executado, sem obras de dissipação de energia para conduzir as águas até seu destino final pode ser caracterizado como ineficiente, pois evita os problemas de erosão e enchentes a montante, mas não a jusante. Desta forma, é de extrema importância que sejam executadas obras de dissipação de energia de forma a evitar o desencadeamento de processos erosivos no caminho das águas até seu destino final.

As Figuras 7, 8 e 9 exemplificam alguns tipos de obras de extremidades.



Figura 7 - Escada hidráulica de Gabião (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

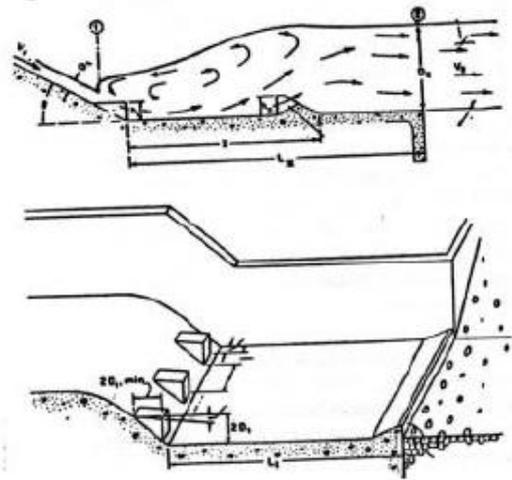


Figura 8 - Modelos de dissipador de ressalto hidráulico (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

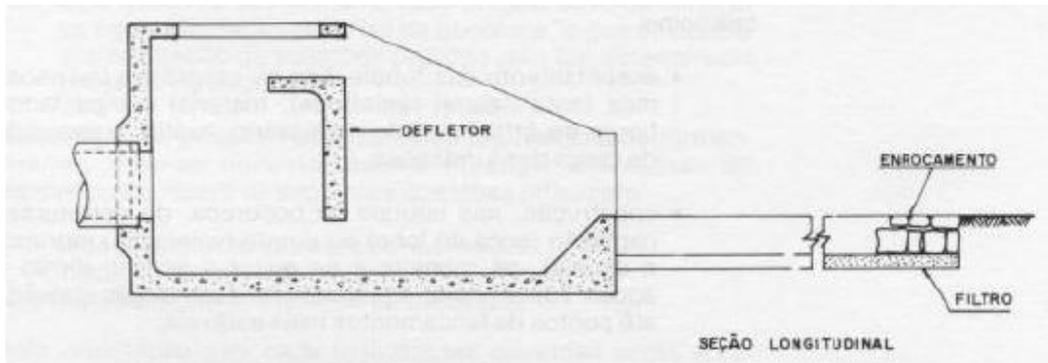


Figura 9 - Exemplo de dissipador de energia tipo bacia de impacto (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

### 3.3.3.2. Água Subterrânea

O disciplinamento das águas subterrâneas é uma atividade específica e de extrema relevância no controle de voçorocas, em que a ação erosiva já atingiu o lençol freático. A ação das águas subterrâneas é apontada como um dos maiores desafios existentes na execução de obras para controle de erosão em voçorocas (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001).

O tratamento convencional é feito com a aplicação de drenos enterrados, visando a drenagem das águas subsuperficiais de maneira a impedir o arraste do solo pelo “piping” (ALMEIDA FILHO; RIDENTE JUNIOR, 2001). A Figura 10 ilustra um tipo de dreno para disciplinamento de águas subterrâneas.

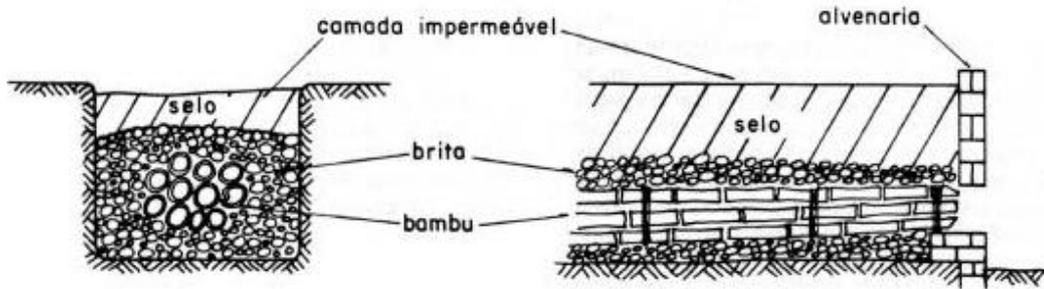


Figura 10 - Exemplo de sistema de drenagem sub-superficial – Dreno de Bambu – é executado com bambus amarrados em feixes, assentados em vala e envolvidos com brita (DAEE/IPT, 1989).

### 3.3.4. Obras de reaterro

As obras de reaterro são indicadas para controle e recuperação de erosão em estágio intermediário a avançado, e tem como principal função recobrir o sulco erosivo através da retenção dos sedimentos produzidos pelo próprio processo erosivo a ser estabilizado. Em casos onde houver escoamento superficial concentrado ou afloramento freático intermitente ou permanente deve-se implantar obras de disciplinam estas águas, sendo estes de extrema importância para o sucesso das obras de reaterro.

O reaterro é obtido através da construção de anteparos transversais ao sentido do escoamento dos sedimentos, preferencialmente nos estreitamentos dos processos erosivos lineares. Estes anteparos podem ser constituídos de madeira roliça, dormentes ou bambu (PEREIRA, 2009). As Figuras 11 e 12 ilustram o esquema de um sistema de barramentos transversais.

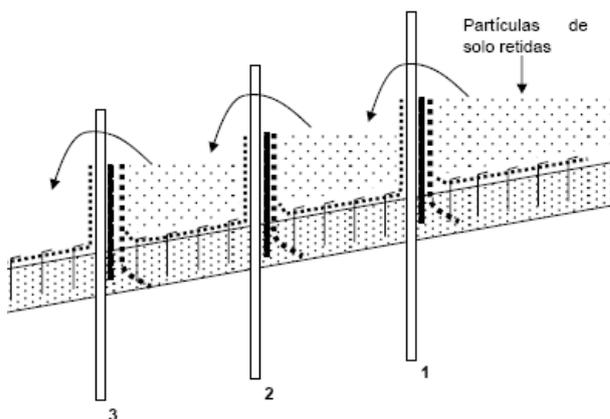


Figura 11 - Vista lateral dos barramentos para acumulação dos sedimentos gerados a montante (FERREIRA et al, 2009).



Figura 12 - Barramentos transversais instalados (FERREIRA et al, 2009).

O primeiro procedimento do projeto de um reaterro é a verificação das condições do local a ser recuperado. Deve-se fazer uma completa avaliação das condições geológicas, geotécnicas e geomorfológicas, bem como a estimativa do volume de escoamento superficial e a produção de sedimentos a montante, pois nada justificaria a instalação de barramentos caso não houvesse produção de sedimentos para enchimento dos mesmos (FERREIRA et al, 2009).

A dimensão dos anteparos será calculada em função da necessidade do local, podendo ser simples ou dupla. Um anteparo deve distanciar do outro o suficiente para que a altura máxima do anteparo a jusante esteja em nível com a base do anteparo a montante, sendo que esta diferença de nível será preenchida pelos sedimentos (PEREIRA, 2009).

A montante do anteparo e no engastamento nas ombreiras devem ser aplicados geotêxteis filtrantes ou retentores de sedimentos, umas sobre as outras do pé do anteparo até o topo e amarradas no anteparo, evitando assim a fuga de sedimentos e passagem de água pelas ombreiras e na interface do anteparo com o solo (PEREIRA, 2009).

As vantagens desse sistema podem ser justificadas pela simplicidade de execução e flexibilidade do projeto, pela possibilidade de se obter estruturas compatíveis com a carga de sedimentos a ser contida (FERREIRA et al, 2009).

A recuperação de erosões de grande porte é apresentada por Bertoni e Lombardi Neto (2008) como uma técnica que por vezes pode ter custos mais elevados que o valor da terra. Além disso, as dimensões da erosão por vezes inviabiliza tecnicamente a implantação de obras de recuperação, sendo assim necessário recorrer a outro método de controle.

Assim, os métodos de recuperação de erosão, tal qual o reaterro, são recomendados em casos que a erosão não seja excessivamente grande, ou quando os benefícios futuros compensarem o investimento. Como exemplos de usos futuros de áreas recuperadas, têm-se a pastagem, a vegetação com espécies arbóreas para produção de madeira (eucalipto e pinus) e para fruticultura, ou ainda, a transformação da área afetada em ambiente de abrigo natural para a fauna, como o plantio de vegetação nativa (TAVARES, 2008).

### 3.3.5. Controle de erosão em taludes marginais de canais fluviais

Os cursos d'água, rios, canais e reservatórios hidráulicos necessitam de proteção constante em suas margens para evitar erosões e assoreamentos. Atualmente a grande maioria dos cursos d'água estão desprotegidos, por ausência da mata ciliar ou qualquer outro tipo de

vegetação, devido a exploração agroflorestal e urbanização desordenada, fatores que contribuem para acelerar os processos erosivos (PEREIRA; PEREIRA, 2009b)

As técnicas para controle de erosão em taludes marginais são baseadas em elementos flexíveis como vegetação, madeira e fibras vegetais, associadas a elementos rígidos como pedras e concreto. Tal associação se denomina bioengenharia.

Dentre as técnicas citadas por Pereira e Pereira (2009b), encontram-se a recuperação dos taludes com paliçadas de madeira, e aterro compactado com estacas vivas. A escolha entre uma técnica ou outra dependerá das condições de assoreamento do curso d'água a ser recuperado, além de características físicas e hidrológicas dos cursos d'água, tais como vazão e velocidade do fluxo d'água, e largura do canal.

A recuperação com paliçadas de madeira é recomendada para cursos d'água com no máximo 50% de assoreamento, largura de até 20m, além de boa vazão e velocidade de fluxo de até 3m/s.

O procedimento de recuperação inicia-se pelo desassoreamento, até atingir o nível original da profundidade. Após o desassoreamento, as madeiras roliças são cravadas verticalmente junto às margens. Para completar a paliçada são aplicadas peças de madeira no sentido longitudinal, ancorando-as atrás das peças verticais, promovendo encaixes para manter as peças travadas e seguras. Imediatamente atrás da paliçada deve ser aplicado um geotêxtil em camadas e solo compactado, até atingir toda altura da paliçada. O geotêxtil tem o objetivo de evitar que a água retire sedimentos através das peças de madeira e facilite o desenvolvimento da vegetação e mata ciliar, protegendo as margens, evitando novos eventos erosivos. O material a ser usado na compactação e preenchimento das concavidades, poderá ser o mesmo do desassoreamento. Após todo o processo deve-se proteger o solo com biomantas e plantio de gramíneas, leguminosas e espécies florestais típicas da mata ciliar local. As Figuras 13 e 14 ilustram o sistema de proteção de taludes com paliçadas de madeira.

A técnica de aterro compactado com estacas vivas deve ser usada em margens de curso d'água, que apresentam erosões, solapamentos e deslizamentos de grandes dimensões e também em rios de grande vazão e média velocidade. Esta técnica visa a recuperação do talude marginal por meio do atirantamento do solo através do enraizamento de estacas vivas com alto índice de rebrota (*Fícus gameleira*), a fim de se manter e desenvolver a mata ciliar do curso d'água.

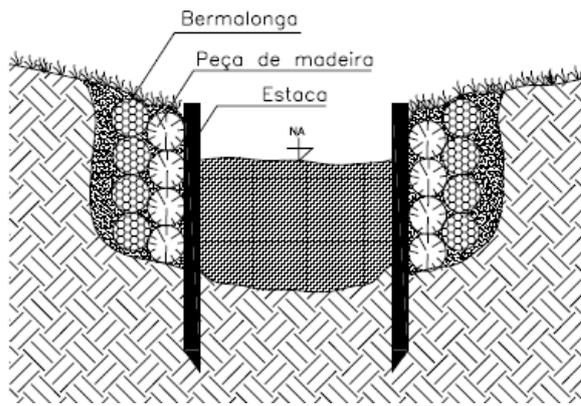


Figura 13 - Vista em corte após a construção da paliçada de madeira e geotêxtil (Bermalonga) (PEREIRA; PEREIRA, 2009b).

