

LEANDRO JOSÉ RIBEIRO GUIMARÃES

**LEVANTAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS AO ASSOREAMENTO DA
BARRAGEM PIRAQUARA I**

CURITIBA

2008

LEANDRO JOSÉ RIBEIRO GUIMARÃES

**LEVANTAMENTO DAS ÁREAS POTENCIAIS AO ASSOREAMENTO DA
BARRAGEM PIRAQUARA I**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Mestrado, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientação: Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos

CURITIBA

2008



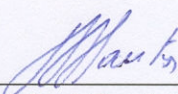
PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Geografia, reuniram-se para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **Leandro José Ribeiro Guimarães**, intitulada: “**Levantamento das áreas potenciais ao assoreamento da barragem Piraquara I**”, para obtenção do grau de **Mestre** em Geografia, do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **Espaço, Sociedade e Ambiente**.

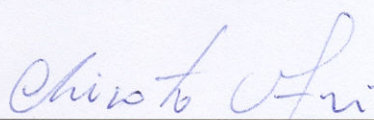
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de parecer pela **APROVAÇÃO** da Dissertação.

Curitiba, 01 de abril de 2008.

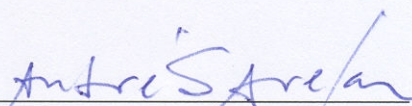
Nome e assinatura da Banca Examinadora:



Dr. Leonardo José Cordeiro Santos
(Orientador e Presidente da Banca)



Prof. Dra. Chisato Oka Fiori
UFPR



Prof. Dr. André de Souza Avelar
UFRJ

*Este trabalho é dedicado a todos aqueles que, de
maneira direta e indireta, ao longo destes anos,
colaboraram para a realização e a concretização
do mesmo.*

RESUMO

A barragem Piraquara I abastece parte considerável de Curitiba e Região Metropolitana. A tendência de crescimento da população a ser atendida por esta barragem indica a necessidade de preservação da qualidade da água distribuída a seus habitantes. As bacias hidrográficas que contribuem para a represa Piraquara I são naturalmente áreas-fonte de sedimentos, acentuando os potenciais processos de assoreamento do reservatório. Com base nisto, procurou-se levantar as principais áreas-fonte potenciais ao assoreamento na barragem Piraquara I. Em função de uma visão holística das bacias hidrográficas e das interações entre os processos físicos e humanos que a compreendem, a metodologia deste estudo procurou integrar as características pedológicas, do relevo e uso e ocupação do solo para o diagnóstico do potencial erosivo laminar. A partir de então foi realizado o cruzamento com os parâmetros morfométricos das bacias que mais contribuem com sedimentos (especificamente, com base nas análises de densidade de drenagem das bacias de 3ª ordem e superior), para o diagnóstico das potenciais áreas-fonte de sedimentos. Algumas áreas apontam para uma preocupação no sentido de preservação, em virtude do altíssimo e alto potencial ao assoreamento na barragem Piraquara I.

Palavras-chave: Piraquara I; erosão; assoreamento; barragem.

ABSTRACT

Piraquara I barrage supplies considerable part of Curitiba and its Metropolitan area. The tendency of population's growth supplied by water from this barrage shows the necessity of water's quality preservation. The tributaries rivers from these hydrographical basins of Piraquara I are naturally source-areas of silting to this barrage. Based on this fact, it was detected the main source-areas to silting process in Piraquara I. An integrated vision for understanding of hydrographical basins and the physical and human process associated, this work tried to integrate elements like declivity, pedology and the soil use and occupation diagnose different classes of potential laminar erosion. In sequence, it was realized morphometric analysis of the major tributaries basins that are potentially silting areas (specifically, based on analysis of the 3th order and superior's drainage density) in order to diagnose the potentially source-areas of silting. Some areas claims for the necessity of preservation, based on high potential levels of silting in Piraquara I.

Key-words: Piraquara I; erosion; silting; barrage

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo.....	13
PRANCHA 1 – Barragem Piraquara I.....	15
Figura 2 - Mapa-planialtimétrico.....	43
Figura 3 - Tela do AutoCAD com <i>raster</i> da barragem.....	44
Quadro 1- Graus de declividade e tipos de solo associados.....	45
Quadro 2 - Medições da estipulação do limite de declividade para Gleissolos	46
Quadro 3 - Classes de erodibilidade.....	47
Quadro 4 – Classes adotadas pelo cruzamento dos mapas de erodibilidade com declividade.....	48
Quadro 5 – Classes adotadas para o mapa de cobertura vegetal e uso do solo	50
Quadro 6 – Cruzamento de classes para o mapa potencial à erosão laminar	50
Figura 4 – Ordem hierárquica dos rios	51
Figura 5 – Áreas das bacias de terceira ordem e superiores da represa Piraquara I.....	52
Figura 6 - Esquema das etapas metodológicas	55
Gráfico 1 - Distribuição das declividades.....	56
Figura 7 – Mapa de declividade	57
Figura 8 – Mapa pedológico potencial com classes de erodibilidade	58
Gráfico 2 - distribuição das classes de erodibilidade (em %)......	59
Figura 9 – Mapa de suscetibilidade à erosão laminar.....	60
Gráfico 3 - Distribuição das áreas de classes de suscetibilidade à erosão laminar (em %)......	61
Figura 10 – Cobertura vegetal original na porção sul da barragem do Cayuguava.....	62
Figura 11 – Mapa de cobertura vegetal e uso do solo (com classes).....	63
PRANCHA 2 - Exemplos de ocupações e paisagens na barragem Piraquara I	64
Figura 12 – invasão de samambaias e bambus (efeito de borda)	65
Figura 13 – Mapa de potencialidade à erosão laminar	66
Gráfico 4 - Distribuição das áreas de classes de potencialidade à erosão laminar (em %)......	67
Quadro 7 - Dados morfométricos gerais da área de estudo.....	68
Quadro 8 – Extensão das bacias de terceira ordem e superiores	69
Quadro 9 – Extensão dos canais das bacias de terceira ordem e superiores	70
Quadro 10 – Densidades de drenagem das bacias de terceira ordem e superiores.....	71

PRANCHA 3 - Vistas superiores da barragem e drenagens	73
Quadro 11 – Densidades hidrográficas das bacias de terceira ordem e superiores	74
Gráfico 5 - Distribuição das áreas potenciais ao assoreamento na barragem Piraquara I.....	75
Figura 14 - Mapa das áreas-fonte contribuidoras ao assoreamento na barragem Piraquara I..	76
Figura 15 - Início de erosão em sulcos próxima de drenagem	77
Figura 16 - Drenagem recipiente de sedimentos erosivos.....	78
PRANCHA 4 - Exemplos de feições erosivas encontradas	79

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 GESTÃO DE ÁGUAS E BACIAS HIDROGRÁFICAS	16
2.2 EROSÃO	19
2.2.1 Potencialidade à erosão laminar	23
2.4 ASSOREAMENTO	33
3 PROCEDIMENTOS EMPREGADOS	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

Estudos importantes na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) estão sendo desenvolvidos para definir a capacidade de abastecimento de água. Para Andreoli *et al.* (2000) a análise de alguns cenários de disponibilidade hídrica dos mananciais da RMC para os próximos 50 anos foram traçados. No cenário de manutenção da disponibilidade hídrica atual, os mananciais disponíveis serão suficientes até o ano 2050 para o crescimento mínimo populacional e até o ano de 2040 para o máximo. Em condições de ausência de programas efetivos de conservação, os mananciais acima referidos estariam esgotados entre os anos de 2030 e 2035 para o máximo crescimento populacional, e entre 2035 e 2040 para as projeções de mínimo crescimento populacional.

Em virtude do elevado aumento da população da Região Metropolitana de Curitiba, de acordo ainda com Andreoli *et al.* (2000), a demanda de água prevista para o ano de 2020 foi calculada em 12,74 m³/s. Assim, várias propostas e execuções de construções de barragens estão em andamento. A exploração de aquíferos também tem sido utilizada para minimizar os problemas na região. Uma outra opção - via poços tubulares, que podem minimizar o déficit da cidade - é representada pelo Aquífero Guabirota¹ e pelo Aquífero Karst². Estima-se que as camadas aquíferas do Guabirota, tenham capacidade para produzir até 2.160 m³/h o que, num regime de 16 h/dia de bombeamento, representa uma produção de aproximadamente 12.600.000 m³/ano. Com este volume, é possível abastecer uma população de aproximadamente 172.800 pessoas. O Aquífero Karst já abastece diversos municípios da RMC, por meio de poços cujas vazões variam de 10 a 200 m³/h, mas possui vazão explorável ou disponível de 15,35 m³/seg (Rosa Filho, 2002).

Projetar crescimento e demanda de água em cidades como Curitiba é tarefa cujos resultados são muito imprecisos. Os mananciais captados na Serra do Mar, da ordem de 120 L/s, foram suficientes para abastecer Curitiba até o ano de 1945; nessa época a população da cidade era de apenas 150.000 pessoas. Para admitir uma população de 5.800.000 habitantes no ano 2020, o índice de crescimento a partir de 1995 deve ficar restrito a 2,2%. Qualquer valor superior a este representará, sem dúvida, déficits no abastecimento de água da cidade.

¹ O Aquífero Guabirota é formado por pacotes argilo-siltosos com lentes arenosas situados sobre o embasamento cristalino. Abrange 900 km², em sua maior parte na porção leste/nordeste da cidade de Curitiba, estendendo-se também para os demais municípios da RMC (Rosa Filho, 2002).

² O Aquífero Karst é formado por estruturas criadas pela carstificação de rochas carbonáticas, resultando quase sempre em águas minerais alcalino-terrosas. Estas estruturas estanques são compartimentadas por diques de diabásio, filitos e quartzitos. Ocorre nos municípios situados ao Norte de Curitiba, desde Campo Largo até Bocaiúva do Sul, e mais ao norte, até a divisa com o Estado de São Paulo, numa área total de 2.800 km² (Rosa Filho, 2002).

Tornam-se imprescindíveis, por esta razão, a preservação dos mananciais de abastecimento de água da Região Metropolitana de Curitiba, sem os quais “a atual geração será responsável por uma histórica e imperdoável omissão” (ROSA FILHO, 1996, p.01).

Além do problema levantado nos parágrafos anteriores sobre a questão da disponibilidade hídrica, é de fundamental importância, também, a manutenção da qualidade das águas das barragens na região e, portanto, das fontes de abastecimento das mesmas, uma vez que a preservação dos mananciais garante não somente a quantidade (dentro de padrões controlados de crescimento populacional, como já foi citado), mas também a qualidade de suas águas.

O aporte de efluentes domésticos, agropastoris e industriais lançados sem tratamento adequado em corpos hídricos e a erosão causada pelas diversas formas degradantes de ocupação do solo, entre outros, são alguns dos responsáveis pela alteração das características físicas, químicas e biológicas dos rios e lagos, especialmente quando se tratam de mananciais de abastecimento público de água.

No caso da erosão decorrente de bacias hidrográficas enquanto áreas-fonte de sedimentos, esta dá origem a inúmeros mecanismos de assoreamento de reservatórios, fato que colabora tanto para a diminuição da quantidade como da qualidade dos recursos hídricos. Para autores como Oliveira (1994), em referência ao levantamento dos impactos causados ao meio ambiente levantados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), alguns dos principais problemas associados aos assoreamentos são: diminuição do armazenamento de água, colmatação total de pequenos lagos e açudes, destruição de habitats aquáticos, obstrução de canais de cursos d'água, elevação de turbidez, reduzindo o potencial de utilização da água e reduzindo a atividade de fotossíntese, queda da qualidade da água para o consumo humano, crescimento dos custos para o tratamento da água, veiculação de poluentes, tais como: fertilizantes, inseticidas, pesticidas, herbicidas, propagação de agentes transmissores de doenças, vírus e bactérias e obstrução de canais de irrigação e navegação.

Quase 50% da disponibilização da demanda de água da RMC (que é da ordem de 7200 L/s) provém de reservatórios localizados apenas no município de Piraquara, sendo que o reservatório Piraquara I abastece, sozinho, mais de 8% da população da RMC (PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRAQUARA, 2006). Assim, o estudo das áreas potenciais à deposição de sedimentos transportados pelas bacias por meio da erosão laminar na barragem Piraquara I é de suma importância, por ser este tipo de erosão o ponto de partida de todo o processo erosivo. A erosão laminar é raramente detectada nos estágios iniciais, quando o fluxo de água concentrado a partir da saturação do solo escorre e começa acelerar,

provocando o deslocamento das partículas do solo. Quando esses processos erosivos são identificados ainda no início, a recuperação das áreas ainda pode ser facilmente alcançada, ao evitar que o depósito de sedimentos (assoreamento) ocorra a partir do fluxo de transporte destas partículas pelas bacias hidrográficas, preservando e mantendo, assim, a quantidade e qualidade do abastecimento de água (GUERRA *et al.*, 1999).

1.1 OBJETIVOS

Geral

Consiste objetivo geral de estudo detectar as potenciais áreas-fonte ao assoreamento da Represa Piraquara I decorrentes da erosão laminar, por meio das análises morfométricas das principais bacias hidrográficas contribuintes.

Específicos

Para a detecção das áreas-fonte é necessário um diagnóstico profundo da região em estudo, a partir da elaboração e cruzamento de mapas plani-altimétrico, de declividade, de pedologia, de classes de erodibilidade, de suscetibilidade à erosão laminar, de cobertura vegetal e uso do solo, permitindo assim a detecção do potencial de erosão laminar.

São também objetivos específicos as análises morfométricas das principais bacias transportadoras dos sedimentos carregados pela erosão laminar e que, ao se depositarem, serão possíveis contribuidores para o assoreamento da represa.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Na área de estudo delimitada (figura 1) localizam-se os Mananciais da Serra, zona de transição entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista. As belezas naturais da região têm atraído inúmeros turistas para o local, em função dos mais variados locais de visitação, como o Morro do Canal, os caminhos no entorno da Barragem Piraquara I (figura 1) e a estrada do Carvalho. Alguns estudos, como os de Struminski (2006) já diagnosticaram erosões e processos de degradação ambiental originários do turismo local. Estes mesmos autores têm chamado a atenção a respeito das reivindicações da população de Piraquara para que medidas possam ser tomadas na região como atitudes compensatórias da construção da Barragem Piraquara II.

A ocupação do solo no município de Piraquara remonta à época da exploração do ouro na região dos Campos de Curitiba (século XVII), mais precisamente das lavras do Arraial Grande, fundado por mineradores bandeirantes, que originou o atual município de São José dos Pinhais e, deste, o de Piraquara.

Dados de 1731 apontam que o capitão Manuel Picam de Carvalho, minerador, fazendeiro e político paranaense, fundou um pequeno arraial - o Sítio de Piraquara, no Planalto de Curitiba.

A vinda de imigrantes europeus, principalmente italianos, em 1878, foi a base econômica da cidade, nas áreas da agricultura e pecuária. Foram estes que fundaram a Colônia Imperial de Santa Maria da Boca da Serra, hoje Nova Tirol. O município de Piraquara foi criado em 17 de janeiro de 1890, mas desmembrado de São José dos Pinhais em 29 de janeiro de janeiro de 1980 - sendo esta última data a de seu aniversário.

O centro urbano de Piraquara está fortemente ligado a um clã português. José Antonio de Sousa, no final do século XIX mudou-se para Piraquara, onde havia terras baratas e um local estratégico oferecido pelo transporte ferroviário entre Curitiba e os portos do Litoral, especialmente Antonina. Aproveitou o potencial hídrico da região para construir uma barragem para tocar um engenho de madeira (serraria), um de erva mate e um de geração de eletricidade.

A partir de 1903, utilizaram-se as águas dos rios da Serra do Mar no Município de Piraquara para o abastecimento de Curitiba. O resultado disso é a represa do Carvalho (Prancha I – foto 1), concluída em 1904 e com sistema completo em 1908, quando a água chegou até Curitiba após inúmeros testes.

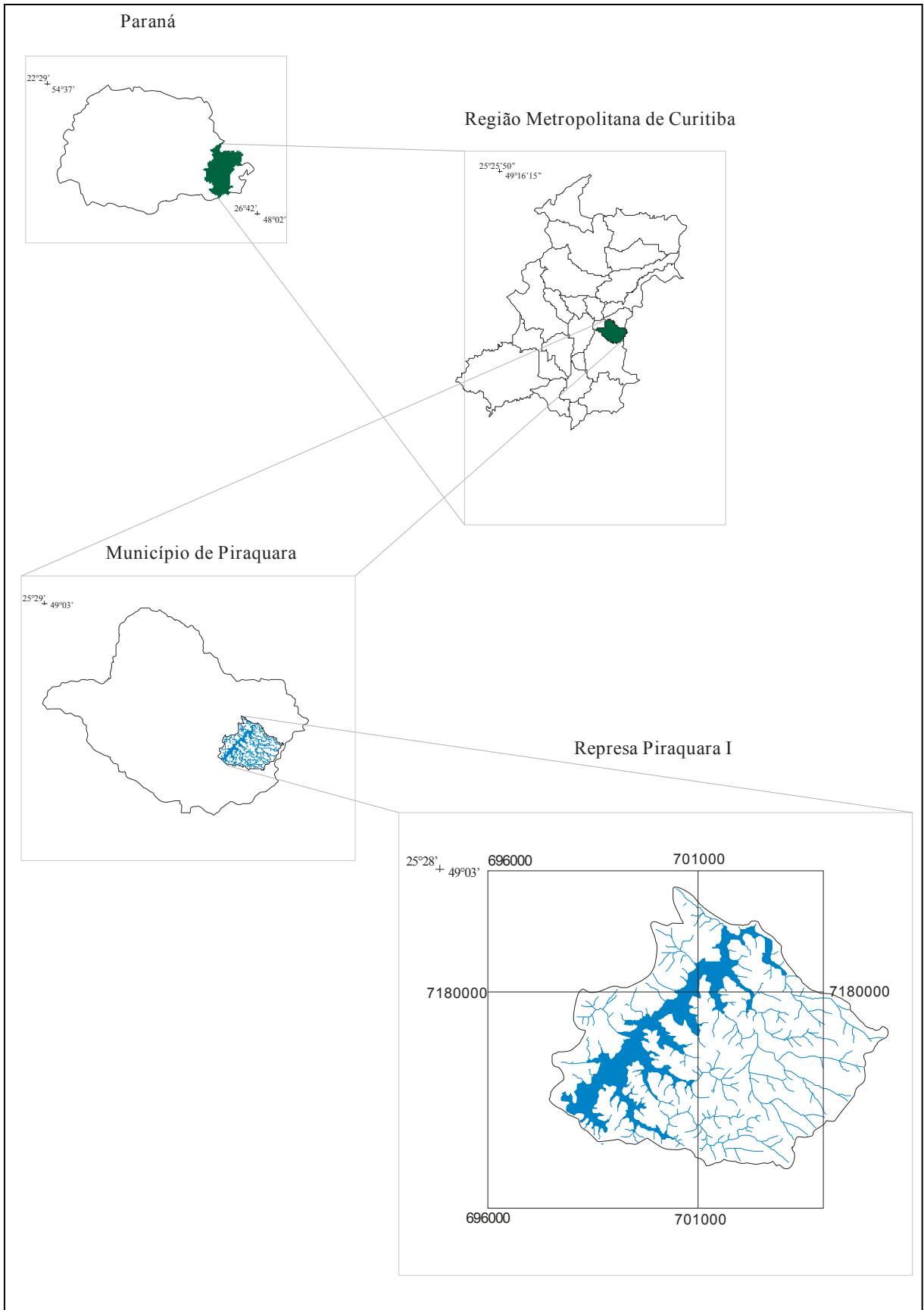


Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo
(Fonte: COMEC / Ministério da Defesa- elaborado pelo autor)

A Barragem Piraquara I teve seu início de construção em 1977 e foi concluída em 1979 tendo por base o projeto do Engenheiro Milder Kaiser, em obra executada pela construtora C. R. Almeida (Prancha I – fotos 2 e 3). Entretanto, já funcionava como abastecimento para a região de Piraquara e Curitiba desde 1908, como já citado. Portanto, o ano de 2008 marca de certa forma 100 anos de abastecimento da região. Já em 1929 podem ser observadas as implementações, como o aqueduto que da região partia em direção à Curitiba. Uma chaminé que funcionava como bombeamento da água foi inundada para as obras que configuram a Barragem Piraquara I com a delimitação com a qual se encontra na atualidade (Prancha I – fotos 4 e 5)

Piraquara I possui como rio principal o rio Cayuguava. Consiste em uma barragem de terra, apresentando 30 metros de altura sobre a fundação mais baixa. O volume desta barragem é de cerca de 500.10^3 m^3 em um reservatório cuja capacidade é de $23.000.10^3 \text{ m}^3$, apresentando vertedor livre cuja carga máxima é de $40 \text{ m}^3/\text{s}$. Sua área inundada, de acordo com a Prefeitura de Piraquara é de $3,3 \text{ km}^2$, proporcionando uma vazão reguladora de 600 L/s . As principais bacias contribuidoras da barragem são as bacias do Cayuguava, do Córrego Jardim, do Rio da Divisa, do Rio Melanço, do Ribeirão do Zero, do Rio Oeste N e Oeste S (a explicação sobre a nomenclatura destas duas últimas bacias será feita mais adiante).

Através do Decreto Estadual nº. 1754 de 02 de maio de 1996, foi instituída a Área de Proteção Ambiental do Piraquara, com o objetivo de proteger e conservar o meio ambiente, em especial a qualidade da água para fins de abastecimento público. Sua extensão apresenta-se equivalente a 40% da área municipal, ou aproximadamente 8.995 ha. Ela abrange as nascentes do rio Piraquara na Serra do Mar, até a rodovia do contorno Leste.

Piraquara é sem dúvida um dos municípios mais importantes da RMC, pois é dele que vertem as águas da Serra do Mar. Este município é merecedor das atenções político administrativas do Estado, que usufrui determinada porcentagem de *royalties* pelo fornecimento de água.

PRANCHA 1 – Barragem Piraquara I



Foto 1 - Reservatório do Carvalho
Autoria: Leandro Guimarães (2008)



Foto 2 - Construção da Barragem Piraquara I
Autoria: Sanepar (1977-78)

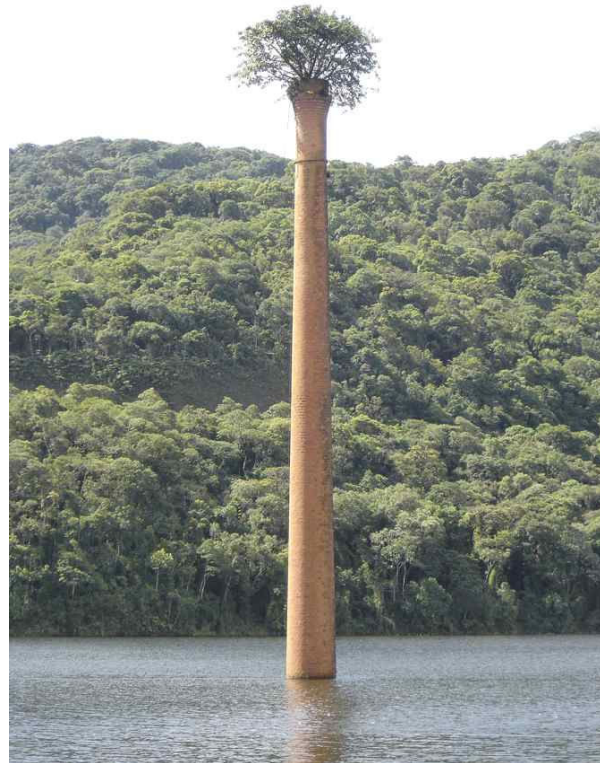


Foto 4 – Chaminé inundada atualmente
Autoria: Leandro Guimarães (2008)



Foto 3 – Construção da Barragem Piraquara I
Autoria: Sanepar (1977-78)



Foto 5 – Chaminé de bombeamento.
Autoria: Sanepar (data desconhecida)

2 REVISÃO DE LITERATURA

A partir da compreensão sistêmica das relações cíclicas entre energia e matéria na natureza, em geral, e das águas da terra, em particular, consiste de fundamental importância transcender o pensamento mecanicista ao sistêmico que sustenta não poder a totalidade de um sistema ser apreendida pelo estudo de suas partes, mas dentro do contexto do todo maior agindo e interagindo de forma integrada. Esta visão holística tem fundamentado a concepção deste estudo.

Dentro desta visão, grande parcela dos problemas de quantidade e qualidade de água (como o assoreamento de reservatórios) pode ser evitada ou, ainda, revertida de maneira eficaz por meio de ações que encaram a bacia hidrográfica como uma visão unitária, levando-se em consideração as suas características (como solo e declividade) e atividades antrópicas (como a agricultura e o reflorestamento) realizadas em sua área de abrangência. A gestão dos recursos hídricos deve se dar de forma integrada, compreendendo a utilização da água numa perspectiva de otimização de uso, no espaço e no tempo. Neste capítulo, portanto, serão vistos os conceitos e estudos dos principais elementos abordados neste trabalho a partir desta visão.

2.1 GESTÃO DE ÁGUAS E BACIAS HIDROGRÁFICAS

A bacia hidrográfica é definida como “uma área de captação da água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda água captada converge para um único ponto de saída, o exutório” (Karmann³, 2001, p. 116, in: HOPPEN, 2004).

A Lei 9.433⁴, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, conceitua bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Cap. I, art. 1º, inciso V). Portanto, agindo por meio de práticas de conservação de bacias hidrográficas, pretende-se proteger e restaurar a qualidade ambiental e os ecossistemas aquáticos. No capítulo 3º, art. 3º, incisos II e V da Lei de Recursos Hídricos compreende-se que o estudo da bacia hidrográfica não deve ser realizado com foco apenas nas questões hidrográficas, mas, sim, na “adequação da gestão de recursos hídricos às

³ KARMANN, I. Ciclo da água: água subterrânea e sua ação geológica. In: **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2001.

⁴ BRASIL. Lei de Recursos Hídricos, n. 9433. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L9433.htm> > Acesso em 16 jul. 2007.

diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais”, além da “articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo”.

Magrini e Santos⁵ (2001), citados por LIMA (2001), mencionam que houve mudanças radicais na concepção da gestão ambiental, com a aprovação da Lei 9.433, de 1997, que culminou com a criação da Agência Nacional das Águas – ANA, Lei 9.984⁶, de 2000, principalmente no rompimento do conceito de gestão vigente, calcado na divisão político-administrativa e na utilização de instrumentos de comando-controle.

Essa agência, diretamente vinculada ao Ministério de Meio Ambiente, possui autonomia administrativa e financeira e é responsável pela implementação dos instrumentos de ação para controle e regulação do uso dos recursos hídricos e do lançamento de poluentes que afetam os mesmos. A ANA a partir da lei citada anteriormente fundamenta-se ainda em alguns princípios básicos, tais como: adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos; reconhecimento da água como um recurso finito, vulnerável e um bem de valor econômico. Lima (2001) cita os mecanismos controladores associados, como a cobrança pelo seu uso e previsão de uma gestão descentralizada e participativa, com o deslocamento do poder de decisão para os níveis hierárquicos locais e regionais do governo, e a participação dos usuários, da sociedade civil organizada, das ONG's e outros agentes através dos Comitês de Bacias Hidrográficas.

Estes Comitês são verdadeiros fóruns de decisão regional, na escala da bacia hidrográfica. Consistem em uma gestão descentralizada e participativa, incluindo a sociedade civil no envolvimento das questões, a partir de um modelo gerencial (onde prevê a eleição de representantes pela sociedade, considerando aptos os representantes a captar os anseios da população, isentos de pressões corporativas) e regulatório. Neste, o governo funciona como um regulador entre os vários grupos que visam a provisão de seus próprios interesses. É o comitê quem arbitra, em primeira instância administrativa, os conflitos de usos da água, aprova o plano de recursos hídricos da bacia, acompanha sua execução e estabelece os mecanismos e valores de cobrança pelo uso da água, aprovando o plano de aplicação dos recursos arrecadados e autorizando, quando for pertinente, a aplicação fora da bacia de montantes que não excedam 15% do valor arrecadado (CASTRO, 2005).

⁵ MAGRINI, A. SANTOS, M. A. O modelo brasileiro de gerenciamento de recursos hídricos. In: **Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, Instituto Virtual de Mudanças Globais, 2001. Cap. 2.

⁶ BRASIL. Criação da Agência Nacional de Águas – ANA. Lei n.º 9984 de 17 de junho de 2000. MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2000.

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu (onde se localiza o município de Piraquara, local da área de estudo) foi efetivado em 12 de abril de 2006 com a aprovação do Plano de Bacia Hidrográfica (ou seja, a elaboração do Termo de Referência que, entre outras atribuições, solicita a elaboração de um diagnóstico para identificar potencialidades e necessidades da bacia. Esse estudo irá trazer informações como a qualidade de água da bacia, um balanço entre a demanda e a disponibilidade de água, recomendações para uso e ocupação do solo, entre outros aspectos e o valor da cobrança pelo direito de uso da água). Sua constituição é de 38 membros titulares e 38 suplentes que formam o Comitê e a sua área de abrangência conta com 20 municípios, que representam 30% da população paranaense e 33% do PIB do Estado (Paraná, 2006). A Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), no modelo de gestão estadual de recursos hídricos, deve tomar parte nos comitês de bacias hidrográficas.

De acordo com estudos de Miranda (2001), para um planejamento de ocupação futura de bacias, considerando aspectos de qualidade e quantidade, uma combinação entre as densidades populacionais de produção de cargas poluidoras com as densidades populacionais é recomendada em função da demanda de água. Este fator deve ser levado em consideração nas legislações de ordenamento territorial para futuras áreas de proteção de mananciais na bacia do Alto Iguaçu.