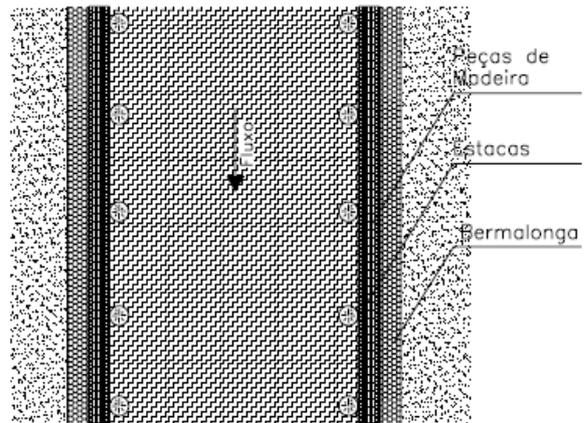


Figura 14 - Vista em planta (PEREIRA; PEREIRA, 2009b).

O procedimento para aplicação das estacas vivas e solo compactado ocorre primeiramente com o preparo da fundação do terreno. O solo compactado será aplicado de forma a cobrir algumas peças de madeira encaixadas no sentido longitudinal ao leito do rio. Sobrepondo o solo compactado, e no sentido sub-horizontal ao curso d'água, serão encontradas as estacas vivas e galhos de *Ficus gameleira*, que serão recobertas novamente por solo compactado. Este processo deve ser repetido até se atingir a altura desejada. A inclinação depende do projeto, podendo chegar até 45°. As Figuras 15 e 16 apresentam um esquema do sistema de aterro compactado com estacas vivas.

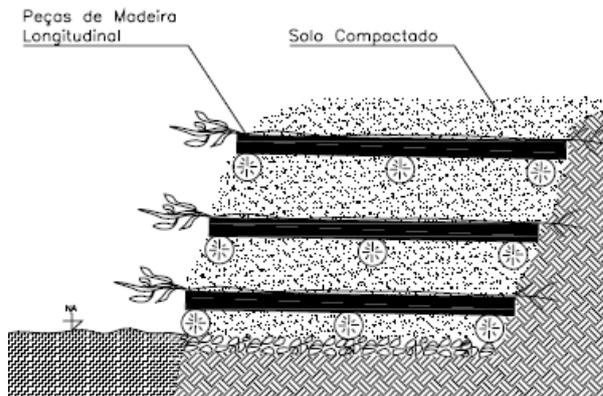


Figura 15 - Vista em corte do sistema de aterro compactado com estacas vivas (PEREIRA; PEREIRA, 2009b).

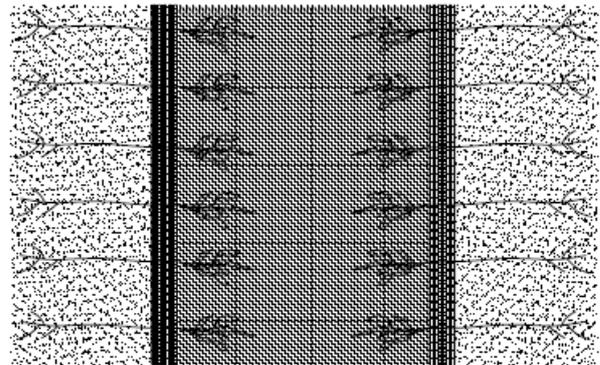


Figura 16 - Vista em planta (PEREIRA; PEREIRA, 2009b).

Em ambos os métodos, o resultado é um curso d'água protegido e recuperado. Mesmo após grandes eventos pluviométricos, as proteções apresentam seguras e eficientes, não carreando sedimentos e não apresentando focos erosivos.

### 3.3.6. Monitoramento de obras

As áreas erodidas eventualmente recuperadas pelos métodos de controle citados são como cicatrizes e, como tal, áreas frágeis que devem ser monitoradas. A desestabilização das áreas corrigidas pode causar desastres de dimensões enormes e por em risco equipamentos públicos e a vida humana. São comuns notícias sobre obras de controle de erosão que se romperam e sua reforma é tão ou mais cara que a recuperação de uma erosão ainda não corrigida (MODAELLI et al, 2009).

Desta forma, faz-se imprescindível a inspeção periódica com vistas a observar a eficiência dos métodos de controle adotados, principalmente após grandes períodos de chuvas que tendem a instabilizar estas obras. Estas medidas, incluindo eventuais novas intervenções, contribuem para estender a vida útil das obras de prevenção e controle de erosão.

Dentre as técnicas de monitoramento da recuperação de áreas degradadas por erosão, podemos citar a avaliação da qualidade do solo, feita através da seleção de um conjunto de indicadores os quais podem incluir características físicas, químicas ou biológicas do solo. A análise destes indicadores demonstra a eficiência das intervenções adotadas (TAVARES, 2008).

## 4. MÉTODOS E ETAPAS DO TRABALHO

Inicialmente, cabe esclarecer que o presente projeto foi desenvolvido em conjunto e é complementar ao Trabalho de Conclusão de Curso de Gisele Zoratto, aluna do curso de Geologia da Unesp *campus* de Rio Claro. Este diz respeito à compartimentação fisiográfica da mesma área de estudo do presente projeto, ao qual as propostas de controle de erosão são direcionadas.

A primeira fase do presente trabalho consistiu o planejamento do mesmo, em que foram escolhidos o tema e a área de estudo do projeto, os quais respectivamente se referem a controle de erosão linear acelerada, e uma sub-bacia da bacia do rio Corumbataí, correspondente à região de Ipeúna, SP. A área de estudo foi selecionada em função da disponibilidade de dados secundários e da proximidade do *campus* de Rio Claro. A delimitação da área corresponde a uma bacia hidrográfica e foi feita por Zoratto (2009).

Após o planejamento, foi realizado um levantamento bibliográfico através da leitura de materiais já publicados como livros, artigos técnicos, etc. A bibliografia consultada foi, em geral, a respeito da fenomenologia da erosão linear, de técnicas e métodos de controle das mesmas, bem como das características físicas da região de estudo. A partir da revisão bibliográfica, foi possível

organizar as informações estudadas na forma de um fluxograma contendo orientações gerais para um adequado controle e recuperação de processos erosivos lineares (Apêndice C).

Feita a revisão da bibliografia, houve a fase experimental, em que no mês de Julho de 2009 foram realizadas visitas à área de estudo com o objetivo de observar o comportamento dos fenômenos erosivos em cada compartimento fisiográfico em função das variáveis capazes de influenciá-los.

Para o planejamento do campo, foi feita uma análise das fotografias aéreas da área de estudo, de forma a demarcar as feições erosivas mais significativas. Em função desta demarcação, bem como do mapa de compartimentação parcial da área, foi delimitada a rota a ser percorrida em campo, de forma que se visitassem tanto as feições mais significativas quanto todas as unidades fisiográficas de forma uniforme. Foi preparada ainda uma ficha de cadastro de erosão (Apêndice B) seguindo as orientações de Macedo et al (2004), com a função de caracterizar os principais condicionantes da erosão (solo, relevo, geologia e uso do solo), a dinâmica fenomenológica do processo, o nível de criticidade, a previsão de evolução, alguns dados geométricos da feição, e as eventuais medidas de controle adotadas.

Em seguida a fase experimental, os dados sobre a erosão na área de estudo e os métodos de controle estudados foram analisados e agrupados de forma que os mesmos pudessem ser relacionados.

Após a aquisição do mapa de compartimentação fisiográfica da área de estudo (ZORATTO, 2009) bem como da tabela contendo as principais propriedades físicas de cada unidade, dois atributos imprescindíveis para proposição dos métodos do controle de erosão foram incluídos para cada unidade, sendo eles o comprimento de rampa e o uso do solo.

O cálculo do comprimento de rampa (CR) foi estimado através da fórmula de Pitágoras, em que os catetos correspondem a amplitude local (diferença entre as cotas superior e inferior em que a unidade se encontra), e a amplitude local (AL) dividida pela declividade (DV).

$$CR^2 = (AL)^2 + (AL / DV)^2$$

Para cada unidade de relevo foi selecionado um uso de solo predominante em área, com base no mapa de uso e ocupação do solo de Corvalán (2005), chegando dessa maneira a áreas semelhantes entre si.

Estes e outros atributos tais como geologia, relevo e solo, bem como suas respectivas suscetibilidades a erosão, controle sugerido e respectiva justificativa serão apresentados resumidamente na forma de uma tabela (Apêndice A).

A partir da compartimentação fisiográfica elaborada por Zoratto (2009), da bibliografia consultada, e da experiência em campo, foi possível entender a fenomenologia da erosão em cada unidade fisiográfica, e assim propor o método de controle de erosão mais apropriado para cada uma delas.

A Tabela 1 exemplifica as etapas do presente projeto e seus respectivos resultados.

Tabela 1 – Etapas do trabalho e respectivos resultados.

<b>FASE</b>	<b>SUB-FASES</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>Planejamento</b>	Tema do Projeto	Controle de Erosão
	Área de Estudo	Ipeúna – SP
<b>Revisão Bibliográfica</b>	Fenomenologia da Erosão	Relação EROSÃO X CONTROLE Fluxograma de Gestão de erosão
	Métodos de Controle de Erosão	
	Características físicas da área de estudo	
<b>Campo</b>	Observação e Cadastro de Erosão	Obtenção de dados de campo
	Observação dos Métodos de Controle	
	Observação das Unidades do Relevo	
<b>Análise dos dados de campo</b>	Documentação Cartográfica	Relação UNIDADES X EROSÃO
	Fotos e Fichas de Cadastro	
<b>Elaboração do Relatório Final</b>	Revisão Bibliográfica	Relação UNIDADES X CONTROLE,
	Dados de Campo	

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 5.1. Localização

A área de estudo possui aproximadamente 134 km<sup>2</sup> e está inserida na bacia do rio Corumbataí (Figura 17), que por sua vez se encontra na bacia do rio Piracicaba, na região central do Estado de São Paulo, integrante do sistema Tietê-Paraná.

## 5.2. Hidrografia

A região da área de estudo compreende a bacia do rio Corumbataí, que por sua vez encontra-se inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos número 5 – Piracicaba/Capivari/Jundiá (PCJ), como pode ser observado na Figura 17.

Os recursos hídricos da bacia do rio Corumbataí compreendem quatro rios formadores principais: Corumbataí, Passa Cinco, Cabeça e Ribeirão Claro. A área de estudo engloba um trecho do rio Passa Cinco, um importante afluente do rio Corumbataí.

O Passa Cinco nasce próximo a Itaqueri da Serra, em Itirapina, e seus principais afluentes na margem direita são o ribeirão João Pinto, ribeirão dos Sinos, e o córrego da Lapa. Na margem esquerda encontra-se o rio Cabeça, com cachoeiras, quedas e corredeiras (RIBEIRO, 2006).

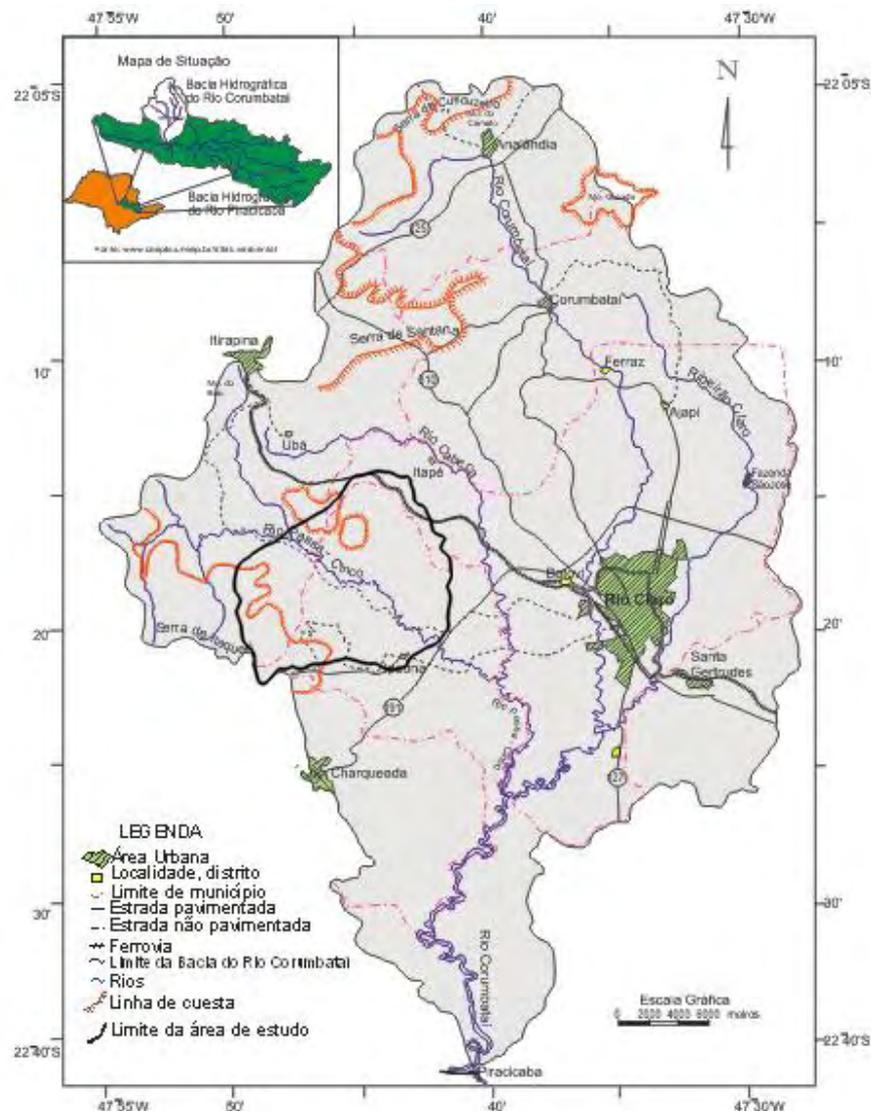


Figura 17 - Localização da área de estudo Fonte: Zaine e Zaine, 2009

### 5.3. Geologia

Segundo Soares e Landim, (1975 apud Amorim, 2005), a região estudada está geologicamente localizada no flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná, mais especificamente no setor paulista. Apresenta unidades litoestratigráficas das eras Paleozóica, Mesozóica e Cenozóica, representados por pacotes de rochas sedimentares e vulcânicas (Tabela 2). A distribuição das unidades na área de estudo ocorre conforme a Figura 18.

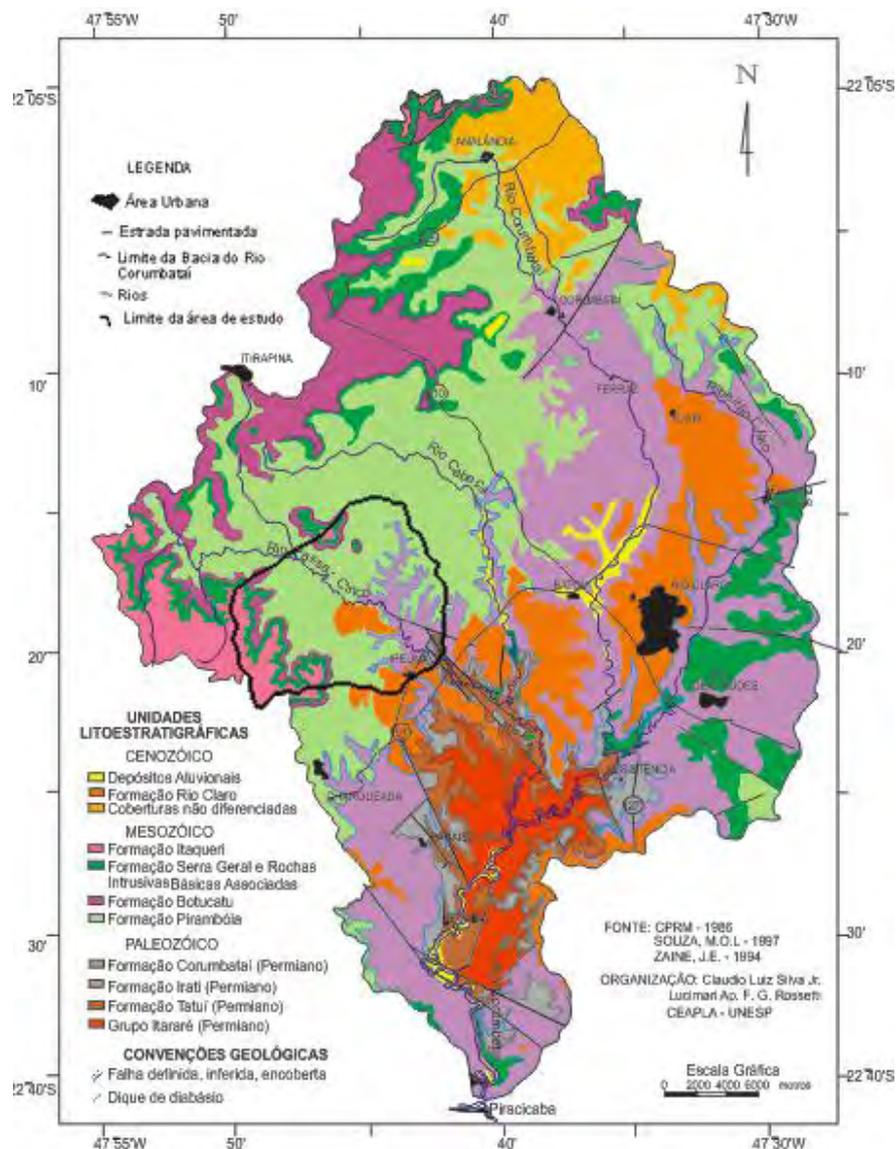


Figura 18 - Mapa geológico regional, com destaque para a área de estudo. Fonte: Zaine e Zaine, 2009.

Tabela 2–Coluna Estratigráfica da Área de estudo.Fonte: adaptado de Soares e Landim, 1975, apud Amorim,2005.

ERA	UNIDADE	DESCRIÇÃO: Litotipos / Estruturas / Ambiente deposicional
Cenozóico	Depósitos Aluvionais	Arenitos areno-argilosos / Sem estruturas / Atual.
	Formação Rio Claro	Arenitos e argilitos / Estratificação cruzada, de corte e preenchimento / Continental de clima semi-árido.
Mesozóico	Formação Itaqueri	Arenitos e folhetos / Estratificações plano-paralelas e cruzadas / Leques aluviais em clima árido e semi-árido.
	Formação Serra Geral e Rochas Intrusivas Básicas associadas	Basaltos toleíticos / Juntas verticais e horizontais / Vulcânica.
	Formação Botucatu	Arenitos / Estratificação cruzada de grande porte / Desértico.
	Formação Pirambóia	Arenitos, argilas e lamitos / Estratificação cruzada planar e acanalada e plano paralela / Continental aquoso e desértico.
Paleozóico	Formação Corumbataí	Argilitos, arenitos e calcários / Fraturas conchóide / Marinho de águas calmas ocasionalmente influenciadas por tempestades.
	Formação Irati	Folhetos, dolomitos, calcários e siltitos / Laminação paralela, cruzada e marcas de ondas / Marinho de águas calmas e rasas.

#### 5.4. Geomorfologia

Segundo Almeida (1964), a área de estudo encontra-se quase integralmente na Província da Depressão Periférica, estando, porém, uma porção da mesma encravada nas Cuestas Basálticas. Apresenta colinas com altitudes que variam de 550 a 650 m, contudo ocorrem áreas com altitudes superiores a 1000 m, podendo a diferença entre a área serrana e a baixa atingir os 400 m. Nas bordas ocidentais estão as escarpas e festões das cuestas arenito-basálticas, áreas de altas declividades e drenagem densa e entalhada, representando algumas formas de relevo residuais, como o Morro do Bizigueli, Morro da Guarita (CORVALÁN, 2005). A Figura 20 apresenta uma vista panorâmica do relevo da área de estudo.

A distribuição das unidades de relevo na área de estudo ocorre conforme a Figura 19. As mesmas serão descritas a seguir, segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo elaborado pelo IPT (1981).

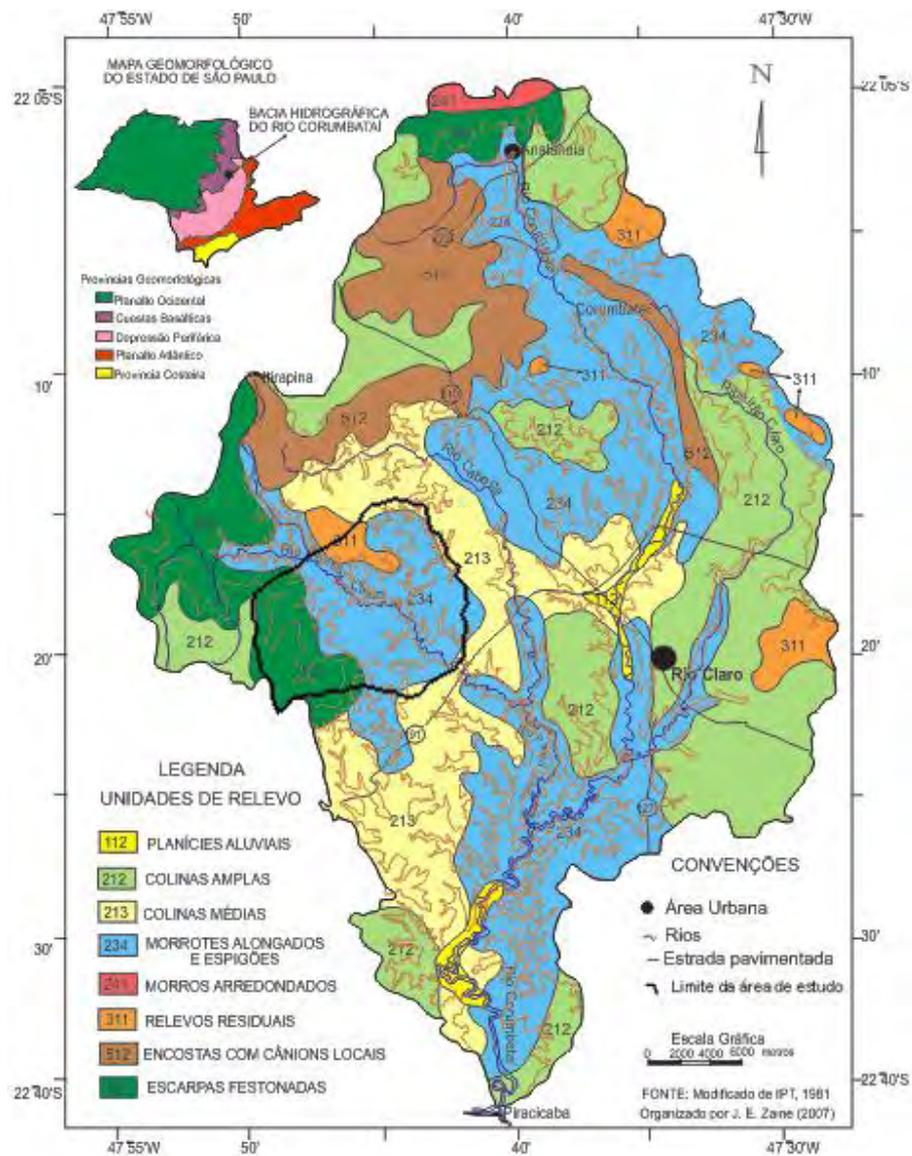


Figura 19 - Mapa geomorfológico regional. Fonte: Zaine e Zaine, 2009.

As *Colinas Amplas* ocorrem de forma restrita na porção norte e sul da área de estudo, associadas a Formação Pirambóia. São caracterizadas por declividades baixas, de até 15 %, apresentando interflúvios com áreas superiores a 4 km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes de perfis convexos e retilíneos, drenagem de baixa densidade, padrão sub-dendrítico, com vales abertos e fechados, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagos perenes ou intermitentes.

As *Colinas Médias* ocorrem de forma restrita na área de estudo, apenas na porção Oeste, associado a Formação Irati. Possuem baixas declividades, de até 15% com áreas de 1 a 4 km<sup>2</sup>, topos aplainados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, drenagem de media a baixa

densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Os *Morrotes Alongados e Espigões* ocorrem de forma extensa no centro da área de estudo, associada às Formações Pirambóia, Rio Claro e Corumbataí. Esta unidade geomorfológica possui declividades médias a altas predominantes, acima de 15%, com interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos e drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados.

As *Escarpas Festonadas* encontram-se na porção Oeste da área de estudo, associado às Formações Serra Geral, Botucatu e Irati. São áreas desfeitas em anfiteatros separados por espigões, com topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, vales fechados e drenagem de alta densidade, de padrão subparalelo a dendrítico.

Na área de estudo, as *Mesas Basálticas* correspondem a porção Noroeste, associadas às Formações Serra Geral, Botucatu e Irati. Possui morros testemunhos isolados, com topos aplainados a arredondados, vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rocha e vales, drenagem de media densidade, padrão pinulado e subparalelo e vales fechados.