A mesma autora menciona cinco instrumentos utilizados para o gerenciamento das águas no país, com o objetivo de promover a gestão e o controle dos recursos hídricos, todos eles dependentes de bases sólidas de dados. No primeiro grupo, encontram-se o plano de recursos hídricos e o enquadramento dos corpos d'água que respondem pela gestão quantitativa e qualitativa da água. Desta maneira é fortalecida a relação entre a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente, a partir da formulação de metas de qualidade a serem alcançadas, tomando como base a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. No segundo grupo, estão a outorga e a cobrança, elementos relevantes de controle dos usos desses recursos hídricos. O quinto instrumento é o sistema nacional de informações, destinado a coletar, organizar, criticar e difundir a base de dados relativa aos recursos hídricos.

A efetiva execução de programas de controle de erosão e conservação de recursos hídricos pode ser encontrada, por exemplo, nos Programas de Microbacias Hidrográficas (Bertolini *et al.*⁷, 1993, in: MACHADO, 2002). Esses programas, em destaque aos

⁷ BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M.I. **Programa estadual de microbacias hidrográficas**. Campinas: CATI, 1993.

implantados na região sul do Brasil, vêm servindo de referência e de exemplo internacional de sucesso em agricultura conservacionista.

Levantamentos realizados por Dias *et al.* (2005) indicam que a erosão e o transporte de sedimentos em bacias hidrográficas é um fenômeno dinâmico sujeito a alterações diversas, das quais a ação antrópica exerce grande influência.

Segundo o mesmo autor, o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas em condições de corte raso da cobertura florestal, como é o caso de grande parte da bacia de contribuição da represa de Paraibuna, causa um aumento significativo do volume de vazão, redução do tempo de pico, aumento das áreas de saturação e conseqüente potencialização do escoamento superficial.

É importante ressaltar que as bacias hidrográficas apresentam uma elevada eficiência de produção de sedimentos e uma elevada taxa de Relação de Liberação de Sedimentos (RLS). As feições erosivas existentes estão conectadas às ações do escoamento superficial concentrado com escoamento subsuperficial (concentrado) de maneira que, mesmo em ausência de chuvas, o trabalho erosivo pode persistir por ação das descargas dos lençóis freáticos e de suas oscilações (OLIVEIRA, 1994). Fatores como a cobertura do solo e a erosão conseqüente interferem diretamente na carga sólida contribuinte ao processo de assoreamento que uma bacia hidrográfica pode sofrer.

2.2 EROSÃO

O termo erosão vem do latim *erodere* (escavar). A erosão do solo consiste na remoção das camadas superficiais do solo pelas ações do vento e da água. Envolve ainda um processo de destacamento e transporte de partículas por esses agentes (ARAÚJO, 2005). Vitte e Guerra (2004) afirmam que a erosão do solo é um dos principais impactos causados pela ação humana sobre o meio ambiente.

Os processos erosivos são extremamente preocupantes sob inúmeros aspectos. Alguns autores, como Machado (2002), associam erosão com a degradação dos recursos naturais, principalmente do solo e da água, que vem crescendo de forma alarmante nas últimas décadas, atingindo níveis críticos com reflexo na deterioração do meio ambiente. Outros exemplos do impacto dos processos erosivos podem ser vistos no assoreamento dos cursos e corpos d'água, com prejuízos para a saúde humana e animal; na destruição de estradas, de pontes e bueiros; comprometimento na geração de energia; na disponibilidade de água para

irrigação e abastecimento; na redução da produtividade agrícola e conseqüente diminuição da renda e empobrecimento da sociedade local.

Em um país predominantemente tropical como o Brasil, a chuva é a grande protagonista dos processos erosivos. Quando as gotas de chuva atingem o solo começa a chamada erosão por salpicamento, na qual os agregados se rompem e passam a preencher os poros da superfície do solo, selando-o e aumentando o escoamento das águas. Fatores como o teor de matéria orgânica, textura, densidade aparente, porosidade e estrutura do solo, bem como a forma das encostas, cobertura vegetal, erosividade da chuva e uso e manejo do solo influenciarão também na ruptura dos agregados, primeira etapa do processo erosivo (GUERRA *et al.*, 1999).

Os mesmos fatores que influenciam na ruptura dos agregados alteram a capacidade de infiltração da água no solo. Em uma tempestade as forças de capilaridade decrescem, decaindo as taxas de infiltração e saturando o solo. Outro fator referente ao processo de infiltração é a umidade do solo antes da chuva, pois caso seja maior, as poças se formarão mais rapidamente (GUERRA *et al.*, 1999).

Ao colidirem com a superfície do solo desnudo, as gotas de chuva rompem os agregados, reduzindo-os a partículas menores, passíveis de serem arrastadas pela força das enxurradas. Este tipo de desgaste é constatado em certos terrenos, mesmo quando possuem inclinações pequenas. À medida que a água começa a infiltrar no solo e saturá-lo, poças se formam na superfície, iniciando o escoamento superficial. A força de cisalhamento exercida pelo baixo transporte dá início à remoção de partículas pelo fluxo superficial. Começa a chamada erosão laminar. A força imposta por este fluxo ainda não é suficiente para realizar o transporte de partículas, que ocorre com o aumento do fluxo e aceleração da velocidade da água. Uma pequena incisão do solo começa a ocorrer, principalmente onde se concentra o fluxo de água. A erosão nesse estágio, de acordo com Guerra *et al.* (1999), ainda é localizada e envolve apenas o transporte individual dos grãos que compõem o solo, momento em que existem ainda grandes probabilidades de se recuperar a área atingida.

Diversos autores associam o termo erosão laminar ao escoamento em lençol superficial difuso, ou seja, não concentrado (Oliveira⁸, 1994, in: BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985) ou ainda em lençol (Oliveira⁹, 1994, in: GUERRA, 1978), e ainda superficial

⁸ OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios**. Exemplo do reservatório de Capivara, Rio Paranapanema, SP/PR. São Paulo, 1994, 204 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

⁹ *id.*

(Oliveira¹⁰, 1994, in: BIGARELLA e MAZUCHOWSKI, 1985). Apesar de muitas vezes corresponder a pequenos filetes interligados que não deixam registro no solo, a expressão laminar é comumente denominada na literatura (GUERRA, 2000).

A partir do processo de saturação do solo, o escoamento segue alguns padrões que podem divergir para certos autores. O tipo hortoniano, descrito por Horton¹¹ (1945, in: OLIVEIRA, 1994) baseia-se na suposição de uma lâmina regular escoando na vertente. Para Christofolletti¹² (1974), o escoamento ocorre por meio de filetes estreitos que quando anastomosados crescem com a continuidade da chuva por meio das enxurradas, termo este também utilizado para a denominação de escoamento superficial ou difuso, ou não concentrado, do tipo hortoniano (Costa *et al.*¹³, 1991, in: OLIVEIRA, 1994).

Portanto, podemos destacar que o termo “laminar” se refere ao escoamento laminar difuso, sendo que o mesmo não provoca incisões significativas no solo e não se desenvolve de forma regular em uma vertente (Evans¹⁴, 1986, in: OLIVEIRA, 1994). O perigo deste tipo de erosão é que, por ser uma forma de erosão bastante difícil de ser observada, pode permanecer, às vezes, por muitos anos à vista sem que se perceba sua atuação. O diagnóstico pode acontecer tarde demais, constatado pelo decréscimo de produção das culturas e também pelo aparecimento de raízes, ou mesmo marcas no caule das plantas onde o solo tenha sido arrastado. (FENDRICH *et al.*, 1997)

Existe ainda um segundo tipo de erosão, denominada erosão linear, citada por muitos autores como erosão em sulcos (GUERRA, 2000, ou seja, aquela causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno, que podem evoluir por aprofundamento a ravinas (Guerra *et al.*, 1999). Lohmann (2005), afirma que este processo erosivo desenvolve-se principalmente em função do tipo de escoamento superficial ao longo de vertentes. Ele é resultante de pequenas irregularidades na declividade do terreno que faz com que a enxurrada, ao se concentrar em determinado pontos do terreno, alcance velocidade e volume suficientes para formar sulcos mais ou menos profundos. Os mecanismos de definição e observação dos limites entre este tipo de erosão e a erosão laminar são complexos de serem estabelecidos. O mesmo autor,

¹⁰ **id.**

¹¹ HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins**: hidromorphical approach to quantitative morphology. Bulletin of Geological Society of American, v. 56, n. 3, p. 275-370, mar. 1945.

¹² CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Ed. Blücher, 1974.

¹³ COSTA, A. J. S. T. et al. **Geração de enxurradas e produção de sedimentos no maciço da Tijuca, município do Rio de Janeiro (RJ)**. Simpósio de Geografia Física Aplicada. 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, v.1, 1991. p.158-166.

¹⁴ EVANS, R. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: KIRBY, M. J. e MORGAN, R. P. C. (ed) **Soil erosion**. New York: John Wiley, 1966.

citando a FAO (1965) menciona que limites definidos dos tipos erosivos não são muito bem definidos. A irregularidade do terreno, a quantidade e a velocidade de escoamento são determinantes no número de sulcos que se formam em uma determinada superfície. Por ser um processo complexo, a intensidade com que ele ocorre depende, também, de alguns fatores: das características da chuva, das características do solo, das características da superfície do solo e do uso da terra (Watson e Laflen¹⁵, 1986, apud AMORIM, 2001). A erosividade da chuva, que representa a capacidade potencial da chuva em provocar erosão no solo, tem sido usualmente expressa como uma função potencial da intensidade de precipitação (Meyer e Wischmeier¹⁶, 1969, apud AMORIM, 2001).

Para Bigarella e Mazuchowski (1985), a erosão em sulcos sucede a laminar, também podendo originar-se de precipitações intensas.

Atividades agrícolas, como o preparo do solo, pode facilmente eliminar a erosão em sulcos. Entretanto, a falta de atenção com este processo erosivo pode determinar a formação de ravinas. Para Salomão (1994), o aprofundamento de ravinas acaba então por interceptar o lençol freático, concentrando sucessivos processos erosivos pelas ações das águas superficiais e subsuperficiais, ampliando ainda mais as ravinas. Neste estágio do processo podemos observar as voçorocas. Enquanto as ravinas ocorrem em função da erosão superficial, as voçorocas formam-se devido à erosão superficial e subterrânea, alargando-se e aprofundando-se até seu ponto de equilíbrio dinâmico.

Os movimentos de massa também estão intimamente conectados aos processos erosivos. Voçorocas podem se originar a partir de antigos deslizamentos de terra, que podem deixar cicatrizes nas paredes laterais íngremes do deslizamento. As águas de chuva também formam voçorocas através do escoamento superficial concentrado dentro da cicatriz do deslizamento. (GUERRA e CUNHA, 1998)

Lohmann (2005), estudando os processos morfopedológicos e as relações com os processos erosivos, afirma que estes movimentos colaboram profundamente com as modelagens das feições erosivas, a partir de deslizamentos, rastejamentos, solapamentos, colapsos e subsidências. De acordo com este autor, o deslocamento de material vertente abaixo ocorre sob influência da gravidade, sofrendo interferências de fenômenos como ar, gelo ou água. Os registros deixados muitas vezes se definem por resíduos localizados imediatamente abaixo de bordas de incisão marcadas. Para Araújo *et al.* (2005), os

¹⁵ WATSON, D.A.; LAFLEN, J.M. **Soil strength, slope, and rainfall intensity effects on interrill erosion.** Transactions of the ASAE, St Joseph, v.29, n.1, p. 98-102, 1986.

¹⁶ MEYER, L.D.; WISCHMEIER, W.H. **Mathematical simulation of the process of soil erosion by water.** Transactions of the ASAE, St Joseph, v.12, n.6, p. 754-758, 1969.

movimentos de massa consistem também em movimentos descendentes de materiais da encosta, como rochas, solos, enchimentos artificiais ou ainda a combinação destes elementos. Acabam sendo popularmente denominados como deslizamentos de terra.

Dentre os tipos de erosão citados acima, a erosão laminar acaba sendo a “forma de erosão menos notada, e por isso a mais perigosa” (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Além da perda da produtividade - como já citado - nas áreas agrícolas, e também pelo aparecimento de raízes, ou mesmo marcas no caule das plantas onde o solo tenha sido arrastado, a remoção do solo com posterior depósito acentua, evidentemente, os processos de assoreamento. Assim, é necessário o diagnóstico dos riscos potenciais de erosão laminar, a fim de prevenir e minimizar os efeitos do assoreamento sobre a quantidade e a qualidade da água disponível para consumo da população.

2.2.1 Potencialidade à erosão laminar

Primeiramente, é importante mencionar que o conceito de risco tem sido utilizado em diversas ciências e ramos do conhecimento e adaptado segundo os casos em questão. Muitos autores, como Carpi Junior (2001) reportam-se a determinação de risco à erosão, risco à degradação das terras, risco às enchentes e risco à contaminação da água, juntamente com outras denominações similares. Nestas situações, freqüentemente o termo risco é substituído ou associa-se ao de potencial, susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais.

Este mesmo autor, citando Leal¹⁷ (1995, p.99), em estudo na Microbacia do Córrego Areia Branca, no Município de Campinas, na caracterização do Estado Geocológico de sua área de pesquisa adotou o seguinte conceito de risco: “fontes de perigo e dificuldades potenciais (desmoronamentos de margens, inundações, desabamentos), e que podem trazer prejuízos à população, como perdas e/ou destruição de bens e moradias, disseminação de doenças, etc.”.

Os riscos ambientais atingem cada vez mais grupos sociais maiores independentemente da posição social, ou populações inteiras em qualquer lugar. Entretanto,

¹⁷ LEAL, A.C. **Meio Ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca - Campinas, SP- 1995**. Rio Claro, 1995. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - IGCE – Universidade Estadual Paulista - Campus de Rio Claro.

Brüseke¹⁸ (1997, in: CARPI JUNIOR, 2001) alerta sobre as dificuldades em determiná-los, podendo ocorrer o evento previsto ou não.

Podemos encontrar na literatura científica alguns trabalhos sobre o diagnóstico de áreas-fonte contribuidoras ao assoreamento em virtude de elementos como uso e ocupação do solo, declividade e pedologia. De acordo com Saunitti (2003), estes fatores são necessários para o levantamento do potencial erosivo laminar, portanto a aplicação desses conhecimentos na região de Piraquara I será de suma importância para o levantamento das áreas-fontes ao assoreamento da barragem.

No caso da **declividade**, estudos de Amorim (2001) sobre levantamentos realizados por Lattanzi *et al.*¹⁹ (1974) verificaram que, quando a declividade da superfície do solo aumenta de 2% para 20%, a erosão entre sulcos de um solo siltoso aumentou mais que o dobro. Bryan²⁰ (1979, in: AMORIM, 2001) avaliando 10 tipos de solo em uma faixa de 5 a 58% de declividade observou que, para a maioria dos casos, uma função polinomial de segundo grau representou bem a relação entre erosão entre sulcos e a declividade da superfície do solo.

Assim, um solo de baixa declividade apresenta, também, escoamento com baixa velocidade e, conseqüentemente, a capacidade de transporte fica limitada à vazão de escoamento. Com isto, quando se comparam baixos valores de energia cinética - para as condições estudadas por Amorim (2001) correspondentes a baixas intensidades de precipitação - com valores mais elevados, tem-se maior diferença na taxa de perda de solo, em função do aumento na vazão de escoamento.