Figura 20 - Vista panorâmica do relevo da área de estudo.

### 5.5. Pedologia

Na área de abrangência da Bacia do Rio Passa Cinco predominam os solos podzólicos vermelho-amarelo, seguido pelo latossolo vermelho-amarelo, litólico e areias quartzosas, sendo os demais terra roxa estruturada, plintossolo, latossolo roxo e latossolo vermelho escuro, de pequena expressão na região (OLIVEIRA et al, 1981 apud CORVALÁN, 2005), conforme pode-se observar na Figura 21.

O solo podzólico vermelho-amarelo tem a fração areia dominante, o que induz a rápida infiltração das águas pluviais, o que é facilitado nas pequenas declividades. O latossolo roxo está ligado a áreas de ocorrência de sills e diques de diabásio. O latossolo vermelho-amarelo e o latossolo vermelho escuro são, predominantemente, de textura arenosa, bem drenados e muito lixiviados, com grande infiltração e pobres em matéria orgânica.

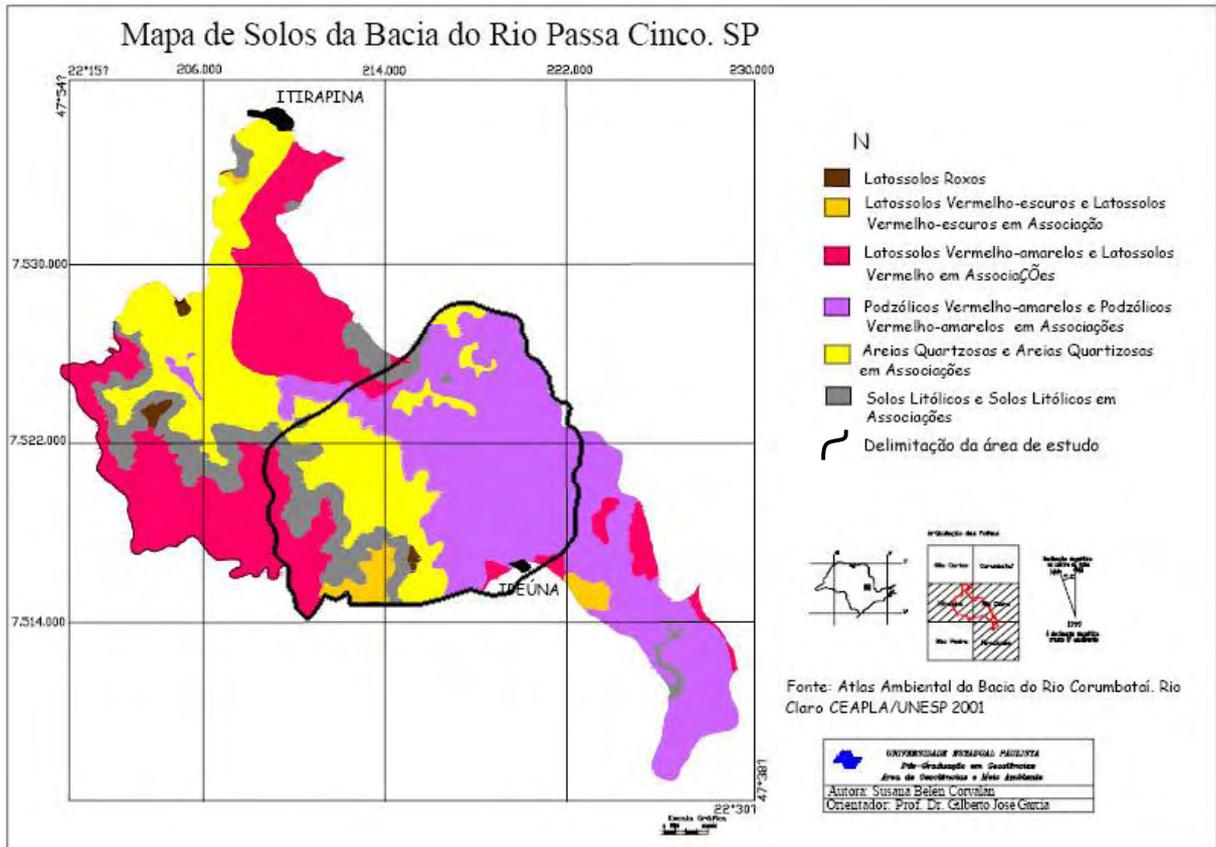


Figura 21 - Mapa de Solos da Bacia do Rio Passa Cinco (adaptado de Corvalán, 2005).

Os plintossolos são solos poucos profundos, com um horizonte A sobre concreções endurecidas e restos de rocha alterada, originados de sedimentos argilosos e estão relacionados ao alto da Serra de Itaqueri.

Os solos litólicos ocupam áreas pequenas e estão, geralmente, associados a solos podzólicos; caracterizam-se pela pequena espessura do *solum* (< 40 cm) e ausência ou espessura muito pequena de horizonte diagnóstico de subsuperfície, o que os tornam bastante limitados para a atividade agrícola e agravados, ainda mais, pela ocorrência principalmente em faixas de relevo acidentado.

As areias quartzosas formam solos profundos com material original arenoso e perfil constituído por um horizonte A fraco ou moderado, sobre regolito inconsolidado. Por isso, são

solos muito arenosos e pobres, limitando, assim, a sua utilização para agricultura. Os solos terra roxa estruturada derivam de rochas básicas e apresentam um horizonte B textural, ocorrendo, geralmente, em áreas de relevo íngreme, como no caso da Serra de Itaqueri, onde afloram basaltos da Formação Serra Geral.

## 5.6. Uso e Ocupação do Solo

Segundo o mapa de uso e ocupação do Solo de Corvalán (2005) (Figura 22), a atividade que determina o uso de quase toda a área de estudo é a pastagem, seguida da cultura de cana-de-açúcar.

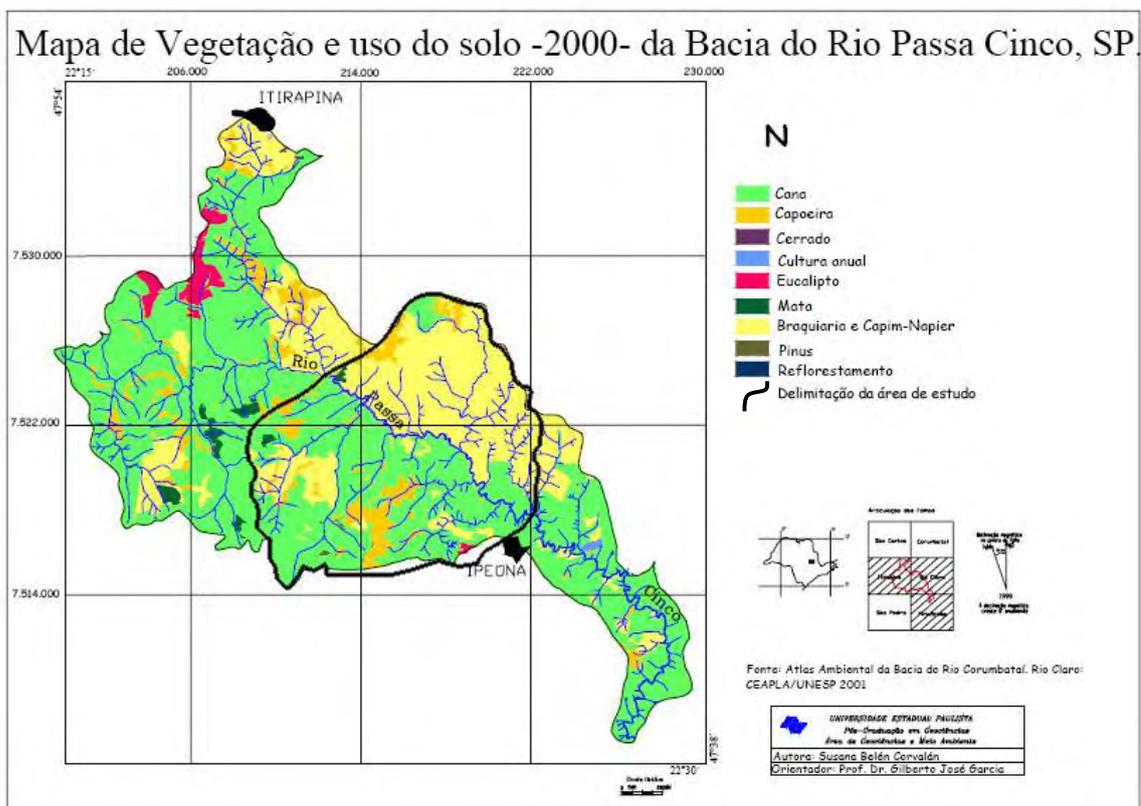


Figura 22 -Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do rio Passa Cinco (adaptado de Corvalán, 2005).

Encontram-se também porções de floresta nativa, ocupando áreas de relevo acidentado e de difícil acesso como morros testemunhos e cuevas basálticas, ou acompanhando corpos d'água (CORVALÁN, 2005). Estas formações vegetais apresentam-se em fragmentos isolados de mata de encosta, mata ciliar, cerradão, cerrado, campos sujos, várzeas e capoeiras (RODRIGUES, 1991 apud CORVALÁN, 2005).

Existe ainda uma pequena porção de floresta plantada, indicativo da atuação da indústria de celulose (NOBRE, 2008).

Na porção sudeste da área de estudo encontra-se a malha urbana do município de Ipeúna, incluindo algumas áreas de ocupação urbana consolidada como loteamentos recém implantados.

### **5.7. Clima**

O clima, segundo a classificação de Köppen, é temperado úmido com inverno seco, com temperatura média do mês mais quente inferior a 22°C (CWb) nos altos das serras e superior a 22°C (CWa) nas cotas mais baixas. A distribuição das chuvas ocorre numa sucessão de período chuvoso, que se estende de outubro a março, e outro seco, de abril a setembro. A passagem de um período para o outro se dá abruptamente. A região da serra de Itaqueri atinge uma média anual de 18°C enquanto nas regiões de menores cotas atinge média de aproximadamente 19,5°C.

As concentrações de chuvas na região ocorrem no verão, de dezembro a março, sendo o mês de janeiro historicamente o mais chuvoso. A precipitação média anual varia entre 1.450mm (região serrana) e 1.250mm (regiões de menores altitudes) (AMORIM, 2005). Mais especificamente, o município de Ipeúna possui uma média de 1.531mm de chuva (de 1961 a 1991), sendo 40% delas concentradas na estação do verão (RIBEIRO, 2006).

### **5.8. Erosão na área de estudo**

Segundo a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (1994), escala 1:500.000, grande parte da área de estudo enquadra-se como “Muito Alta Suscetibilidade a Erosão por sulcos, ravinas e boçorocas”. Nesta região, situada principalmente em áreas com ocorrência da Formação Pirambóia, os sulcos e ravinas são desenvolvidos a partir do simples desmatamento em cabeceiras de drenagem e de matas ciliares; da concentração do escoamento das águas superficiais em loteamentos e obras viárias sem as medidas de proteção adequadas; e do manejo agrícola não conservacionista. Em consequência a estes fenômenos erosivos, ocorre assoreamento intenso dos cursos e corpos d’água, principalmente nos de menor porte.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Diagnóstico dos processos erosivos da área de estudo

Durante as visitas a campo ficou evidente a relação entre o uso do solo e a ocorrência de erosão pluvial. Apesar das características naturais da área serem consideradas altamente condicionantes de erosão (alta declividade, solo arenoso, alto índice pluviométrico, etc.), as grandes feições erosivas estavam claramente associadas a uma atividade antrópica específica.

Pode-se dizer, ainda, que a maioria das erosões observadas em campo foram originadas por uma combinação de aspectos físicos e antrópicos e, na maioria das vezes, pôde-se afirmar qual deles foi crucial e dominante para o desencadeamento do processo erosivo em questão.

Foram observados inúmeros casos de erosão provocados pelo escoamento lateral em beira de estradas vicinais, sulcos e ravinas provocadas por trilhas de gado, ou ainda pelo mal dimensionamento de sistemas de drenagem. Em grande parte das áreas de plantação de cana-de-açúcar foram observadas práticas de manejo e conservação do solo, tais como o plantio em curvas de nível e terraços associados a bacias de retenção. Estas práticas provavelmente atenuaram a ocorrência de processos erosivos associados a atividade sucroalcooleira.

As Figuras 23 e 24 apresentam alguns exemplos de práticas conservacionistas em áreas de cana-de-açúcar encontradas em campo.



Figura 23 - Culturas de cana com adoção de práticas conservacionistas na área de estudo.



Figura 24 - Terraceamento agrícola em estrada rural cortando culturas de cana-de-açúcar.

Como pode-se observar, a cana da Figura 24 encontra-se em estágio inicial, logo após o plantio. Espera-se que nesta etapa da cultura encontrem-se os maiores focos erosivos, pois corresponde a etapa posterior ao momento do corte da cana, em que o solo permaneceu exposto e vulnerável a erosão. Ainda assim, pode-se observar na figura a ausência de processos erosivos lineares no entorno da área de cultivo de cana-de-açúcar, reafirmando a eficiência das práticas conservacionistas adotadas em áreas de cana.

Os principais tipos de feições erosivas observados na área serão descritos a seguir.

#### 6.1.1. Sulcos provocados por trilhas de gado

Os sulcos mais comuns observados em campo encontravam-se associados a trilhas de gado em meio às áreas de pasto. O pisoteio recorrente do gado por determinados locais gera trilhas nas quais a vegetação original do pasto é suprimida e a permeabilidade do solo é reduzida (PAISANI; OLIVEIRA, 2001, apud GIROLDO, 2009). O escoamento das águas pluviais por essas trilhas dá origem a sulcos erosivos que podem evoluir para pequenas ravinas. Nas áreas próximas aos corpos d'água o número de sulcos aumenta consideravelmente, formando áreas de barreiro.

Um bom exemplo desta situação encontrada na área de estudo está ilustrada na Figura 25, onde diversos sulcos são encontrados percorrendo uma vertente relativamente íngreme onde ocorre o solo arenoso da Formação Pirambóia. As condições naturais por si só induzem a erosão, que, neste caso, certamente foi acelerada pelo pisoteio recorrente do gado.



Figura 25 - Sulcos de trilha de gado na área de estudo. As setas indicam a localização dos sulcos mais significativos.

#### 6.1.2. Sulcos provocados pelo escoamento de água nas laterais das estradas

O escoamento das águas pluviais ao longo e nas laterais de estradas não pavimentadas provoca em alguns pontos, conforme registrado nos trabalhos de campo, a erosão na forma de sulcos de dimensões variadas.

Este tipo de fenômeno erosivo ocorre na grande maioria dos trechos de estradas vicinais associados a altas declividades. Estradas dentro de propriedades, que dão acesso a cursos d'água e reservatórios, apresentaram os mesmos problemas.

A Figura 26 ilustra um pequeno sulco em desenvolvimento pelo escoamento lateral da água de chuva fotografado na área de estudo.



Figura 26 - Exemplo de pequeno sulco em beira de estrada vicinal na área de estudo.

### 6.1.3. Sistemas de Drenagem

Em casos que o sistema de drenagem não conduza as águas pluviais para um destino final estável e adequado, ocorrem eventos erosivos de portes variados, sendo estes agravados em função da declividade, tipo de solo, entre outras características físicas do local de destino.

Em campo, observou-se alguns destes tipos de processos erosivos, sendo estes comumente de grandes dimensões e estágio evolutivo avançado, como é o caso da erosão ilustrada na Figura 27, localizada às margens de um loteamento recém-implantado próximo a cidade de Ipeúna, em alta declividade, alto comprimento de rampa, e solo arenoso. Devido a proximidade do loteamento (cerca de 100m), esta erosão confere um risco altíssimo a população vizinha. Em campo, foram observadas trincas nas proximidades do asfalto, reafirmando a instabilidade que esta feição confere a região. Segundo moradores do loteamento, a prefeitura de Ipeúna está tomando providências para conter o avanço deste processo erosivo através do aterramento da erosão. Na Figura 27 é possível observar a diferença de tonalidade do solo natural (linha vermelha) e do solo aterrado (linha amarela).



Figura 27 - Vista a montante de processo erosivo da área de estudo (Unidade 3 – Depósitos coluvionares cenozóicos) originado do descarte de água pluvial do sistema de drenagem de um loteamento em Ipeúna-SP. A seta indica a localização da galeria. A linha pontilhada vermelha corresponde ao solo natural, enquanto a amarela corresponde ao solo utilizado para o aterramento da erosão.

#### 6.1.4. Assoreamento e solapamento de margens fluviais

Os processos erosivos descritos, bem como as atividades antrópicas realizadas na área de estudo, foram em grande parte responsáveis pela ocorrência de diversos pontos de assoreamento dos cursos d'água. Muitos cursos d'água da área de estudo encontravam-se assoreados e com claros eventos de erosão fluvial.

### 6.2. Avaliação dos processos erosivos e proposta de controle para cada unidade

Como citado anteriormente, este trabalho foi desenvolvido em conjunto e é complementar ao Trabalho de Conclusão de Curso de Gisele Zoratto (2009), aluna do curso de Geologia do mesmo campus. Este teve como produto final um mapa de compartimentação do relevo da mesma área de estudo do presente trabalho em escala 1:50.000 (Anexo I). Assim, a área de estudo foi dividida em 10 unidades com propriedades homólogas (solo, relevo, geologia e uso do solo), as quais foram usadas como justificativa para a proposição de algumas medidas de caráter

preventivo, e outras corretivas para casos de risco instalado, ou seja, para processos erosivos já estabelecidos e em atividade localizados na unidade fisiográfica em questão.

Cabe destacar que os cortes de estradas rurais comumente não acompanham as características morfológicas do relevo, passam por áreas de diferentes declividades e comprimentos de rampa, em função dos locais em que a mesma pretende interligar. Sendo assim, sugere-se de forma geral, além do sistema de drenagem de águas pluviais adequado, que sejam implantados terraços associados a bacias de captação nas estradas rurais de todas as unidades fisiográficas, visto que a erosão em beiras de estradas vicinais é um dos tipos de erosão mais representativos da área de estudo. Áreas de alto declive, alto comprimento de rampa e/ou solo arenoso devem ser consideradas prioritárias para adoção destas obras.

#### 6.2.1. Unidade 1 - Planície Fluvial do rio Passa Cinco

Esta unidade foi caracterizada, segundo Zoratto (2009), como altamente suscetível a processos de erosão fluvial e assoreamento, sendo sua suscetibilidade a erosão linear acelerada considerada baixa. Desta forma, o controle de erosão para esta unidade deve estar focado na erosão fluvial e contenção dos processos de solapamento de margem. As Figuras 28 e 29 ilustram este tipo de situação encontrada na área de estudo.



Figura 28 - Assoreamento em trecho do ribeirão João Pinto na Unidade 10 – Corumbataí em colinas médias.



Figura 29 - – Solapamento de margem fluvial do ribeirão João Pinto.

Para evitar estes eventos, é imprescindível o comprimento do Código Florestal de 1965, em relação ao florestamento das Áreas de Preservação Permanente (APP) situadas nas margens dos cursos d'água. Para tanto, sugere-se o método de aterro compactado com estacas vivas, por se

tratar de uma técnica relativamente barata e de boa aplicabilidade que, ao mesmo tempo em que contém os eventos de erosão fluvial, evita o assoreamento através do desenvolvimento das estacas vivas de *Fícus gameleira*. Em relação ao assoreamento, o método em questão pode ser considerado corretivo, visto que uma das etapas para instalação desta técnica é o desassoreamento do corpo d'água.

O reflorestamento das APPs, em conjunto com a prevenção, o controle e a recuperação dos processos erosivos a montante, contribuirão para recuperar e evitar novos eventos de solapamento de margem e assoreamento nos corpos d'água da área de estudo.

#### 6.2.2. Unidade 2 – Depósitos de tálus

A esta unidade foi atribuída uma suscetibilidade média a erosão linear acelerada (ZORATTO, 2009). Apesar disso, esta área sugere uma atenção considerável devido a sua declividade acentuada, chegando a atingir valores de 50% (média de 35%).

Nesta unidade foram observados grandes movimentos de massa, além de alguns sulcos de trilhas de gado em áreas de pastagem, como pode ser observado na Figura 30.



Figura 30 - Sulcos de trilha de gado em área sem vegetação remanescente na Unidade 2 – Depósitos de tálus.

### 6.2.3. Unidade 3 - Depósitos coluvionares Cenozóicos

Grande parte desta unidade foi classificada segundo o Mapa de Aptidão Agrícola (UNESP, 2009) como inapta para todos os usos de solo, e regular para silvicultura. Em campo, observou-se que os agricultores da região respeitam esta aptidão agrícola, visto que grande parte desta unidade encontra-se recoberta de vegetações de médio e grande porte. Ainda assim, nas áreas de pastagem observou-se a presença de sulcos de trilha de gado.

Sendo assim, propõe-se que esta unidade seja integralmente revegetada com espécies nativas ou não, sendo este o meio mais proveitoso de se utilizar essas terras e evitar a erosão. Devido a sua regular aptidão agrícola para a silvicultura, deve-se atentar para os métodos conservacionistas de caráter edáfico, que através de modificações no sistema de cultivo, ajudam o estabelecimento da vegetação.

Esta unidade possui suscetibilidade a erosão linear acelerada mediana (ZORATTO, 2009). Quantos aos condicionantes a erosão desta unidade, destaca-se o comprimento de rampa, com valores médios de 600 m, chegando a 3 km, o que certamente induz a erosão. Em contra partida, a alta permeabilidade e profundidade do solo atenuam os eventos erosivos. Seus usos de solo são variados, com áreas de cana (Sudoeste), pastagem (Norte e Nordeste), além da cidade de Ipeúna (SP) na porção Sudeste, no contato da Formação Rio Claro com a Formação Corumbataí. Sendo assim, os métodos de controle de erosão propostos serão direcionados para cada tipo de uso do solo encontrado nesta unidade.

Em campo, foram observados eventos erosivos muito desenvolvidos, principalmente no contato com a Formação Corumbataí oriundos do sistema de drenagem da cidade de Ipeúna, e em beiras de estradas vicinais de altos declives e comprimentos de rampa. As Figuras 31 e 32 exemplificam a situação de um ravinamento em alto declive na Unidade 3. Provavelmente, o escoamento lateral em estrada vicinal conduziu as águas pluviais para o local de alto declive, de onde a feição erosiva se originou. Na Figura 32, pode-se observar o desenvolvimento lateral da mesma feição erosiva ilustrada na Figura 31.

As áreas de pastagem, localizadas no setor Norte da área, devem ser cuidadosamente manejadas visto que os altos comprimentos de rampa associados aos altos índices pluviométricos certamente agravarão os eventuais sulcos oriundos das trilhas de gado. Portanto, deve-se em caráter preventivo, evitar o peso excessivo do gado nos pastos, além de proceder o ressemeio periódico e, se possível, manter o pastoreio misto. Em áreas de pastagem com risco instalado, além das medidas já citadas, deve-se desfazer os sulcos erosivos com máquina agrícola ou, em

casos de ravinas de grande porte, instalar obras de reaterro destas feições. Dependendo do estágio evolutivo das erosões, evitando-se a passagem da água, de pessoas e animais pelos sulcos, este se recupera naturalmente. Sendo assim, como alternativa às obras de reaterro, em caráter corretivo, recomenda-se a drenagem das águas pluviais para locais estabilizados, bem como o cercamento da área afetada, de forma a evitar a entrada de pessoas e animais.



Figura 31 - Vista a montante de ravina de grandes proporções na Unidade 3 – Depósitos Coluvionares Cenozóicos. O traçado pontilhado corresponde ao curso da estrada vicinal.



Figura 32 - Vista a jusante, com destaque para o seu desenvolvimento lateral.

As culturas de cana de açúcar localizadas no setor Sul da área de estudo devem adotar todas as técnicas conservacionistas aplicáveis, com destaque para os terraços agrícolas devido a necessidade do parcelamento do alto comprimento de rampa. Em campo, observou-se que a grande maioria das culturas de cana-de-açúcar adotam diversos métodos de conservação do solo, entre eles o plantio em contorno e os terraços agrícolas. Possivelmente, a eficiência destes métodos, associado a alta permeabilidade e profundidade do solo, explica a ausência de focos erosivos representativos associados a áreas de plantação de cana da unidade 3.

Finalmente, na área urbana desta unidade, representada pela cidade e Ipeúna e novos loteamentos, deve-se ter um cuidado especial.