Em relação à precipitação, o volume e a velocidade das enxurradas colaboram nos processos erosivos laminares e estão diretamente relacionados ao grau de declividade do terreno. De acordo com Wischmeier e Smith (1978), a Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) utiliza o fator declividade como uma das variáveis topográficas, adimensional baseada nos valores obtidos em porcentagem. Esses valores podem ser obtidos com ábacos, manualmente sobre as bases cartográficas ou por meio do geoprocessamento, pois a maioria dos *softwares* possuem algoritmos de manipulação que percorrem o modelo numérico de terreno, aplicando a equação para determinação da declividade.

¹⁸ BRÜSEKE, F.J. Risco social, risco ambiental, risco individual. In: JACOBI, P.R.; LEIS, H.R.; FERREIRA, L.C. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, ano 1, n.1, 1997.

¹⁹ LATTANZI, A.R.; MEYER, L.D.; BAUMGARDNER, M.F. **Influences of mulch rate and slope steepness on interrill erosion**. Soil Science Society of America. Journal, Madison, v. 38, n. 6, p. 946-950, 1974.

²⁰ BRYAN, R.B. **The influence of slope angle on soil entrainment by sheetwash and rainsplash**. Earth Surface Process, Philadelphia, v.4, n.1, p.43-58, 1979.

No estudo de assoreamento de reservatórios e a correlação com a bacia hidrográfica contribuinte, Dill (2002) salienta a questão da declividade nos processos erosivos em áreas de meia encosta. Quanto ao uso do solo, a fragilidade destes terrenos é grande, por apresentarem declividade ainda relativamente acentuada, devendo seu uso ser bastante criterioso. Quando estas áreas já foram desmatadas, o mais adequado é que sejam destinadas para o reflorestamento. O perigo maior está nas áreas sem cobertura vegetal, que ficam muito expostas à erosão, podendo comprometer as partes abaixo. Já as áreas mais próximas à porção plana do terreno, permitem uma utilização mais diversificada. O mesmo autor menciona que, no entanto, a inclinação do terreno determina cuidados com relação à erosão, evitando culturas anuais. O uso destas áreas é indicado para a formação de pastagens ou pomares de frutíferas. Como mecanismos de preservação, cita que a localização de estradas deve ser feita corretamente buscando-se minimizar os prejuízos decorrentes das enxurradas. Em declividades menos acentuadas, os solos podem ser utilizados para culturas anuais, mas necessitam sempre de práticas de conservação do solo e de contenção da erosão.

Os **solos** também são determinantes para o diagnóstico do potencial erosivo laminar. Ao estimar a previsão de perdas de solo e a estimativa de assoreamento em relação às características de uma bacia hidrográfica, Silva (1986) afirma que o efeito protetor da vegetação herbácea que reveste o solo não é suficiente para controlar a erosão, incrementada, principalmente, pela maior declividade.

Os solos oferecem maior ou menor resistência à erosão, de acordo com suas propriedades (SALOMÃO, 1994). Com relação à textura, por exemplo, a coesão das partículas tende a interferir na maior ou menor capacidade de material a ser transportado pelos processos erosivos.

Curcio (1994), analisando a fragilidade ambiental sob o ponto de vista pedológico, afirma, a respeito da região de Piraquara I, que a Serra do Mar (grande contribuidora ao abastecimento da porção leste da barragem) caracteriza-se pelo favorecimento dos processos de morfogênese (relevo) sobre a pedogênese em relevos extremamente vigorosos com grande expressão de Neossolos litólicos, Cambissolos e Afloramentos Rochosos, principalmente no terço superior das encostas.

Este mesmo autor destaca ainda a distribuição de solos litólicos em contato lítico com o substrato granítico, acarretando um ambiente de extrema fragilidade devido aos altos índices pluviométricos na região, que sujeitam estes solos a fluxos de massa. Lembra também que apesar deste ecossistema apresentar uma pequena capacidade de suporte à ação antrópica, é

intensa a alteração destes solos pelo homem, originando o assoreamento dos rios e dos corpos d'água na região.

Um dos melhores exemplos que ilustram a interferência das propriedades texturais dos solos e sua relação com o potencial de erosão, diz respeito aos teores de areia e argila. A permeabilidade dos solos arenosos é maior, portanto presencia-se maior infiltração da água, fazendo com que o escoamento superficial seja dificultado.

De acordo com análises de Bertoni e Lombardi Neto²¹ (1993) citadas por Lohmann (2005), as diferenças relacionadas às propriedades do solo permitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros ainda que variáveis como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas.

A título de ilustração sobre perdas erosivas dependentes dos tipos de solos, Cassol (2003) cita abordagens de West *et al.*²² (1991) que constataram redução de 70% na perda de solo por erosão, em entressulcos, no sistema sem preparo em relação aos submetidos ao preparo convencional. Essa diferença foi atribuída ao teor de carbono orgânico e agregados estáveis em água, em maior quantidade nos solos sujeitos ao sistema sem preparo.

Até agora, todos os elementos citados foram referidos como fatores que tornam o solo suscetível à erosão laminar, suscetibilidade essa que pode ser definida como a capacidade do solo de se erodir em função de suas propriedades e da declividade do terreno.

Fonseca Neto *et al.* (2004) definiu em seus estudos cinco classes de **suscetibilidade à erosão**, que variam de extremamente suscetível à erosão laminar e/ou a ravinas e voçorocas à pouco a não suscetível à erosão laminar e/ou não suscetível a ravinas e voçorocas.

Pode-se ainda observar uma relação direta entre a suscetibilidade à erosão e os processos de assoreamento, tornando o cálculo da **densidade de drenagem** das bacias selecionadas fator fundamental para o diagnóstico de áreas-fonte ao assoreamento, já que a densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e consequentemente a suscetibilidade a erosão. Uma área com um índice elevado de densidade de drenagem resulta da baixa transmissibilidade do terreno e, portanto, está mais sujeita a erosão.

Milani e Canali (2000) nos estudos sobre o rio Matinhos encontraram valores de densidade de 1,01 km/km², valor este que pode ser considerado como de baixa densidade de

²¹ BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1993.

²² WEST, L. T.; MILLER, W. P.; LANGDALE, G. W.; BRUCE, R. R.; LAFLEN, J. M.; THOMAS, A. W. **Cropping system effects on interrill soil loss in the Georgia Piedmont**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 55, n. 2, p. 460-466, mar./apr. 1991.

drenagem e elevada transmissibilidade, ou seja, o terreno apresenta um bom grau de infiltração, portanto, baixa suscetibilidade à erosão.

Silva Filho *et al.* (2002) diagnosticou erosão laminar intensa em Mococa-SP ao estudar uma porção da cidade com declividade média de 6 a 20%, com Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média e com alta densidade de drenagem.

Para Dibieso e Leal (2005), a drenagem encontra-se íntima e especialmente relacionada, como fator analítico, com a erosão. Nesta perspectiva, os índices e padrões morfométricos analisados em seus estudos na bacia do rio do Cedro possibilitaram uma melhor compreensão da dinâmica do escoamento das águas superficiais, principal agente erosivo da bacia.

Além da implicação desses fatores sobre os processos erosivos, a análise dos dados possibilita realizar inferências sobre a suscetibilidade à contaminação das águas. De acordo com Christofolletti²³ (1970, p. 158 apud DIBIESO e LEAL, 2005), “a transmissibilidade (medida da permeabilidade do terreno) aumenta quando a densidade de drenagem diminui, e a transmissibilidade diminui quando a densidade de drenagem aumenta”.

Foram encontradas áreas relativamente consideráveis em porções da bacia do Cedro, em Presidente Prudente nos estudos de Dibieso e Leal (2005) com maior densidade de drenagem e conseqüentemente menor transmissibilidade, o que levou à conclusão a respeito da maior suscetibilidade a erosão e maior potencial dispersor da contaminação nas águas superficiais. Também localizaram na região estudada áreas com menor densidade de drenagem e, conseqüentemente, maior transmissibilidade, que evidentemente possuíam menor suscetibilidade a erosão e maior suscetibilidade a contaminação das águas subterrâneas, devido ao maior potencial de infiltração das águas superficiais.

A densidade hidrográfica também tem sido amplamente trabalhada em diversos estudos para análises de resultados que possam apontar contribuições aos processos erosivos. Este parâmetro tende a refletir mais ou menos as mesmas propriedades que a densidade de drenagem, entretanto fornece uma idéia mais clara sobre os processos de controle no desenvolvimento da rede hidrográfica, quer sejam naturais, quer sejam artificiais. Canali *et al.* (1998 In: MILANI 2001), encontraram índices de densidade hidrográfica, para bacias litorâneas entre 1,3 e 4,42 que se comparados aos índices encontrados para o sistema de drenagem de Matinhos, 0,42, mostrou claramente o controle estrutural dos canais pelos cordões litorâneos, paralelos a linha da costa, dificultando a vazão direta ao mar, fazendo com

²³ CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas** (MG), Tese de Livre Docência - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, 1970.

que estes percorram uma extensão maior sobre a planície litorânea. Os mesmos autores diagnosticaram interferências antrópicas na região ao constatarem prolongamentos artificiais de canais de primeira ordem, fato este que aumenta-se a área da bacia, mas não aumenta-se o número de canais, apenas o comprimento total dos mesmos. Em redes de canais naturais, sem controle estrutural, este índice é sempre superior ao de densidade de drenagem.

Estudos do Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação (CETEC) diagnosticaram a suscetibilidade à erosão laminar e sua relação com os processos de assoreamento na região da bacia hidrográfica do Tietê a partir dos fatores relevo e tipos de solos. Em porções analisadas de maior declividade em solos argissolos foi identificada erosão laminar muito intensa e assoreamento intenso nos cursos d'água e pequenos reservatórios. Em latossolos, gleissolos, argissolos e cambissolos também foram diagnosticados processos de assoreamento em relevos íngremes e em planícies, no caso de regiões de gleissolos.

Isoladamente, a influência do solo e do relevo nos processos erosivos e de assoreamento por si só não respondem completamente todos os elementos constituintes dos processos. A **cobertura vegetal e o uso do solo** pelo ser humano é elemento chave para a compreensão final. Assim, a potencialidade à erosão laminar se caracteriza também pela forma com que o ser humano ocupa o solo.

Dunne e Dietrich (1982) destacam o papel das formas de uso e ocupação do solo enquanto principais contribuidores de sedimentos às bacias hidrográficas. De acordo com esses autores, um estudo em 61 bacias hidrográficas do Quênia apontou para resultados significativos na contribuição de sedimentos de acordo com o uso e ocupação do solo.

A expressão uso da terra pode ser compreendida como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. O levantamento de uso da terra consiste em mapear e avaliar qualitativamente e quantitativamente tudo o que existe sobre a litosfera. Através deste tipo de levantamento pode-se conhecer a deterioração causada ao ambiente pelo uso inadequado do terreno. As erosões, perda de solo agrícola, assoreamento de cursos d'água e inundações são algumas das conseqüências do mau uso das terras.

A qualidade de água dos mananciais que compõem uma bacia hidrográfica, de acordo com Machado (2002) está relacionada com o uso do solo na bacia e com o grau de controle sobre as fontes de poluição. Tal afirmação é confirmada em citação a Azevedo Netto²⁴ (1991) em que a água transporta substâncias e organismos, oriundos de onde passou. Em referência a

²⁴ AZEVEDO NETTO, J.M. de. **Manual de saneamento de cidades e edificações**. São Paulo: PINI Editora, 1991.

Ward e Elliot²⁵ (1995), Machado cita que o sedimento é, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes.

Apesar da importância que os solos têm para a sobrevivência da espécie humana, dos vegetais e dos animais na superfície da Terra, o ser humano não tem dedicado atenção a esse recurso natural, pelo menos no que diz respeito à sua utilização e conservação (GUERRA *et al.*, 1995).

A vegetação desempenha um papel fundamental para a estabilização de encostas e para o controle dos processos erosivos. Alguns estudos mencionados por Araújo *et al.* (2005) entre causa e efeito com base em levantamentos de campo e análises de laboratório apresentaram resultados significativos a respeito desta questão. Por exemplo, as folhagens e os resíduos de plantas absorvem a energia das chuvas e impedem o destacamento do solo pelo impacto da chuva, diminuindo os efeitos da erosão pluvial. Já os sistemas radiculares atam as partículas do solo e as partes acima da superfície, por sua vez, filtram os sedimentos do escoamento superficial. Em relação à erosão superficial, as vegetações herbáceas e as gramíneas são ainda mais eficientes do que a vegetação arbórea, pois fornecem uma cobertura mais densa do solo.

Prandini *et al.* (1976) destaca que a vasta formação arbórea densa encontrada na área em que se situa a Piraquara I pode ser destacada como a associação que maior influência têm nos processos superficiais da crosta. Existe um consenso generalizado de que as florestas desempenham um importante papel na proteção do solo e o desmatamento pode promover a erosão e os movimentos coletivos do solo, provocando assoreamento dos corpos d'água. As presenças antrópicas são os principais desencadeadores destes fenômenos. A vegetação proporciona a estruturação do solo através do sistema radicular, retendo os materiais deslocados, funcionando como freio e dissipador da energia.

Uma vez que as margens de rios e barragens estão sujeitas à erosão e atrito pelo fluxo de água e o aumento da força erosiva relaciona-se ao aumento da velocidade da água, Araújo *et al.* (2005) recomenda que a vegetação da encosta possa reduzir este tipo de erosão caso a parte aérea recline-se e cubra superfície da água, reduzindo a velocidade do fluxo adjacente à interface solo/água. Moitas densas de gramíneas e espécies herbáceas baixas que estendem vários ramos flexíveis e folhas dentro do fluxo d'água parecem bastante eficientes a esse respeito, enquanto as raízes abaixo do solo retêm ou ainda mantêm fisicamente as partículas

²⁵ WARD, A. D.; ELLIOT, W.J. **Environmental hydrology**. Boca Raton: Lewis, 1995.

de solo no lugar. Mencionando estudos de Shields²⁶ (1991), o autor acima cita a prática europeia comum de estímulo ao desenvolvimento de vegetação em barragens.

Para Machado (2002), citando Neitsch *et al.*²⁷ (2000), a cobertura vegetal afeta a erosão por reduzir a energia efetiva das gotas de chuva. As gotas de chuva que foram interceptadas pela cobertura vegetal podem readquirir apreciável velocidade, mas será muito menor do que a velocidade final se não forem interceptadas. A altura média de queda das gotas a partir da cobertura da vegetação e a densidade da vegetação irão determinar a redução na energia da chuva. Uma porcentagem de resíduos na superfície do solo é mais eficaz do que a mesma porcentagem de cobertura vegetal, pois interceptam as gotas de chuva próxima à superfície e impedem sua possibilidade de readquirir velocidade de queda. Resíduos também obstruem e reduzem o escoamento superficial.