Em caráter preventivo, áreas de alta declividade ou alta suscetibilidade a erosão devem ser protegidas por lei através do Plano Diretor Municipal. Primeiramente, os sistemas de

drenagem de águas pluviais devem ser executados de forma criteriosa, prevendo a interligação das instalações nas áreas de montante e jusante, de forma a evitar a erosão no ponto final do sistema de drenagem. Adicionalmente, visando diminuir a velocidade do escoamento das águas pluviais, a disposição do arruamento deve seguir as curvas de nível, alternando-se as quadras de forma que as vias que seguem o sentido do declive não sejam contínuas.

Em áreas de risco instalado, deve-se proceder o reaterro imediato das feições erosivas, implantando sistemas de barramentos transversais ao sentido da erosão. Em casos que o reaterro não seja viável técnica ou economicamente, deve-se isolar a área afetada, evitando-se tanto a entrada da população vizinha, quanto o escoamento das águas pluviais no sulco através de um sistema de drenagem adequado.

#### 6.2.4. Unidade 4 – Itaqueri no reverso da cuesta

Esta unidade foi classificada por Zoratto (2009) como média suscetibilidade a processos de erosão linear acelerada. Em campo, observou-se a presença sulcos pouco desenvolvidos. Esta constatação pode ser atribuída ao uso do solo predominante da área, as culturas de cana-de-açúcar. Como já citado anteriormente, os agricultores da região adotam diversos tipos de métodos de conservação do solo, e a eficiência destes métodos é crucial para o desencadeamento ou não de um evento erosivo.

Desta forma, para esta unidade serão apenas sugeridos métodos de prevenção de erosão, em razão do alto comprimento de rampa e baixa profundidade do solo. Dentre eles podemos citar os atualmente adotados nas culturas de cana, como os terraços agrícolas, o plantio em contorno, métodos edáficos, entre outros.

#### 6.2.5. Unidade 5 – Basaltos em relevo escarpado

Os eventos associados a esta unidade são caracterizados por queda de blocos. Sendo este um evento de movimento de massa e não de erosão, o mesmo não é visto como objeto do presente estudo, e assim, cabe um estudo específico para propor as obras de controle desta unidade.

#### 6.2.6. Unidade 6 – Diabásio em morrotes alongados

A unidade 6 possui suscetibilidade média a ocorrência de erosão linear acelerada (ZORATTO, 2009). Quanto aos aspectos condicionantes da erosão, destacam-se o alto

comprimento de rampa que acentua a erosão, e a alta permeabilidade e profundidade do solo, que atenuam os processos erosivos. Quanto ao uso do solo, a cana-de-açúcar recobre praticamente toda a área relativa a esta unidade, motivo pelo qual não foram observados processos erosivos representativos na unidade 6. A Figura 33 apresenta um conjunto de processos erosivos aparentemente estabilizados devido a presença de vegetação na Unidade 6.



Figura 33 - Conjunto de processos erosivos na Unidade 6 – Diabásio em morrotes alongados.

Sendo assim, como exposto anteriormente, já que os agricultores sucroalcooleiros adotam todas as medidas de um manejo e conservação do solo adequado, serão apenas propostas medidas preventivas como o terraceamento agrícola, o plantio em contorno e os métodos edáficos. Adicionalmente, sugere-se que sejam mantidas as práticas conservacionistas nas culturas de cana-de-açúcar

#### 6.2.7. Unidade 7 – Arenito Botucatu na escarpa

Tal qual a Unidade 5 – Basaltos em relevo escarpado, esta unidade não é objeto do presente estudo devido aos eventos associados a ela serem caracterizados por queda de blocos, cabendo assim um estudo específico pra controle dos processos associados a esta unidade.

### 6.2.8. Unidade 8 – Pirambóia podzólico em meia encosta

A esta unidade foi atribuída uma suscetibilidade alta a eventos de erosão linear acelerada (ZORATTO, 2009). Sendo assim, as medidas de prevenção e correção devem ser adotadas com mais critério e urgência. Dentre os aspectos condicionantes que justificam esta alta suscetibilidade, encontram-se a alta declividade, associada ao solo podzólico. Quanto ao uso predominante do solo desta unidade, destacam-se as pastagens à direita do rio Passa Cinco, com algumas porções de cana-de-açúcar localizadas à esquerda do mesmo rio.



Figura 34 - Voçoroca em estágio avançado cortando a estrada vicinal.

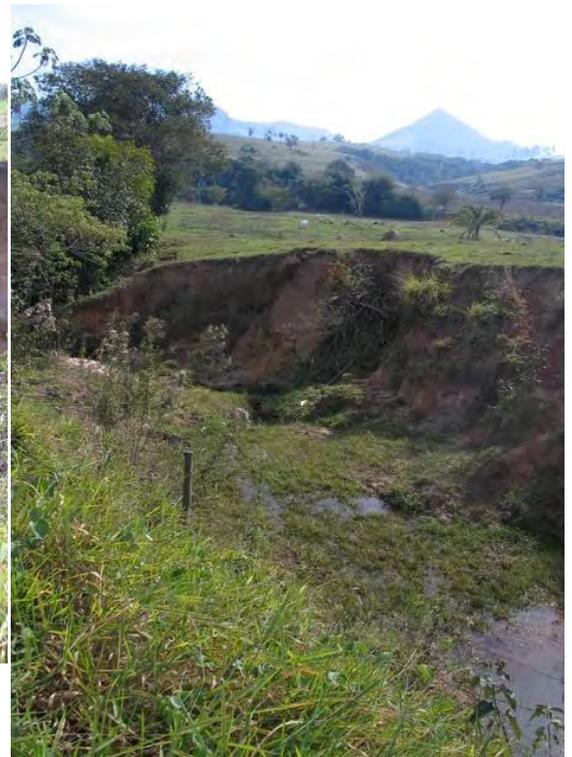


Figura 35 - Vista a jusante.

Nos contatos com as unidade 3 (Depósitos coluvionares cenozóicos) e 10 (Corumbataí em colinas médias) foram observados em campo vários eventos erosivos lineares, principalmente sulcos e ravinas que se desenvolvem encosta abaixo, geralmente potencializados pelas trilhas de gado. Uma voçoroca em estágio avançado também foi cadastrada, próxima a uma estrada vicinal a qual pode-se observar nas Figuras 34 e 35.

Devido às altas declividades, atingindo por vezes o valor de 50%, propõem-se o controle de erosão através dos métodos vegetativos. Em áreas com declive predominantemente mais baixo, as pastagens bem manejadas são ideais, visto que permite o aproveitamento financeiro do terreno ao mesmo tempo em que protege o solo contra eventos erosivos. Para tanto, deve-se sempre atentar para a capacidade de suporte do solo em relação ao peso do gado, providenciar o

ressemeio periódico, além de outras técnicas de manejo de pastagem citadas anteriormente. Em áreas de cana, sugere-se que se adote ou mesmo mantenha os métodos conservacionistas já existentes, evitando-se a adoção do terraceamento agrícola devido a inaplicabilidade deste tipo de técnica em áreas de declividade maior que 20%.

Em áreas de risco instalado, para esta unidade sugere-se a recuperação dos sulcos erosivos em caráter de urgência, devido o alto risco de que os mesmos evoluam para feições que demandem mais tempo e trabalho para sua recuperação. Os sistemas de drenagem são altamente recomendados tanto em caráter preventivo como corretivo, seguidos da instalação de obras de reaterro para recuperação dos sulcos mais profundos. É importante ainda que se impeça a entrada de pessoas e animais nestas áreas, através do cercamento da região afetada, ao menos até que os sulcos se recuperem.

Nesta unidade, em razão das altas declividades, deve-se sempre que possível evitar a implantação de estradas vicinais no sentido do declive. Em casos de estradas já estabelecidas, é imprescindível que sejam instalados sistemas de drenagem de águas pluviais em suas margens, além dos terraços associados a bacias de captação, sendo estas, técnicas que além de evitar a erosão, conferem segurança aos usuários da estrada.

#### 6.2.9. Unidade 9 – Pirambóia em morrotes e espigões

Tal qual a unidade 8, de mesmo contexto geológico (Fm. Pirambóia), a unidade 9 foi considerada altamente suscetível a processos de erosão linear acelerada (ZORATTO, 2009). Os condicionantes físicos desta unidade são os areias quartzosas associadas a um altíssimo comprimento de rampa, atingindo por vezes o valor de 2,4 km. As culturas de cana destacam-se como predominantes nesta unidade, apesar de existirem algumas áreas de pastagem e de vegetação remanescente.

Em campo, foram observadas feições erosivas lineares como sulcos e ravinamento principalmente associados a beiras de estradas vicinais e altos declives, como é o caso da Figura 36.

Nesta unidade, devido ao altíssimo comprimento de rampa, sugere-se em caráter preventivo a técnica de terraceamento, de forma a parcelar o comprimento de rampa e conseqüentemente, a velocidade da enxurrada. Eventualmente as bacias de captação podem ser adotadas juntamente com os terraços aproveitando-se a profundidade e permeabilidade medianas encontradas no solo desta unidade. Em áreas de pastagem, deve-se adotar rigorosamente os

critérios de manejo adequado de pastagem citados anteriormente, sendo importantíssimo que estas estejam permanentemente recobertas de vegetação rasteira.

Em casos de risco instalado, deve-se adotar o mesmo procedimento citado para a unidade 8 - Pirambóia podzólico em meia encosta: disciplinamento do fluxo d'água, cercamento e reaterro em caráter de urgência.

Quanto às estradas vicinais, a recomendação que se faz para esta unidade também é a mesma da unidade 8 - Pirambóia podzólico em meia encosta: adotar sistemas de drenagem de águas pluviais, terraços associados a bacias de captação, além de evitar a implantação de novas estradas vicinais no sentido do declive.



Figura 36 - Sulco em beira de estrada vicinal na Unidade 9 – Pirambóia em morrotes e espigões.

#### 6.2.10. Unidade 10 – Corumbataí em colinas médias

A unidade 10 foi classificada como medianamente suscetível a eventos de erosão linear acelerada. Seu contato com litologias superiores geralmente marca o início dos processos erosivos. Foram observados nesta unidade uma série de sulcos, com destaque para o evento erosivo ilustrado na Figura 37, originado de um sistema de drenagem mal dimensionado.

A erosão nesta unidade é certamente induzida pelo altíssimo comprimento de rampa, chegando a valores de 7 km. Em contrapartida, o solo podzólico raso não permite a evolução em profundidade destes processos, razão pela qual os eventos predominantemente observados nesta unidade são os sulcos.

Nesta unidade, o uso predominante do solo é a cana-de-açúcar nas cotas mais baixas, e as pastagens nas cotas mais altas.

Devido ao alto comprimento de rampa característico desta unidade, as pastagens devem ser muito bem manejadas para não induzirem o surgimento de sulcos de trilhas de gado. É sugerido ainda a implantação de terraços agrícolas com o objetivo de parcelar o alto comprimento de rampa característico desta unidade.



Figura 37 – Evento erosivo perpendicular a beira de estrada, possivelmente originado de um sistema de drenagem na Unidade 10 – Corumbataí em colinas médias. A seta e o círculo pontilhado indicam a localização da galeria ilustrada no detalhe.

Sobre as estradas vicinais, a recomendação que se faz para esta unidade é análoga a das unidades 8 (Pirambóia podzólico em meia encosta) e 9 (Pirambóia em morrotes e espigões): adotar sistemas de drenagem de águas pluviais e evitar a implantação de novas estradas vicinais no sentido do declive.

### 6.3. Fluxograma geral sobre gestão de áreas erodidas

Conforme citado anteriormente, os dados obtidos através da revisão bibliográfica foram organizados na forma de um fluxograma contendo orientações gerais, aplicáveis a qualquer

ambiente erodido, a respeito do controle e recuperação de erosão linear. Este encontra-se apresentado no Apêndice C.

Sobre este fluxograma, cabem algumas considerações.

Por ser um fluxograma geral sobre controle de erosão linear, este não contempla nenhum dos métodos preventivos apresentados anteriormente, sendo estes entendidos como práticas que devem ser adotadas em qualquer ambiente conhecidamente suscetível a erosão, ou mesmo em qualquer área urbana em expansão. Sendo assim, este fluxograma aplica-se apenas em casos de risco instalado.

As fases da tomada de decisão acerca do melhor método de controle aplicável foram divididas em:

#### 6.3.1. Avaliação Preliminar / Estágio evolutivo da feição

Este é considerado o fator primordial a ser observado caso a caso, pois cada estágio da evolução de um processo erosivo demanda um método de controle específico. Naturalmente, quanto maior o estágio evolutivo da feição, mais complexos e mais onerosos se tornam os métodos de controle.

Assim, pode-se observar no fluxograma (Apêndice C) que a gestão de sulcos é graficamente mais simples que a gestão de ravinas ou voçorocas. De forma geral, em se tratando de sulcos, sugere-se que se desfaça os mesmos com máquina agrícola. Já para as ravinas, é sugerido previamente o disciplinamento do fluxo d'água, e, em função das características específicas do local que se pretende intervir, os métodos vegetativos associados ou não aos edáficos, e por vezes, os mecânicos. Já para as voçorocas, algumas medidas devem ser tomadas independente das fases de decisão posteriores, pois a criticidade deste tipo de erosão demanda algumas ações para impedir a evolução geométrica do mesmo, tais como o isolamento da feição através de cercamento, proteção das cabeceiras de drenagem através de revegetação e o disciplinamento do fluxo d'água superficial e subsuperficial.

#### 6.3.2. Objetivo do controle

Este deve ser muito claro antes de se escolher o método de controle de erosão. Esta fase do fluxograma apresenta o questionamento sobre a relação entre o benefício de se recuperar a erosão e os custos que demandam esta recuperação, já que estes comumente são onerosos e demandam tempo de instalação e monitoramento. Em linhas gerais, o uso futuro da área erodida

deve compensar o investimento para se recuperá-la, visto que em certos casos este custo pode ser mais elevado que o valor da terra (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008). Em casos de erosão urbana, em que comumente o valor do terreno é relevante, adotam-se atividades de recuperação do processo erosivo. Deve-se ainda considerar o risco que o processo erosivo oferece a sociedade, pois, em certos casos, a possibilidade de perdas de vidas humanas é iminente. Nestes casos, a recuperação da erosão é altamente recomendada através do reaterro. Se o uso futuro do terreno não compensar o investimento, e adicionalmente a erosão não implique nenhum tipo de risco a população vizinha, sugere-se apenas as medidas de estabilização do processo erosivo, sendo estas a revegetação com ou sem o auxílio dos geossintéticos e os terraços agrícolas.

#### 6.3.3. Avaliação das especificidades do local

Esta fase é imprescindível para que o método de controle escolhido seja eficiente, pois cada método possui especificidades técnicas que podem inviabilizar a implantação da obra de controle em questão. Sendo assim, deve-se ter conhecimento de algumas das circunstâncias práticas da implantação da obra escolhida, de forma a adaptá-la as condições locais. Naturalmente, deve-se ter conhecimento dos aspectos geológicos, geotécnicos e geomorfológicos do ambiente erodido, de forma a possibilitar a escolha do método de controle mais adequado.

Em relação aos métodos de controle propostos no presente trabalho, os terraços são indicados em ambiente rural associado a declividades menores que 20%. Quanto aos métodos de caráter edáfico, estes somente são sugeridos quando as condições para estabelecimento da vegetação são desfavoráveis, como por exemplo em áreas de solo pobre em nutrientes, em altas declividades, etc.

#### 6.3.4. Monitoramento

Esta fase compreende o momento posterior a implantação das obras, em que são necessárias visitas periódicas de forma que se ateste a eficiência do projeto. Eventualmente devem ser adotadas medidas complementares ou mesmo reparos às instalações inicialmente implantadas.

Logo após a instalação das obras, o monitoramento deve ser feito com uma frequência alta, principalmente após eventos chuvosos, que tendem a instabilizar o processo erosivo e, com ele, as obras de controle. Conforme as obras se tornem estáveis e eficientes no controle de erosão,

a frequência das visitas à área pode diminuir consideravelmente, até o momento em que a mesma se auto-sustente e o monitoramento não é mais necessário.

## 7. CONCLUSÕES

A diversidade dos métodos de controle propostos no presente trabalho demonstra a importância do controle de erosão criterioso, respeitando as características físicas intrínsecas da região que se pretende intervir.

A área de estudo pode ser considerada, em larga escala, como altamente suscetível a processos erosivos, como foi constatado através de sua classificação segundo a Carta Geotécnica do Estado de São Paulo (IPT, 1994).

Quanto aos métodos de combate à erosão propostos, dentre as 8 unidades analisadas, 5 receberam o controle através de um método vegetativo, 1 através do método de aterro compactado com estacas vivas, 3 através dos métodos do disciplinamento do fluxo d'água, 3 através do reaterro, 4 através de práticas mecânicas (terraços), 2 através de práticas de caráter edáfico. Ressalta-se o fato de que, na maioria das vezes, para cada unidade foi sugerido um controle de erosão integrado, referente a mais de um método ou atividade de controle de erosão, já que comumente foram observados mais de um aspecto condicionante.

Tabela 3 – Abrangência dos métodos de controle aplicados para cada unidade fisiográfica.

<b>Unidades/Controles</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Vegetativos</b>	X	X	X			X		X
<b>Disciplinamento do fluxo d'água</b>			X			X	X	
<b>Mecânicos</b>				X	X		X	X
<b>Edáficos</b>				X	X			
<b>Reaterro</b>			X			X	X	
<b>Aterro compactado + estacas vivas</b>	X							

Através da Tabela 3 é possível afirmar que, na área de estudo, os métodos vegetativos encontraram grande aplicabilidade, seguido das práticas de caráter mecânico, o disciplinamento do fluxo d'água e o reaterro.

Sobre as unidades fisiográficas, constatou-se que a Formação Pirambóia está comumente associada a altas suscetibilidades a erosão, juntamente a Unidade 2 – Depósitos de tálus, devido sua alta declividade.

### **7.1. Propostas para futuros trabalhos**

Como proposta para futuros trabalhos dentro da temática de controle de erosão, sugere-se um teste de aplicabilidade dos métodos de controle sugeridos em larga escala, seguido de uma discussão sobre a eficiência ou não de cada método de controle aplicado sobre determinadas características físicas do terreno (solo, relevo, geologia e uso do solo). Após confirmada a eficiência dos métodos de controle, sugere-se ainda que seja feita uma análise de custo/benefício da aplicação destes métodos, estimando-se as perdas financeiras e sociais advindas da erosão em comparação com os custos financeiros da implantação e manutenção das obras de controle de erosão propostas.

Sugere-se ainda uma discussão acerca dos critérios de dimensionamento das obras de controle de erosão citadas no presente trabalho, com uma possível implantação em campo seguindo estes diferentes critérios de dimensionamento, de forma que se ateste a importância do dimensionamento de obras mecânicas no controle de erosão.

Sobre as unidades 5 – Basaltos em relevo escarpado e 7 - Arenito Botucatu na escarpa, propõe-se um estudo específico sobre o controle dos movimentos de massa característicos destas unidades.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA FILHO, G. S.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. Erosão: Diagnóstico, prognóstico e formas de Controle. In: Simpósio nacional de Controle de Erosão, VII, 2001, Goiânia. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.
- ALMEIDA, F. F. M. de. *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1964. Transcrito de "Geologia do Estado de São Paulo", boletim nº 41.
- AMORIM, G.M. *Construção de um sistema de informações georeferenciadas sobre geoturismo na bacia hidrográfica do rio Corumbataí-SP*. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- BANDEIRA, A. A. *Evolução do processo erosivo na margem direita do rio São Francisco e eficiência dos enroncamentos no controle da erosão*. 2005. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- BATHURST, R. J. *Funções dos geossintéticos*. [199-]. Disponível em: <<http://www.igsbrasil.org.br/pdf/Fun%E7%F5es%20dos%20Geossint%E9ticos.pdf>>. Acesso em: 14 de Nov de 2009.
- BERTONI, J. E. ; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 6 ed. São Paulo: Editora Ícone, 2008. 355 p.
- CARDOSO NETO, A. *Sistemas urbanos de drenagem*. [199-]. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao\\_a\\_drenagem\\_urbana.pdf](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf)>. Acesso em: 14 de Nov de 2009.
- CASARIN, R. D. *Controle de erosão em estradas rurais não pavimentadas, utilizando sistema de terraceamento com gradiente associado a bacias de captação*. 2008. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- CORVALÁN, S. B. *Levantamento e caracterização dos atrativos naturais da bacia do rio Passa Cinco, através de geoprocessamento*. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

COSTA, G. C.; URASHIMA, D.C.; SILVA, A. E. F. S. Proteção de encostas e taludes contra erosão por meio de tela hexagonal com faixas de retenção: Um modelo conceitual. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA; IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1989. *Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas*. São Paulo: DAEE/IPT/Secretaria de Energia e Saneamento. 92 p.

FERREIRA, C. A. B.; FARIAS, R.; CARVALHO, J. C.; PALMEIRA, E. M. Técnica de baixo custo para controle e recuperação de ravinas e voçorocas com análise da influência de barramentos na estabilidade de taludes. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

FORTES, V. M.; SOUZA, C. M.; PIRES, F. R. Uso de tela vegetal no controle da erosão em taludes. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VII, 2001, Goiânia. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

GIROLDO, L. Bacias hidrográficas dos rios Jaguari e Jacaré: Formas erosivas associadas ao uso da terra. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

INFANTI J. N., FORNASARI F., N. *Processos de dinâmica superficial*. Geologia de Engenharia, A. M. S. Oliveira; S. N. A. Brito (eds), ABGE, São Paulo, SP, p. 243-269, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:1.000.000. v.2 (IPT. Séries Monografias).

JESUS, A. S. de; LOPES, L. M.; CARVALHO, J. C. de. Aspectos conceituais sobre erosão linear. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

MACEDO, E. S.; OGURA, S. T.; CANIL, K.; ALMEIDA FILHO, G. S.; GRAMANI, M. F.; SILVA, F. C.; CORSI, A. C.; MIRANDOLA, F. A. Modelos de fichas descritivas para áreas de risco de escorregamento, inundação e erosão. In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, I, 2004, Florianópolis. *Anais...*(CD-ROM).

MAGALHÃES, R. A. Erosão: definições, tipos e formas de controle. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VII, 2001, Goiânia. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

MODAELLI, S. D. de O.; SABBAG, E. G.; PRANDI, E. C.; FELIX, U. T.; CARNESSECA, L. F. Controle das erosões urbanas no estado de São Paulo. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

NAKAZAWA, V. A. *Carta geotécnica do Estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994. 3 Mapas, 9 Cartas. Escala 1:500.000. Acompanha uma legenda expandida.

NOBRE, M. F. *O zoneamento ecológico-econômico como instrumento de planejamento e gestão ambiental: Uma proposta para a bacia hidrográfica do rio Corumbataí (SP)*. 2008. 249 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

OLIVEIRA, T. A. de. *Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos: Subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP*. 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

PEREIRA, A. R. Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VII, 2001, Goiânia. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

PEREIRA, A. R.; PEREIRA, P. L. R. Como selecionar plantas para recuperação de áreas degradadas e controle de erosão. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009a, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

PEREIRA, A. R.; PEREIRA, P. L. R. Proteção e recuperação de margens de cursos d'água com técnicas de bioengenharia. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, VIII, 2009b, São Paulo. *Anais...*(CD-ROM). ABGE.

PITTON, A. S. *Plano diretor de Rio Claro e normas complementares*. Rio Claro: Prefeitura Municipal de Rio Claro, 2008. 314 p. Acompanha 25 mapas em DVD.

PROIN/CAPES; UNESP. *Processos de dinâmica superficial*. 1999. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html>>. Acesso em: 14 de Nov de 2009.

RIBEIRO, A. L. *Análise da sustentabilidade na bacia do rio Corumbataí (SP)*. 2006. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

RIDENTE JUNIOR, J. L. *Prevenção e controle da erosão urbana: bacia do córrego do Limoeiro e bacia do córrego do Cedro, municípios de Presidente Prudente e Álvares Machado, SP*. 2000. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SCARANCE, M. R. A. P. *Diretrizes para execução de investigações geológicas e geotécnicas voltadas para análise de estabilidade de encostas e taludes*. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

SENA, J. N. *O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão*. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

SILVA, A. F. da. *Mapeamento geotécnico e análise dos processos erosivos na bacia do córrego tuncum, São Pedro-SP, escala 1:10.000*. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

TAVARES, S. R. L. *Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228 p.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. *Atlas Ambiental da Bacia do rio Corumbataí*. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas/index.html>>. Acesso em: 15 set. 2009.

ZAINE, M.F.; ZAINE, J.E. Patrimônios naturais de Rio Claro (SP) e região. In: SARTI, A.C.; MUNDET I CERDAN, L. (Org). *Turismo e arqueologia: múltiplos olhares*. Piracicaba: Equilíbrio, 2009. p. 215-260.