A perda da cobertura florestal aumenta a quantidade e a velocidade do escoamento superficial com o conseqüente aumento da capacidade de arraste e transporte de material. A desagregação de colóides pela ação das chuvas e a diminuição da rugosidade da paisagem fazem com que a ação do escoamento superficial nas encostas e nos leitos dos cursos de água desequilibre os processos erosivos naturais das bacias hidrográficas (Schroeder²⁸, 1996, *apud* DILL, 1996). Este desequilíbrio determina, por seu turno, a diminuição da área agricultável e o empobrecimento dos solos em geral. A mais óbvia medida preventiva no controle dos processos erosivos consiste em preservar a cobertura vegetal nas regiões das cabeceiras dos rios - alta bacia – locais de potenciais contribuintes de escoamento, sendo esta medida de suma importância para que essas áreas não se tornem responsáveis por grande produção de sedimentos.

Terras desmatadas apresentam imediatamente feições erosivas instaladas por meio do escoamento superficial. Dados consideráveis destacados por Oliveira (1994) demonstram valores fundamentais que ressaltam a importância de se considerar as formas de utilização do solo e conseqüentes desenvolvimentos de feições erosivas e contribuições de sedimentos em bacias hidrográficas.

A título de ilustração, Oliveira (1994) aponta que em que uma área florestal categorizada como “formação arbórea densa”, as copas das árvores e demais partes acabam

²⁶ SHIELDS, F. D. **Woody vegetation and riprap stability along the Sacramento River mile 84.5 to 119.** In: *Water Resources Bulletin*, 1991; 27(3):527-536.

²⁷ NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool** - User's Manual: Version 2000. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2000.

²⁸ SCHROEDER, M. **Cobertura Florestal do Rio Grande do Sul.** In: I SEMINÁRIO SOBRE A SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL. *Anais...* Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul, 1996. p. 3-9.

interceptando no conjunto do quadro hídrico e efetuando a proteção do solo da incidência direta das águas da chuva. Além disso, temos então uma retenção substancial de volume de água da chuva na ampla superfície resultante da soma das áreas de folhas, galhos, troncos e epífitas. A transpiração corresponde a um grande volume de água eliminado. A serrapilheira desenvolve um importante papel neste processo, imobilizando grande parte da água que atinge o terreno e promovendo o escoamento superficial hipodérmico, além de efetuar a frenagem do escoamento superficial em condições de máxima pluviosidade.

Os mecanismos associados à intensificação do escoamento superficial e a conseqüente concentração de águas na superfície manifestam feições erosivas de grande porte, de forma que podem ser muito atenuadas caso a cobertura vegetal seja preservada (OLIVEIRA, 1994).

Portanto, pode-se afirmar que se presenciarmos um aumento das taxas de erosão em uma bacia desmatada, a produção de sedimentos será ainda maior, aumentando a RLS, já citada anteriormente, mais do que as taxas totais de perda de solo da bacia hidrográfica.

A elevação do lençol freático é citada com constância por alguns autores em associação com os mecanismos de erosão e uso do solo. Quanto mais altos os níveis de saturação dos solos a partir da elevação do lençol freático, os horizontes não-saturados tornam-se mais restringidos. Estes horizontes são alimentados transitoriamente pelas infiltrações, portanto, para Oliveira (1994), quanto menor e mais exposta for a cobertura vegetal, a erosão superficial acaba por aumentar consideravelmente.

Não apenas a exposição do solo é responsável direta pela erosão. Cercas, caminhos, ruas e estradas são elementos que colaboram intensamente com o escoamento superficial. Muitas vezes ravinas, ou seja, feições de maior porte acabam eliminando estas feições erosivas causadas pelos elementos citados.

De qualquer modo, os elementos diversos de uso do solo em uma determinada área da bacia consistem em importantes alteradores dos padrões de circulação da água vistos nestas redes de drenagem. Para Oliveira (1994), áreas em que terraplenagem expõe o solo, cortes e aterros, loteamentos de áreas preparadas para conjuntos habitacionais em redes de drenagem tais como aterros de estradas, travessias de curso d'água e ensecadeiras de barragens, a produção de sedimentos corresponde ao próprio lançamento de solo dentro dos corpos d'água.

Podem ser destacadas algumas conseqüências associadas à remoção da cobertura vegetal. De acordo com levantamentos realizados por Araújo *et al.* (2005), os locais desprovidos de vegetação sofrem tendências à erosão superficial e a movimentos de massa. A remoção da cobertura vegetal para práticas e ocupações diversas do uso do solo em estudos

realizados por Amaranthus²⁹ (1985, in: ARAÚJO *et al.*, 2005) no noroeste dos Estados Unidos apontaram para resultados alarmantes. As taxas de erosão identificadas foram cerca de cem vezes maior em áreas perturbadas do que em áreas cujas encostas naturais não eram perturbadas.

Para Silva (1986), a influência das florestas em curvas de nível e terraços na drástica redução da intensidade da erosão está claramente evidenciada nas estimativas de perdas de solo determinadas nas parcelas revestidas por esse tipo de vegetação. Mesmo nas regiões de maior declive, onde se situam as essências florestais, as perdas de solo estimadas não excedem valores muito elevados. Silva (1986) exalta estes resultados confirmando as conclusões de Patric e Brink³⁰ (1977) a respeito desta abordagem e fortalece a opinião de que, a longo prazo, nenhuma outra prática conservacionista supera a eficiência da reposição vegetal.

Pereira *et al.*³¹ (1995, in: DILL, 2002) salientou que a ocupação rural brasileira, sobretudo nas áreas de fronteira agrícola, tem ocorrido de forma desordenada, contribuindo para o empobrecimento e a exaustão dos solos. Ademais, urge ressaltar que o efeito nocivo desse uso inadequado, caracterizado primordialmente pelo intenso processo erosivo, compromete inexoravelmente biótopos e biocenoses, resultando na deterioração ambiental e, conseqüentemente, na insustentabilidade do desenvolvimento. Portanto, estudos voltados à identificação de diferentes taxas de adequabilidade de ocupação das terras, relacionando o uso atual versus uso potencial, revestem-se de grande importância, pois, além de permitirem a orientação e/ou reorientação de uso, contribuem para evitar impactos, como: redução do potencial produtivo dos agrossistemas; assoreamento e contaminação de mananciais; destruição de estradas, pontes e construções; e o decorrente do êxodo rural, principalmente.

Convém salientar que, de acordo com Machado (2002), nenhum método de pesquisa em erosão possui abrangência o suficiente para ser utilizado exclusivamente e fornecer resultados sólidos e amplos para tomada de decisões em atividades conservacionistas e/ou de reabilitação de áreas degradadas pelo processo erosivo. Ou seja, são métodos que quantificam apenas parte do processo erosivo, o qual é formado por uma complexa interação de vários fatores climáticos, pedológicos, antropológicos e de outras naturezas, sendo o ideal o uso de

²⁹ AMARANTHUS, M. P.; RICE, R. M.; BARR, M. R. e ZIEMER, R. **Logging and forest roads related to increase debris slides in southwestern Oregon.** In: *Journal of Forestry*, v. 83, n.4, p.229-233, 1985.

³⁰ PATRIC, J. H. e L. I. BRINK. **Soil erosion and its control in the eastern forest.** In: Soils conservations society of America. Soil erosion: prediction and control. Ankeny, p. 362-368, 1977.

³¹ PEREIRA, L.C.; FORMAGGIO, A.R.; STRAUCH, J.C.M. Taxa de adequação de uso das terras de uma bacia hidrográfica utilizando informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Anais... Viçosa: MG/SBCS/UFV, 1995. v.4, p. 2117-2118.

métodos que se complementam (como a análise morfométrica) e, juntos, possibilitam uma compreensão global mais próxima da realidade. Ainda para Machado (2002) em referência a Tucci³² (1993), trata-se de uma metodologia muito complexa, da qual não se podem esperar resultados de extrema precisão. Apesar disso, é necessária a compreensão dos processos erosivos existentes em uma bacia hidrográfica contribuinte de águas para um reservatório como fator principal que aumenta as possibilidades de assoreamento do mesmo.

2.4 ASSOREAMENTO

Assoreamento “é um processo que consiste na acumulação de partículas sólidas (sedimento) em meio aquoso, ocorrendo quando a força do agente transportador natural é sobrepujada pela força da gravidade ou quando a super-saturação das águas permite a deposição” (INFANTI e FORNASARI³³, 1998, p. 26).

As atividades antrópicas são agravantes deste processo, relacionado diretamente ao aumento de erosão pluvial, por práticas agrícolas inadequadas e infra-estrutura precária de urbanização, bem como pela modificação da velocidade dos cursos d’água por barramentos, desvios, entre outros.

O aporte de material mineral (areia, silte e argila) é o fator causador do assoreamento dos corpos d’água. O fato de lagos e represas possuírem um elevado tempo de residência da água, em comparação com os rios, facilita a deposição deste material na entrada dos tributários.

O assoreamento pode se estender gradativamente por todo o fundo do lago, provocando assim a diminuição de seu período de vida. Além disso, a utilização do ambiente aquático fica bastante prejudicada, principalmente em relação aos usos para geração de energia e contenção de cheias (Sperling³⁴, 1999, apud DILL, 2002). A deposição de sedimentos em um reservatório aumenta os gastos que as companhias de abastecimento necessitam efetuar para que se possa realizar o tratamento da água, bem como prejudica a capacidade do reservatório em armazenar água.

³² TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: Ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade; UFRGS; Edups; ABRH, 1993.

³³ INFANTI, J.N.; FORNASARI, F.N. Processos de dinâmica superficial. In: **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 26

³⁴ SPERLING, E.V. **Morfologia de lagos e represas**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1999.

De acordo com Cabral (2005), pesquisas sobre assoreamentos de reservatórios começaram a aparecer na literatura internacional por meio dos trabalhos de Fiock³⁵ (1934), Grover e Howards³⁶ (1938) e Eakin³⁷ (1939). No Brasil, ocorreu principalmente a partir de 1981 com os trabalhos de Ponçano *et al.*³⁸ (1981), Gimenez *et al.*³⁹ (1981) e Carlstron Filho *et al.*⁴⁰ (1981) que apresentaram um método de análise de assoreamento de reservatórios por meio dos estudos desenvolvidos nos reservatórios de Capivari (PR), Passo Real e Ernestina (RS) pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) em convênio com a Eletrobrás.

De acordo com Vilela e Mattos (1975) existem duas escolas que estudam o transporte de sedimentos e deposição: a) Escola determinista, que procura equacionar o fenômeno físico do transporte de sedimentos, representada por Du Boys, Eisnten, Kennedy, Vanoni, Brooks e outros; b) Escola Estocástica, que procura relações entre as variáveis por meio de dados medidos em campo, que inclui pesquisadores como Blench, Conti, Colby e outros.

Segundo Carvalho (1994 e 2000), a sedimentação é um processo que abrange a erosão, o transporte de sedimentos nos cursos d'água e a respectiva deposição. É comum referir-se à sedimentação como sinonímia aos aspectos de assoreamento de reservatórios, pois, visando determinar sua vida útil, busca-se estudar o processo de assoreamento para compreender os procedimentos existentes para a previsão da evolução desse fenômeno ao longo dos anos. O equacionamento do problema exige o conhecimento sobre a produção de sedimentos, bem como suas áreas fontes. Assim devemos levar em consideração o conhecimento das relações entre os usos dos solos, a erosão e a sedimentação no reservatório.

De acordo com Dendy⁴¹ (1968, p. 137, in: MAIA, 2006): “Muitos parâmetros da bacia hidrográfica e do reservatório influenciam sua taxa de sedimentação. Alguns dos mais importantes são: o tamanho e a forma do reservatório; a razão entre sua capacidade e o tamanho da bacia; razão entre a capacidade do reservatório e o deflúvio afluente; topografia

³⁵ FIOCK, L.R. **Records of silt carried by the Rio Grande and its acumulation in elephant butte reservoir.** American Geophys. Union Trans. V15. 468-473p. 1934.

³⁶ GROVER, H. G; HOWARDS, C. S. **The passage of turbid water through lake mead.** Tran ASCE.103, 1938. p.720-736.

³⁷ EAKIN, H. M. **Silting of reservoirs.** Washington DC: United States Department of Agriculture, 1939. p 90-167.

³⁸ PONÇANO, W L.; GIMENEZ, A. F; CARLSTRON FILHO, C; CARNEIRO, C. D. R; STEIN, D. P; PRADINI, L. F; MELO, M. S; FULFARO, V. J; Metodologia de estudo de assoreamento de reservatórios (I) Reservatório de Capivari (PR). In: CBGE, 3, Itapema (SC). **Anais...** São Paulo: ABGE. p. 205-224. 1981.

³⁹ id.

⁴⁰ id.

⁴¹ DENDY F. E. **Sedimentation in the Nation's Reservoirs.** Journal of Soil and Water Conservation. v.23, jul./ago. 1968. p. 137

da bacia, uso da terra e cobertura vegetal; declividade e densidade da rede de canais; e características físicas e químicas do sedimento afluyente.”.

A deposição de sedimento no reservatório é a última etapa de um processo que se inicia na erosão superficial da bacia hidrográfica. Todo o material erodido da bacia não é lançado diretamente no leito do rio, uma parte pode ficar retida em depressões naturais ou ainda ser interceptada pela vegetação ou obstáculos existentes.

O uso do solo é um fator de grande importância na determinação do volume de sedimento que pode vir a ser liberado para o leito do rio. Carvalho *et al.*⁴² (2002, p.2) salientam que:

“Com o crescente aumento da população em todo o planeta, a ação humana pela ocupação e uso da terra tem sido, entretanto, o fator de maior aumento da erosão e do transporte de sedimento nos rios, influenciando significativamente nos problemas decorrentes.”

O reservatório é assoreado não apenas pelos materiais em suspensão provenientes da carga de lavagem da bacia, mas também por meio do transporte dos materiais que compõem o fundo e os taludes da calha dos rios.

Todo curso d'água apresenta normalmente equilíbrio em relação ao transporte de sedimento, seja por arrasto e saltitação junto ao leito, seja em suspensão na corrente, e existe uma tendência natural para que este seja depositado quando o fluxo natural de sedimentos ao encontrar água com menor velocidade (alteração do fluxo) começa a se depositar, conforme a maior ou menor granulação das partículas e a menor ou maior turbulência do escoamento. (CABRAL, 2005).

Quando o homem constrói um reservatório, altera-se a característica hidráulica do trecho compreendido entre a barragem e a seção à montante, mudando o estado de equilíbrio do fluxo, o que leva a uma série de transformações no processo fluvial, como a desaceleração do movimento das partículas na direção da corrente, fazendo com que as partículas sólidas como pedregulhos e areias grossas se depositem mais próximas da entrada do reservatório (final do remanso), quanto maior o seu diâmetro.

As partículas mais finas, em cuja sustentação a viscosidade exerce papel relevante, ou vão se depositar no trecho mais baixo do reservatório ou permanecer em suspensão alcançando os pontos de descarga desta água (CABRAL, 2005).

⁴² CARVALHO, N.O. et al. **Causas e Efeitos do Aumento da Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia.** In: Congresso Regional do Centrooeste de Recursos Hídricos, 2002, Campo Grande. CD-ROM.

Segundo Ramos (1999), existem duas modalidades de transporte sólido destas partículas em suspensão: uma corresponde à carga de lavagem da bacia e a outra ao transporte do material que compõe o material do leito. No caso da carga de lavagem, o material em geral é muito fino, com dimensões na faixa do silte e da argila e se mantém quase que permanentemente em suspensão, não chegando a se depositar. A fração mais grossa da carga de lavagem, ao adentrar o reservatório pode chegar a se depositar, dependendo do tempo de residência ou de outros fatores de natureza físico-química que possam favorecer a floculação e, conseqüentemente, a decantação.

Já a fração mais fina pode manter-se em suspensão por mais tempo em forma de suspensão coloidal, e atravessar os limites do barramento, não chegando a assorear. Já os sedimentos em suspensão provenientes do leito do rio, são ligeiramente maiores.

Para Cabral (2005) em referência a Glymph⁴³ (1973) a quantidade de sedimento depositado em um dado reservatório depende da quantidade de material em suspensão enviado para o mesmo e da capacidade do reservatório reter as partículas em suspensão.

Ainda de acordo com Cabral (2005), os principais fatores que influenciam a deposição dos sedimentos em reservatórios são:

- a quantidade de sedimentos que adentra no reservatório;
- a capacidade de retenção do reservatório;
- a quantidade de sedimentos acumulado no mesmo;
- o modo de operação do reservatório.

A deposição e a distribuição dos sedimentos dentro de um reservatório dependem de vários fatores como, declividade de escoamento, a geometria do reservatório, o modo como este é operado, as características minerais das partículas finas e as características química das águas. (CABRAL, 2005)

Segundo Carvalho (2000) vários fatores influenciam na formação dos depósitos, sendo os principais:

- sedimentos afluentes;
- eficiência de retenção do sedimento no reservatório;
- densidade dos depósitos e volume de sedimento depositados.

Já os fatores que contribuem para o transporte dos sedimentos são vários, podendo ser citado como principais:

- quantidade e intensidade das chuvas;

⁴³ GLYMPH. L. M. Sedimentation of Reservoirs. In: ACKERMANN.W.C et al , ed. **Man-made lakes: their problems and environmental**. Washington DC: American Geophysical Union,. 1973. p.342-348.

- tipo de solo e formação geológica;
- cobertura e uso do solo;
- topografia;
- erosão das terras;
- escoamento superficial;
- característica dos sedimentos; e
- as condições morfológicas do canal.

Vanoni (1977), Lopes (1993) e Carvalho (2000) afirmam que, conforme a sua localização no reservatório, os depósitos geralmente classificam-se como:

- Depósito de remanso⁴⁴ (backwater deposit): Constituem em princípio dos materiais de maior granulometria, como seixos, que se depositam no final do remanso, ligeiramente acima do nível máximo do reservatório. Teoricamente esses depósitos podem progredir tanto para dentro do lago como a montante pois, conforme o depósito cresce, o efeito de remanso se estende, esse crescimento será limitado, entretanto, à medida que o escoamento ajusta seu canal através dos depósitos, atingindo uma relação largura – profundidade ótima, seja pela eliminação dos meandros, seja pela variação da forma do fundo. O impacto causado por este tipo de depósito são as enchentes a montante;
- Deltas: A variação do nível d'água é quem condiciona a formação do delta, que possui partículas do tamanho de areia ou maiores que geralmente se depositam logo que o escoamento penetra o reservatório. Este tipo de depósito reduz gradualmente a capacidade útil do reservatório;
- Depósito de Fundo ou leito (bottom – set deposit): reduzem o volume morto do lago através das partículas de silte e argila que são geralmente transportadas para jusante dos deltas e se depositam no trecho mais baixo do reservatório. A forma desses depósitos depende principalmente das características minerais das argilas e das características químicas da água;
- Depósito de margem (overbank): Provocado pela deposição dos sedimentos trazidos pelas ondas da água e pelo vento;
- Depósito de várzea ou de planície de inundação: Produzido pelas enchentes, ocorrendo ao longo do curso d'água e do reservatório, formado por sedimentos finos e grossos. Ponçano et al. (1981) descrevem que as medidas corretivas e preventivas do assoreamento requerem estudos específicos, considerando-se a dinâmica sedimentar desde as áreas fonte até as áreas de deposição.

⁴⁴ Remanso: porção localizada na curva de um rio ou no seu delta, ou num recanto de lago, lagoa ou mar, que retém água aparentemente parada e que apresenta caracteres físicos e biológicos de estagnação.

Com relação ao transporte e a velocidade de sedimentação, verifica-se que existem diferenças de um reservatório para outro, sendo esses processos condicionados pela vazão, tempo de residência e seção transversal dos rios que formam o reservatório, além da característica morfométrica do sistema, localização e uso da bacia hidrográfica.

À medida que a deposição de sedimentos aumenta, a capacidade de armazenamento do reservatório diminui e a influência do remanso intensifica para montante. Assim, a velocidade do fluxo no lago aumenta e maior quantidade de sedimentos passa a escoar para jusante, diminuindo a eficiência de retenção das partículas, demonstrando que a evolução de fundo do reservatório depende fortemente da geometria do reservatório e do tamanho do sedimento depositado (CABRAL, 2005).

Para Lopes (1993), mesmo quando não se verificarem volumes significativos de depósitos dentro da porção útil do reservatório, o assoreamento ameaça com dois outros problemas: a) a impossibilidade de operação de comportas de órgãos de adução e descarga, devido ao acúmulo de material junto à barragem; b) o prolongamento do efeito de remanso, com a conseqüente elevação de níveis de enchente a montante, devido a depósitos de material grosseiro na entrada do reservatório, uma vez que o prolongamento de remanso implica na perda efetiva de capacidade útil.

É, também, muito freqüente ocorrer em áreas de remanso de lagos e reservatórios, em forma de deltas arenosos, que por sua vez auxiliam na retenção dos sedimentos vindos de montante. Os materiais argilosos são transportados mais facilmente para o interior dos lagos, sendo os primeiros a atingirem a tomada d'água nos reservatórios.

De acordo com Morris e Fan⁴⁵ e Carvalho⁴⁶ (1997, 2000, in: CABRAL, 2005), à medida que o tempo decorre, os impactos do assoreamento se tornam mais severos e mais fáceis de serem constatados, mas de difícil solução. São esperadas conseqüências tanto a montante quanto à jusante. A água limpa escoada para jusante da barragem tem um maior poder de erodir margens e leitos do canal de escoamento (Carvalho, 1994). Coiado⁴⁷ (2001, p. 395) também aborda essa questão salientando que “à jusante da barragem, tem-se como conseqüência principal, o aumento da erosão devido ao desequilíbrio provocado pela retirada da carga natural de sedimentos do escoamento.”.

⁴⁵ MORRIS, G. L; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**. New York: Mcgraw-HILL, 1997.

⁴⁶ CARVALHO, N.O. **Assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos**. In: Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos, 4, 2000. Santa Maria. Cd rom. 1. 2000.

⁴⁷ COIADO, E. M. **Assoreamento de Reservatórios**. In: Paiva J.B.D.; Paiva E.M.C.D. (Orgs.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p.395.

Quanto à medição do assoreamento de um reservatório, pode-se utilizar vários métodos como a de previsão de assoreamento como por meio da proposta de Carvalho *et al.* (2000), pelo método da planimetria das curvas batimétricas descrita em Vanoni (1977) e Morris e Fan (1997) e através do método proposto por Ponçano *et al.* (1981); Gimenez *et al.*(1981) e Carlstron Filho *et al.*(1981), aperfeiçoados por Lopes (1993) no reservatório de Americana e Saunitti (2003) no reservatório de Passaúna – PR, mediante estudo realizado com amostrador Piston Core, que obtém testemunhos verticais poucos deformados, demonstrando que é possível correlacionar o material depositado com as área-fonte, sabendo-se também a espessura da camada depositada em cada ponto amostrado.

Ainda segundo Lopes (1993) e Carvalho (1994 e 2000) os parâmetros envolvidos nas estimativas de assoreamento são:

- Carga de sedimentos: que é a quantidade de material sólido afluente de uma dada seção num curso d'água, podendo ser dividida em carga de leito (fundo e suspensão) e wash load (carga de lavagem);
- Eficiência de retenção de sedimentos: que é a razão entre a carga sólida que se deposita no leito do reservatório e a carga sólida total afluente. O valor da eficiência de retenção de sedimentos num reservatório pode ser obtido a partir de medições sistemáticas das descargas sólidas afluentes e a jusante da barragem;
- Peso específico dos depósitos de sedimentos: que é a relação entre o peso seco do material e o volume ocupado pelo depósito. A estimativa deste parâmetro é necessária para a transformação da carga sólida retida em volume sedimentado.

Para Carvalho (2000) e Carvalho *et al.* (2000) o Brasil possui reservatórios parcialmente ou totalmente assoreados, sendo que a maior parte continua em operação, mas com problemas diversos decorrentes do depósito de sedimentos. Como exemplo, o estudo realizado por Coelho (1993) na represa de Salto Grande, em Americana - SP, que possui um volume morto de aproximadamente 65% do seu volume total e perda anual média de 0,22% deste volume, equivalente a pouco mais de 235.000m³, pressupondo que as taxas de erosão na bacia de captação permanecendo em níveis próximos aos atuais, seriam necessários 240 anos para o preenchimento por sedimentos de um volume equivalente ao seu volume morto, e aproximadamente 400 anos para o assoreamento total.

Um dos aspectos mais impactantes em relação ao assoreamento de reservatórios está intimamente ligado à redução do volume dos mesmos. Alguns autores, como Linsley e

Franzini⁴⁸ (1978) afirmam que, sendo o destino final de todo reservatório ser assoreado por sedimentos, a redução do volume do reservatório se associa ao tempo de sua operação. A perda de volume é trabalhada por Oliveira (1994), quando afirma que em períodos de estiagem o abastecimento de água para a população acaba sendo afetado. O volume assoreado prejudica a função reguladora da acumulação. O mesmo autor ainda cita o fato de que os sedimentos depositam-se nas desembocaduras dos rios contribuintes, ocupando aquilo que é denominado de volume útil (terminologia muito denominada para reservatórios que servem para geração de energia elétrica), em referência a estudos realizados por Ponçano *et al.*⁴⁹ (1982).

A fim de prevenir e/ou remediar os transtornos provocados pelo assoreamento dos reservatórios o International Commission on Large Dams - ICOLD (1989) apresenta as seguintes recomendações:

- Conhecer o local da produção de sedimentos;
- Conhecer o local da deposição dos sedimentos;
- Controlar a deposição.

De acordo com Chella *et al.* (2003) o processo de assoreamento pode ser controlado e reduzido através de três medidas:

- Redução da quantidade final de sedimentos que entra no reservatório por meio do controle da erosão da bacia e da retenção de sedimentos;
- Remoção dos sedimentos por meios mecânicos, como dragagem e;
- Passagem do escoamento carregado de sedimentos através do reservatório e posterior liberação por descarga de fundo localizada na barragem.

Ressalta-se que o processo de recuperação de um reservatório assoreado não consiste em uma tarefa simples. A remoção periódica dos sedimentos acumulados é a maneira mais usual para sustentar a vida útil de reservatórios. Essa remoção pode ser feita pelo escoamento da água pelo reservatório, denominado método hidráulico, ou por meio de equipamentos mecânicos, como a dragagem do material depositado (CHELLA *et al.*, 2003).

O princípio básico da remoção de sedimentos de um reservatório, depositados ou não através do próprio escoamento, é baseado na utilização parcial da água armazenada, com a finalidade de criar um fluxo de alta velocidade que, passando pelos descarregadores de fundo,

⁴⁸ LINSLEY, R. K. e FRANZINI, J.B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, EDUSP, 1978.

⁴⁹ PONÇANO, W. L.; GIMENEZ, A.F.; LEITE, C. A. G.; CARLSTRON FILHO, C.; PRANDINI, F. L. e MELO, M. S. **Silting up of reservoirs in southern Brazil**; first results and a methodological approach. In: International Congress on Large Dams, 14., 1982, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro: ICOLD, 1982, v. 3, Q.54, R.33, p. 517-536.

possa transportar a maior quantidade possível de sedimentos para jusante da barragem. Ainda de acordo com Chella *et al.* (2003), esses métodos podem ser classificados como *sluicing* e *flushing*. No primeiro, o sedimento, antes de se depositar no reservatório, é liberado para jusante da barragem através dos descarregadores de fundo. Este método tem sido estudado em vários reservatórios, muitos deles localizados na China, como um eficiente meio de controle do assoreamento. O *flushing* é o método através do qual o sedimento que já está depositado no reservatório é removido pelo escoamento através dos descarregadores de fundo. Esse procedimento pode ser realizado com ou sem o rebaixamento do nível de água do reservatório, entretanto, a eficiência do método é diferente nos dois casos. Os resultados do método são melhores quando há o rebaixamento do nível de água do reservatório até quase próximo ao leito. Se o rebaixamento do nível de água for insuficiente, os depósitos localizados em regiões mais a montante do reservatório podem sofrer erosão e acabar se redepositando em frente à barragem, conduzindo a uma operação de remoção ineficiente.

Pode-se perceber, portanto, que a preservação e o controle dos processos erosivos a fim de evitar o assoreamento dos reservatórios estão intimamente associados a visão holística dos fatores estudados nesse item. Embora muitos desses fatores potenciais para o assoreamento ocorram naturalmente (como tipos de solos, pluviosidade, densidade de drenagem), existem outros em que a influência do homem é nítida (uso do solo, vegetação, densidade hidrográfica) e, portanto, passível de controle. Somente englobando o estudo dessas variáveis, por meio do diagnóstico e cruzamento dos dados levantados na região, por exemplo, tornará viável o manejo produtivo dos reservatórios de abastecimento de água na RMC.

3 PROCEDIMENTOS EMPREGADOS

Os cursos de água constituem parte dos processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre. O arranjo espacial dos cursos fluviais pode ser influenciado em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade, enfim, pelas características geomorfológicas da região. Dentro deste contexto, tornou-se necessário elaborar uma metodologia capaz de contemplar a relação entre os processos potenciais erosivos - intimamente associados às características geomorfológicas acima descritas - as análises morfométricas e a conseqüente potencialidade ao assoreamento causada por estes fatores.

Portanto, a metodologia descrita a seguir consiste em uma adaptação da metodologia de Salomão (1999) para o conhecimento do potencial erosivo em associação com análises morfométricas da respectiva área de estudo. Esta metodologia abrange a execução dos estudos a partir de levantamentos dos principais fatores naturais que geram os processos erosivos (solos, declividade e erodibilidade) além das formas antrópicas de uso e ocupação do solo, que agem diferenciadamente na formação da erosão laminar. Algumas adaptações foram realizadas, em virtude, por exemplo, da necessidade de elaboração de um mapa potencial pedológico, uma vez que o mesmo aponta para a existência dos solos em função de características como declividade e proximidade de drenagens. Em referência às análises morfométricas, estas foram incluídas em virtude da importância de seu significado, uma vez que o fluxo de água das drenagens colabora para o transporte de sedimentos, e, conseqüentemente, carrega os sedimentos que, no caso, se depositarão. A conjuntura das análises morfométricas com os levantamentos do potencial erosivo fornece uma base sólida para a detecção do assoreamento, a partir do cruzamento de dados (como será explicado adiante).