ZORATTO, G. C. *Diagnóstico da suscetibilidade à erosão linear, fluvial e assoreamento em trecho da bacia do rio Passa Cinco, Ipeúna-SP*. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

## **APÊNDICE A - Tabela Síntese dos Resultados**

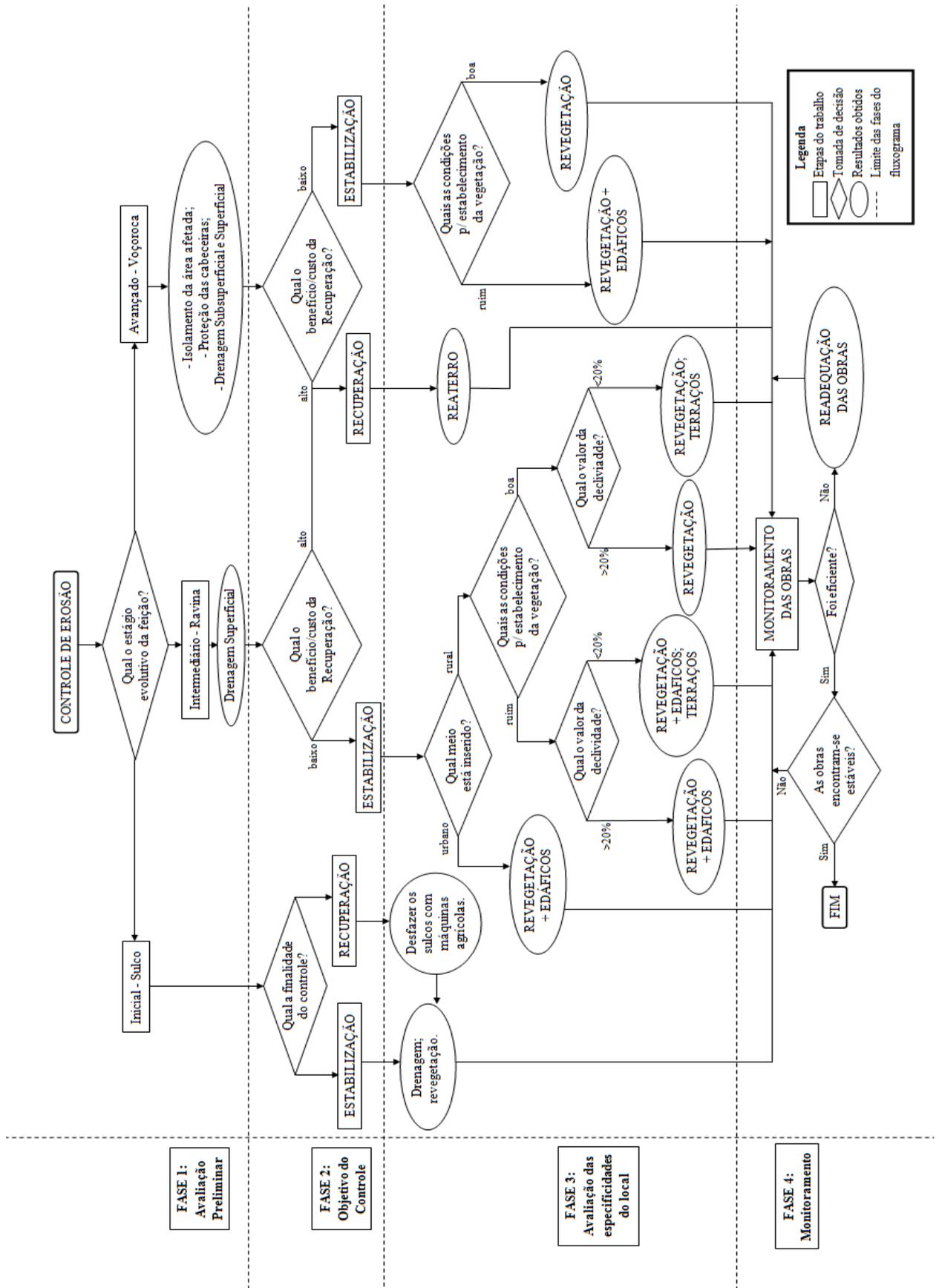
Unidades	Geologia			Geomorfologia			Pedologia			Antrópico		Resultados	
	Unidade Geológica	Unidade Geomorfológica	Amplitude Local (m)	Declividade (%)	Comprimento de rampa (km)	Tipo de Solo	Profundidade (m)	Permeabilidade	Uso do solo	Suscetibilidade a erosão	Controle Apropriado	Justificativa (Primária/Secundária)	
1	Depósitos recentes (fluvial)	Planície fluvial	40	0 a 5, até 10	0,4 a 4; média 1,6	Variado	-	Média	Cana; poucas pastagens	Alta - erosão fluvial	Reflorestamento (APP); Aterro compactado com estacas vivas	Erosão fluvial	
2	Depósitos recentes (tálus)	Escarpas festonadas e residual	80	15 a 35; 35 a 50	0,18 a 0,54; média 0,24	Variado	10	Média	Capoeira; Cana (SW), Pastagem (NW)	Média	Revegetação	Declividade/aptdão agrícola baixa	
3	Fm. Rio Claro	Colinas médias	30	0 a 10; até 30	0,1 a 3; média 0,6	Podzólico vermelho-amarelo	15	Alta	Cana (SW), Pastagem (N); Area Urbana	Média	Método vegetativo (pastagem), drenagem superficial e reaterro (área urbana)	Uso do solo/comprimento de rampa	
4	Fm. Itaqueri	Colinas amplas	55	5 a 15	0,37 a 1,1; média 0,55	Podzólico amarelo-cinza	1	Média	Cana	Média	Terraços e edáficos	Uso do solo	
6	Diabásio	Morrotes alongados e espigões	60	5 a 15	0,4 a 1,2; média 0,6	Latossolo vermelho	15	Alta	Cana	Média	Terraços e edáficos	Uso do solo	
8	Fm. Pirambóia	Colinas médias	80	20 a 40; até 50	0,18 a 0,41; média 0,28	Podzólico vermelho-amarelo	6	Média	Pastagem; Cana (esquerda do rio)	Alta	Métodos vegetativos; reaterro; drenagem superficial.	Declividade/uso do solo	
9	Fm. Pirambóia	Morrotes alongados e espigões	120	5 a 15; até 30	0,42 a 2,4; média 1,2	Areias Quartzosas	10	Média	Cana; pastagem e capoeira	Alta	Terraços + bacias de captação; reaterro; drenagem superficial;	Comprimento de rampa	
10	Fm. Corumbatai	Colinas médias	70	0 a 15; até 30	0,24 a 7; média 0,88	Podzólico vermelho-amarelo	2	Média	Cana (NW), Pastagem (SE)	Média	Método vegetativo (pastagem); terraços.	Comprimento de rampa/uso do solo.	

**APÊNDICE B - Ficha de Cadastro de Erosão**

Ponto de Localização:						Nº Foto:	
Tipo de Feição	Unidade Fisiográfica		Declividade (%)	Comprimento de rampa (m)	Características Geométricas		
	Nº	Nome					
Sulco					Largura (m)		
Ravina					Profundidade(m)		
Voçoroca					Comprimento (m)		

<b>Uso do Solo</b>	Antigo (Fonte):
	Atual:
	Arredores:
	Sistema de Drenagem, Rede de esgoto:
<b>Assoreamento</b>	Nome do Córrego:
	Características:
	Mata ciliar:
	Solapamento de Margem:
	Observações:
<b>Estabilidade</b>	Ativa:
	Presença de Vegetação:
	Previsão de Evolução:
<b>Obra de Controle</b>	Tipo de obra:
	Eficiência:
	Tempo de Implantação (Fonte):
<b>Observações</b>	Criticidade:
	Provável origem da feição:

**APÊNDICE C - Fluxograma geral sobre gestão de áreas erodidas**



**ANEXO A - Mapa Geológico-Geotécnico 1:50.000**

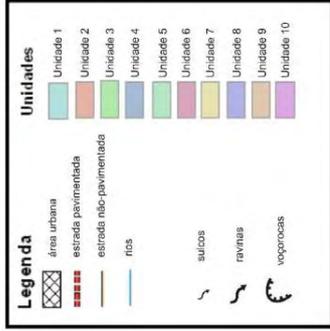
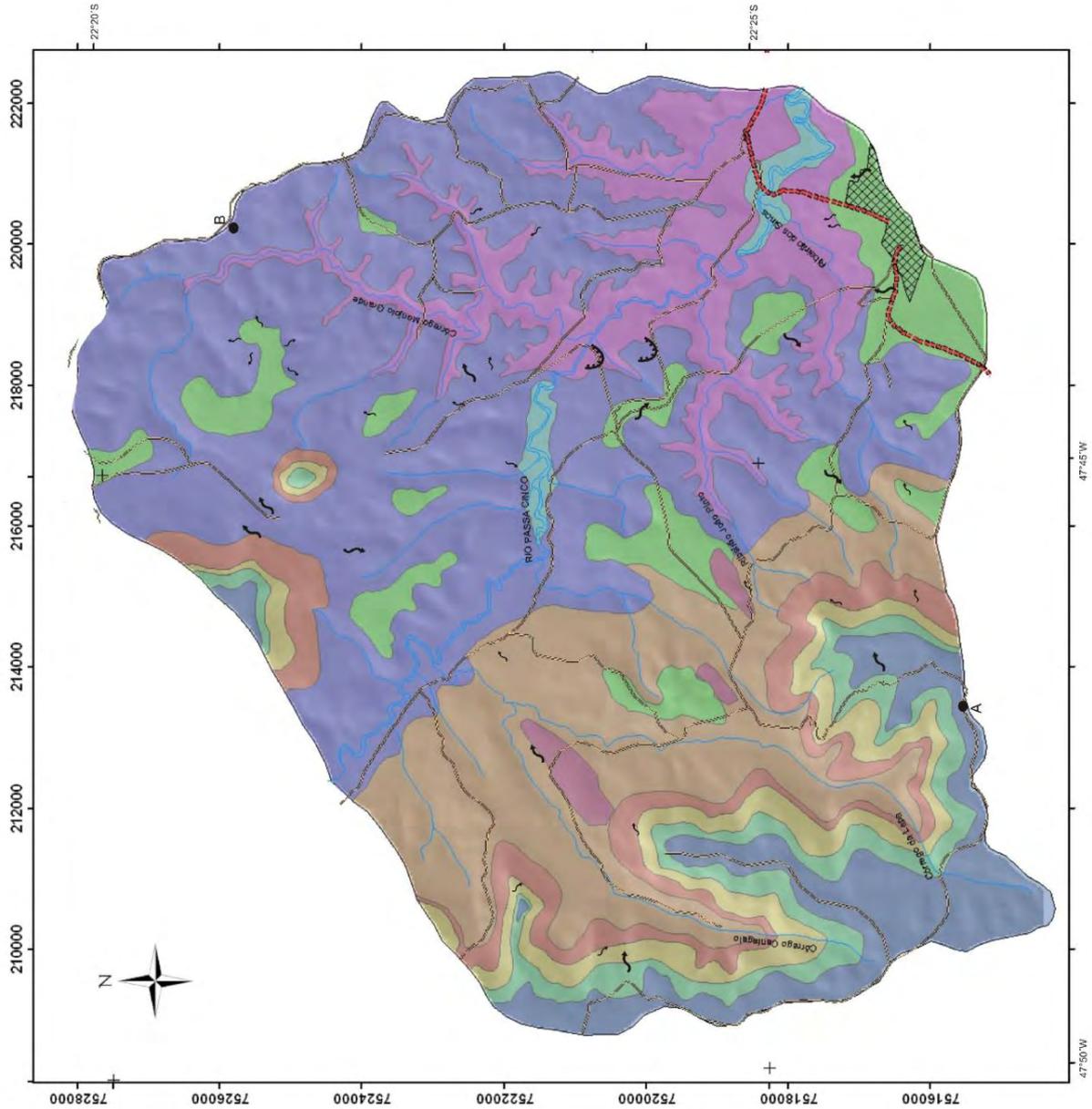


Tabela-síntese das Unidades



1:50.000

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Graduação em Geologia  
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

**DIAGNÓSTICO DA SUSCETIBILIDADE À  
EROSÃO LINEAR, FLUVIAL E ASSOREAMENTO  
EM TRECHO DA BACIA DO RIO PASSA CINCO, IPEÚNA-SP.**

Aluna: Gisele Cristina Zoratto  
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

ANEXO 1  
**MAPA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO**  
Escala 1:50.000

Rio Claro  
2009