Para a elaboração do mapa-planialtimétrico (figura 2) foi utilizada a Carta Topográfica da Diretoria de Serviço Geográfico da Secretaria de Tecnologia e Informação do Exército Brasileiro em escala 1:25.000 nas seguintes articulações: Piraquara MI-2842-4-SE, Serra do Marumbi MI-2843-3-SO, São José dos Pinhais-NE MI-2857-2-NE e Rio Marumbi MI-2858-1-NO.

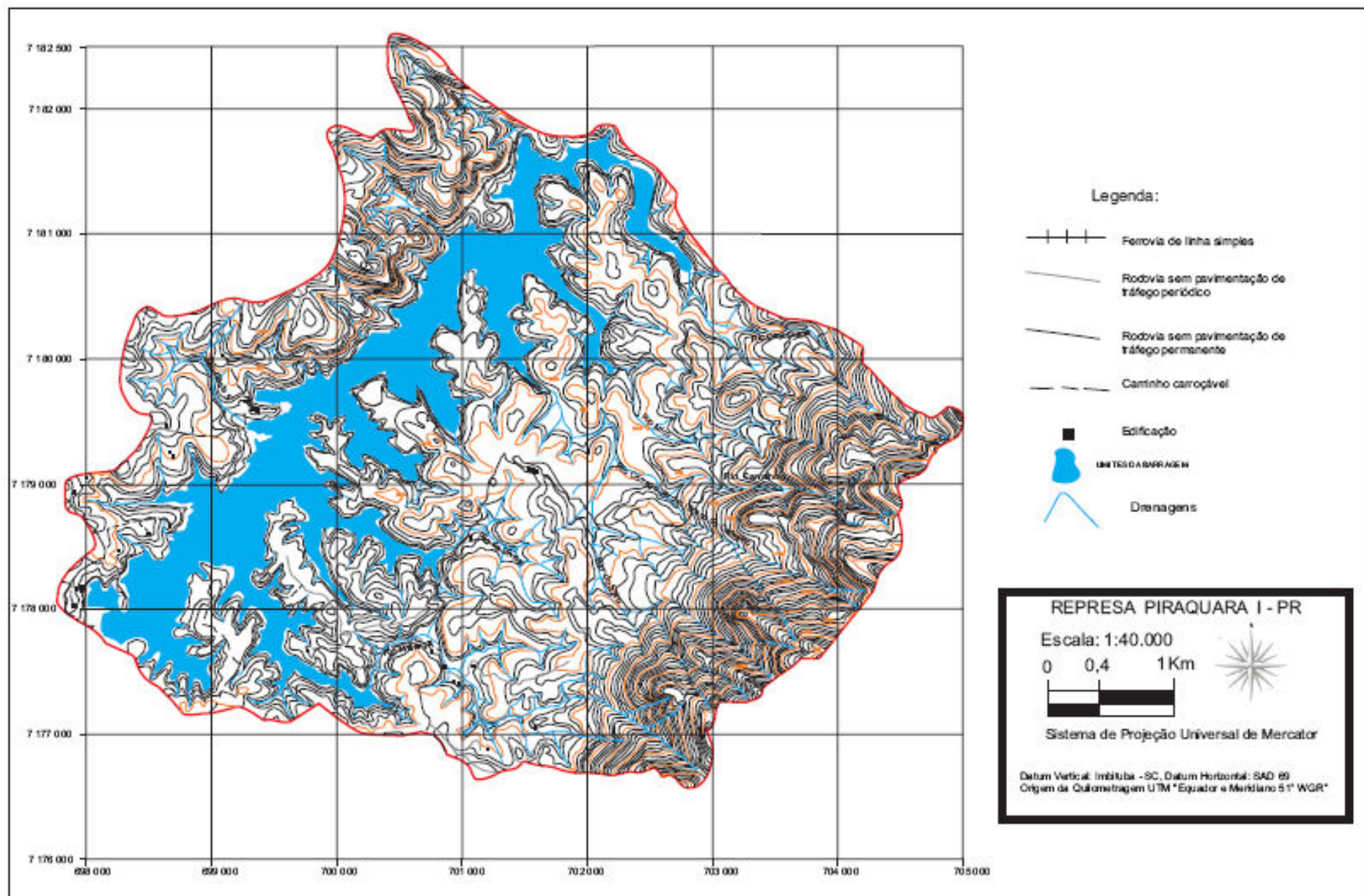


Figura 2 - Mapa plani-altimétrico

O mapa plani-altimétrico foi gerado a partir de uma imagem *raster* escaneada da barragem (figura 3) em escala 1:25.000 do Ministério da Defesa - Exército Brasileiro (Diretoria de Serviço Geográfico) de 2002. Após a devida definição dos pontos de referência e do estabelecimento da escala utilizada para a confecção dos mapas (em escala 1:40.000), foi gerado um *grid* para georreferenciamento da imagem.

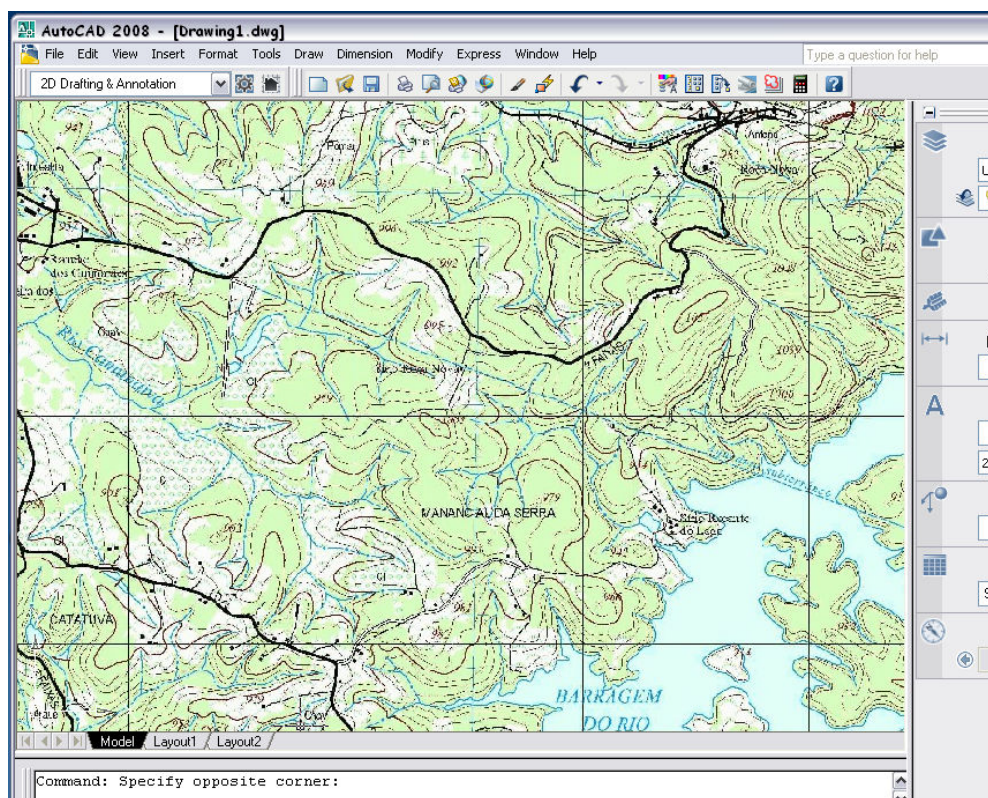


Figura 3 - Tela do AutoCAD com *raster* da barragem

A partir do mapa plani-altimétrico foi elaborado o mapa de declividade que, juntamente com os outros mapas podem ser encontrados no próximo capítulo. Para este mapa, foi feita a orientação da imagem digital e vetorização com o software Didger vs.3 (Golden Software). A partir de então, foi realizada a geração de arquivos binários com as coordenadas da altimetria e procedida a exportação dos dados para o software Surfer vs.8 (Golden Software) e elaborada a carta de declividade.

Após a elaboração do mapa de declividade foi possível gerar o mapa de modelagem do relevo em 3D por meio da exportação dos dados para o *software* Surfer vs.8 (Golden Software) da execução de etapas: elaboração do mapa de altimetria (por Krigagem), declividade, relevo e modelagem de superfície.

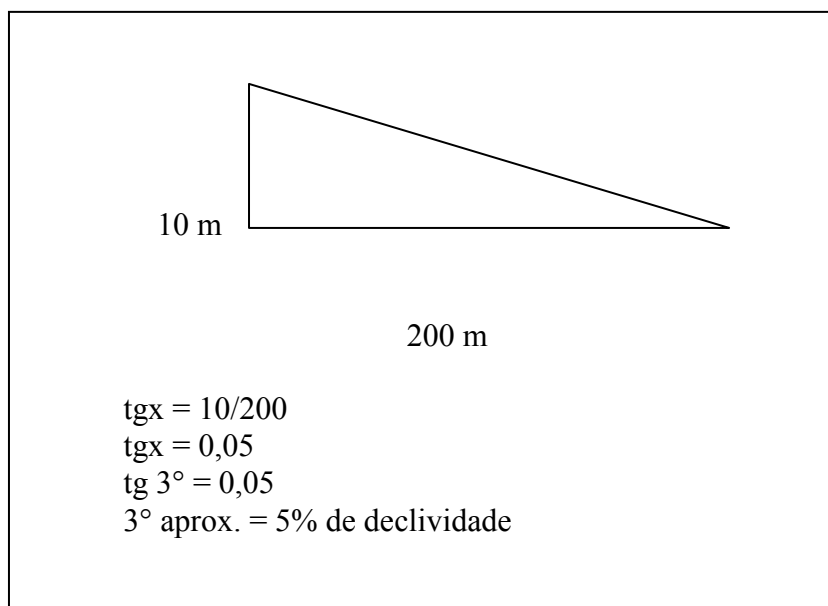
O mapa pedológico potencial foi realizado a partir do mapa de declividade. Os demais fatores formadores do solo, descritos por Jenny (1941) como clima, geologia, tempo e organismos não foram utilizados como parâmetros em função da limitação da extensão da bacia - que, por ser pequena, não sofre influências significativas dos fatores não levantados. As categorias de solos existentes (quadro 1) foram adaptadas de Salomão (1994, in: GUERRA *et al.*, 1999). Não foi elaborado um mapa a partir de mapas pedológicos existentes na área de estudo, em função da problemática da distorção de escala dos mapas existentes (no caso, mapa de Solos em escala 1:600.000 da Embrapa). Incluem-se ainda neste mapa os Gleissolos. Os limites dos Gleissolos foram estipulados a partir dos espaçamentos das curvas de nível próximas das redes de drenagem (quadro 2). A definição de critérios em quais porções do relevo estes solos se situam são fundamentais também para a estipulação dos limites. Lima (2004) identificou em porções entre 0 e 5% de declividade nas porções de relevo plano, em fundos de vale.

Estudos na Bacia do Rio Curralinho por Boiko (2004) elencaram os Gleissolos em porções de relevo plano de fundos de vale de baixa declividade (entre 0 a 6%), sendo o mais comum em análises o Glei húmico, influenciado pelo lençol freático e regime de umidade redutor. No presente estudo foram considerados Gleissolos os solos que, próximos às drenagens apresentavam um espaçamento de aproximadamente 8 mm (200 metros) em relação à curva de nível mais próxima (cuja equidistância no mapa plani-altimétrico é de 10 metros). Tal relação métrica adotada corresponde ao limite de 5% de declividade (conforme quadro 2), dentro portanto do padrão adotado por Boiko (2004) e Lima (2004). Além disso, observações feitas *in situ* em vários pontos às margens da barragem confirmam a ocorrência deste tipo de solo dentro dos limites acima explicados.

Declividade (em %)	Solo associado
>20	Cambissolo - Litossolo;
12 a 20	Argissolo;
De 0 a 12	Latossolo;

Fonte: adaptado de Salomão (1994, in: GUERRA *et al.*, 1999)

Quadro 1- Graus de declividade e tipos de solo associados



Quadro 2 - Medições da estipulação do limite de declividade para Gleissolos

A partir das unidades pedológicas levantadas as classes de erodibilidade são geradas para cruzamento posterior. De acordo com Silva (2007), a erodibilidade é a característica do solo que corresponde à sua suscetibilidade à erosão. Pode ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os fatores determinantes da erosão permanecem constantes.

Portanto, a erodibilidade mede a diferença existente entre os solos em decorrência das suas propriedades intrínsecas. A erodibilidade é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: (a) as que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de retenção de água; (b) as que resistem às forças de dispersão, ao impacto das gotículas de água, à abrasão e às forças de transporte pela chuva e escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

As respectivas categorias de classes de erodibilidade (quadro 3) foram utilizadas a partir das definições de Salomão (1994, In: GUERRA *et al.*, 1999):

Classes de erodibilidade	Unidades Pedológicas
I	-Cambissolos;
II	-Argissolos;
III	-Latosolos;
IV	-Gleissolos;

Fonte: adaptado de Salomão (1994, In: GUERRA *et al.*, 1999).

Quadro 3 - Classes de erodibilidade

Conforme ficará mais esclarecido adiante, estas classes adotadas partem de um grau maior de erodibilidade (associado aos Cambissolos) até um grau menor (Gleissolos). Certos fatores justificam a inclusão dos solos nas categorias descritas no quadro anterior. Os Cambissolos, cuja textura é variável entre arenosa e silto-argilosa, são solos extremamente sensíveis a processos erosivos, dado, sobretudo a sua impermeabilidade e características físicas. Os Argissolos apresentam distinta individualização de horizontes, com espessuras geralmente inferiores aos latossolos e caracterizam-se pela textura argilosa e média, são bem drenados e moderadamente porosos, sobretudo na parte superficial. Estão normalmente associados a matas de galeria, no curso superior das drenagens, onde o relevo vai do plano ao suave ondulado, sendo assim não tão erodíveis quanto os Cambissolos.

Os Latossolos são solos maduros, com horizontes profundos e bem delimitados. Por essa razão, são também fortemente lixiviados, isto é, pobres em nutrientes. São constituídos basicamente de grão de quartzo, na fração areia; e argilas inertes, tipo caolinita, e óxidos de ferro, na fração argila. Por serem inertes e pela grande coesão natural, são extremamente estáveis e resistentes a processos erosivos. A alta permeabilidade desses solos permite, com raras exceções, uma boa capacidade de infiltração. Os macroporos existentes nos Latossolos, formados por mecanismos que agregam os óxidos de ferro e as argilas, são os responsáveis por essa permeabilidade. São responsáveis, também, pela alta transmissividade, a qual permite a livre circulação da água freática, que abastece as nascentes que drenam para o vale dos córregos. Essa característica é constante, seja em latossolos de textura média, seja em de

textura argilosa. No que concerne à vulnerabilidade à erosão, se mantidas suas características físicas e a cobertura vegetal, os Latossolos são extremamente resistentes. Entretanto, uma vez alterada essa situação (retirada da cobertura vegetal, compactação, movimentação do solo) tornam-se colapsáveis, ocorrendo diversas feições erosivas.

Os Gleissolos ocorrem em áreas mal drenadas, onde ocorre excesso de umidade permanente ou temporária. Restringem-se a porções sujeitas às inundações e às margens de cursos de água. Gleissolos são os intrazonais em que as características zonais não se desenvolveram em virtude da grande influência da água no solo, condicionada principalmente pelo relevo. Apresentam características associadas a encharcamentos, que podem provocar acumulações de matéria orgânica ou um fenômeno de redução identificado pela sua cor típica, correspondendo respectivamente a solos orgânicos e solos mais minerais.

O mapa de suscetibilidade à erosão laminar foi construído a partir do cruzamento entre o mapa pedológico (com as respectivas classes de erodibilidade) e o mapa de declividade. Uma vez que o fator erodibilidade está fortemente associado com a declividade do terreno para a suscetibilidade dos solos à erosão laminar, estudos de Guerra (1999) - com base em critérios adotados pelo IPT (1990) - fizeram o cruzamento destas categorias e definiram a seguinte tabela de classes de suscetibilidade à erosão laminar (quadro 4):

		Mapa de declividade (em %)			
		I (>20)	II (12 a 20)	III (6 a 12)	IV (<6)
Mapa pedológico (com classes de erodibilidade)	I	I	I	II	II
	II	I	II	II	III
	IV	III	IV	IV	V
	V	V	V	V	V

Fonte: adaptado de Salomão (1994, In: GUERRA *et al.*, 1999).

Quadro 4 – Classes adotadas pelo cruzamento dos mapas de erodibilidade com declividade

As classes definidas, para facilitar a técnica de detecção do potencial à erosão laminar, estão organizadas em ordem decrescente do potencial de suscetibilidade, assim definidas:

- a) CLASSE I - extremamente suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou reflorestamento;
- b) CLASSE II - muito suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento;
- c) CLASSE III - moderadamente suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes;
- d) CLASSE IV - pouco suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle da erosão;
- e) CLASSE V - pouco a não suscetível: corresponde a terrenos sem problemas de conservação, mas exigem técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos encharcados.

Conforme mencionado no item anterior do presente estudo, as formas de ocupação do solo interferem excessivamente no potencial à erosão que algumas bacias poderão sofrer. Fica claro, portanto, que o potencial à erosão laminar depende das características naturais do relevo e do solo em função da forma de interferência antrópica desenvolvida.

O mapa de cobertura vegetal e uso do solo foi confeccionado a partir das bases cartográficas em escala 1:50.000 do programa Pró-Atlântica, da SEMA (2002) pelo Sistema de Projeção UTM, Datum Vertical Imbituba-SC, Datum Horizontal SAD 69, Origem da quilometragem UTM “Equador e Meridiano 51° WGR” a partir das articulações São José dos Pinhais 2857-2, Mundo Novo 2858-1, Tijucas do Sul 2857-4 e Pedra Branca do Araraquara 2858-3, e partes das articulações MI-2857-1, MI 2857-3, MI-2869-2 e MI-2870-1. Nestas bases do Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná, aplicaram-se técnicas de Sensoriamento Remoto com a interpretação de imagens de satélite e trabalhos de apoio em campo e fotografias aéreas. Este método foi utilizado pelo fato de ser a técnica que mais se aplica nas condições de complexidade do levantamento realizado pela SEMA (2002) em questão, levando-se em consideração o tamanho da área e escala de apresentação. As imagens de satélite que deram suporte a todo o mapeamento foram obtidos pelo LANDSAT ETM-7.

O levantamento das cobertura vegetal e uso do solo encontradas na região foi organizado sob classes (quadro 5), para efetivar o cruzamento de dados na elaboração do mapa potencial à erosão laminar. Para facilitar o cruzamento com o mapa de uso e ocupação do solo na geração do mapa potencial à erosão laminar, que logo será descrito, estas classes estão organizadas em ordem decrescente de predisposição do solo a processos erosivos:

Classes de cobertura vegetal e uso do solo	Características
I	Solo exposto;
II	Culturas (atividades agrícolas);
III	Pasto e campos;
IV	Cobertura vegetal de porte alto a médio;

Fonte: adaptado de Salomão (1994, in: GUERRA *et al.*, 1999)

Quadro 5 – Classes adotadas para o mapa de cobertura vegetal e uso do solo

O mapa de potencialidade à erosão laminar foi realizado por meio de um outro tipo de cruzamento, levando em conta a suscetibilidade à erosão laminar e a cobertura vegetal e uso do solo, conforme esquematiza o quadro 6:

		Classes de uso e ocupação dos solos			
		I	II	III	IV
Classes de suscetibilidade à erosão laminar	I	I	I	I	II
	II	I	II	II	III
	III	II	II	II	III
	IV	II	III	III	III
	V	III	III	III	III

Fonte: adaptado de Salomão (1994, in: GUERRA *et al.*, 1999)

Quadro 6 – Cruzamento de classes para o mapa potencial à erosão laminar

As classes se apresentam da seguinte maneira:

- a) CLASSE I - alto potencial: uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar;
- b) CLASSE II - médio potencial: uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, possível de ser controlada com práticas conservacionistas adequadas;

c) CLASSE III - baixo potencial: uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão laminar.

As análises morfométricas que, em conjunto com os levantamentos do potencial erosivo da área de estudo irão apontar o risco potencial ao assoreamento, foram feitas em função das oito bacias, que representam toda a área que drena para a barragem. Estas bacias apresentam ordem hierárquica de terceira ordem e superiores, conforme a classificação de Strahler (1997). A figura 4 ilustra o processo de categorização das hierarquias.

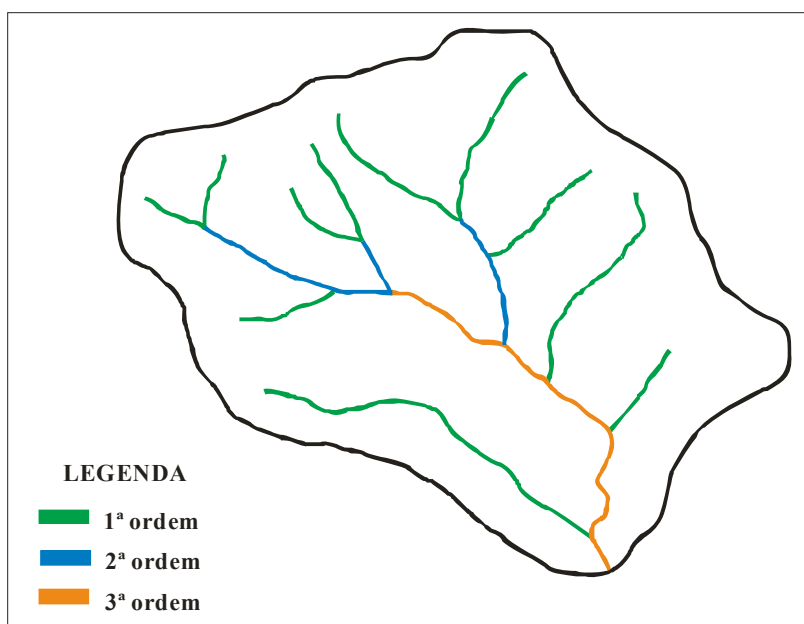


Figura 4 – Ordem hierárquica dos rios

Não foram incluídas as redes de segunda ordem e inferiores, uma vez que suas extensões são muito pequenas, e que muitas vezes, em função de períodos de estiagem, secam.

Partindo-se desta metodologia, as medições realizadas apontaram para oito bacias de terceira ordem e superiores (figura 5): bacia do rio Cayuguava, bacia do rio Mico, bacia do Córrego Jardim, bacia do Ribeirão do Zero, bacia do rio da Divisa e bacia do rio Melança. Para outras duas bacias não identificadas na região oficialmente, seus nomes foram arbitrariamente escolhidos para a facilidade no estudo. A nomeação se deu em função localização relativa destas bacias. Por se encontrarem na porção oeste da Barragem, receberam este sistema de nomeação seguidos de letras “N”, e “S”, em virtude de se situarem mais ao norte e ao sul, respectivamente (bacia do rio Oeste N e bacia do rio Oeste S).

No mapa plani-altimétrico, encontram-se o nome entre parênteses do rio Córrego Jardim como Braço do Carvalho. Acima dele o rio Carvalho e abaixo o rio do Salto. Em respeito à antiga nomenclatura destes rios eles foram identificados (as cartas atuais analisadas omitem estes nomes). É necessário respeitar a importância histórica destes nomes, uma vez que, por exemplo, era no Braço do Carvalho que se encontrava a represa do Carvalho.

Partindo-se do levantamento das bacias, as análises morfométricas foram realizadas em função de dois parâmetros: a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem.

A densidade de drenagem reflete a propriedade de transmissibilidade do terreno e conseqüentemente a suscetibilidade a erosão. Uma área com um índice elevado de densidade de drenagem é resultante da baixa transmissibilidade do terreno, conseqüentemente fica mais sujeita a erosão. Como existe uma relação direta entre a suscetibilidade à erosão e os processos de assoreamento, o cálculo da densidade de drenagem das bacias selecionadas é fator fundamental para o diagnóstico de áreas-fonte ao assoreamento.

Áreas de baixas densidades de drenagem são constituídas por relevo plano e suave, cuja condição de alta permeabilidade permite rapidez de infiltração de água e conseqüente formação de lençóis aquíferos. O regime pluvial apresenta escoamento superficial pouco significativo, gerando mecanismos de erosão hídrica ligados ao processo inicial da gota de chuva e provocando a erosão laminar ou em lençol, decorrente do atrito do próprio escoamento superficial que conduz material erodido dos pontos abaixo das encostas para as calhas fluviais.

Autores como Silva Filho (2002) fizeram análises morfométricas para a detecção de erosão laminar em Mococa-SP. Intensos processos erosivos foram diagnosticados em porções de declividade média de 6 a 20% em Latossolo, com alta densidade de drenagem.

O cálculo da densidade de drenagem foi realizado a partir da equação:

$$Dd = \frac{N}{A}$$

Onde Dd representa a densidade de drenagem, N representa a soma do comprimento total entre as ordens envolvidas e A representa a área da bacia.

Outro fator importante para análise consiste na densidade hidrográfica. Este índice reflete as mesmas propriedades que a densidade de drenagem, entretanto fornece uma noção mais clara sobre os processos de controle no desenvolvimento da rede hidrográfica, tanto naturais quanto artificiais (Milani, 2001).

Para o cálculo da densidade hidrográfica, a seguinte equação é utilizada:

$$Dh = \frac{\sum n_i}{A}$$

Onde Dh representa a densidade de segmentos, n_i a soma do número de segmentos de todas as ordens e A a área da bacia.

O levantamento das densidades hidrográficas foi realizado a partir do diagnóstico da quantidade de canais existentes para cada bacia selecionada, em relação à sua respectiva área. A contribuição da densidade hidrográfica para o presente estudo é comparativa com a densidade de drenagem, na observância de valores elevados coincidentes para os respectivos parâmetros. No capítulo seguinte esta discussão será mais aprofundada.

A conjunção dos levantamentos sobre o potencial erosivo laminar na área de estudo com os levantamentos morfométricos, em específico com a densidade de drenagem, permitiram a elaboração do mapa das principais áreas-fonte contribuidoras ao assoreamento na barragem Piraquara I.

Foi desenvolvida então uma metodologia inédita para a elaboração do mapa de potenciais áreas-fonte ao assoreamento em função das relações de densidade de drenagem e do potencial erosivo laminar. O cruzamento das áreas das bacias com Dd superior a 3,5 km/km² com a respectiva classe de potencial erosivo laminar gerou potenciais áreas-fonte com categorias de risco uma classe acima do respectivo potencial erosivo.

Metodologicamente considerou-se então que estes valores de Dd elevados já são um fator de aumento de risco ao assoreamento. Ainda: a definição deste valor está em conformidade com as considerações de Villela e Mattos⁵⁰ (1975 In: TONELLO *et. al.*, 2006), que consideram bacias com densidade de drenagem de densidade de 3,5 km/km² ou mais como excepcionalmente bem drenadas e que, portanto, contribuem significativamente para a deposição de sedimentos.

Para as regiões com Dd abaixo de 3,5 km/km² e bacias de baixa ordem hierárquica (1ª e 2ª ordens) as potenciais áreas-fonte ao assoreamento apresentaram a mesma dimensão de classe do potencial erosivo laminar. Consiste em uma metodologia inovadora e, portanto, passível de discussões futuras, especialmente a partir de medições efetivas de assoreamento.

As atividades de campo desenvolvidas neste estudo forneceram suporte para a conferência dos limites dos Gleissolos, verificação de pontos de erosão laminar diagnosticados e deposição de sedimentos, além de conferência das diversas categorias de uso

⁵⁰ VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

e ocupação do solo e checagem de pontos em relação à carta topográfica para a detecção de certas drenagens (como conferência de localização, por exemplo, com auxílio ainda de equipamento de GPS).

Esquemáticamente, a figura 6 resume a abordagem metodológica adotada no presente estudo:

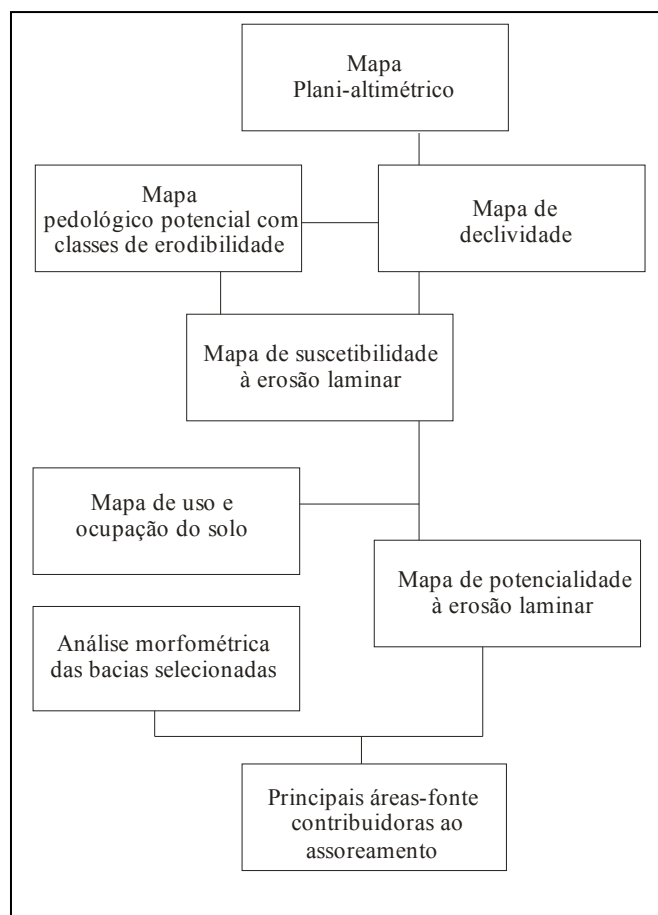


Figura 6 - Esquema das etapas metodológicas

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da elaboração cartográfica descrita no capítulo anterior, um dos primeiros elementos de destaque relativo consiste no mapa de declividade, conforme mostra a figura 7, na página seguinte. A visualização proporcional das porcentagens encontradas na realidade indica uma área em que parte considerável abrangida pelas bacias em seu médio curso apresenta as menores porcentagens. Os valores mais altos, por sua vez, estão associados à proximidade com a Serra do Mar, contribuidora à leste da barragem.

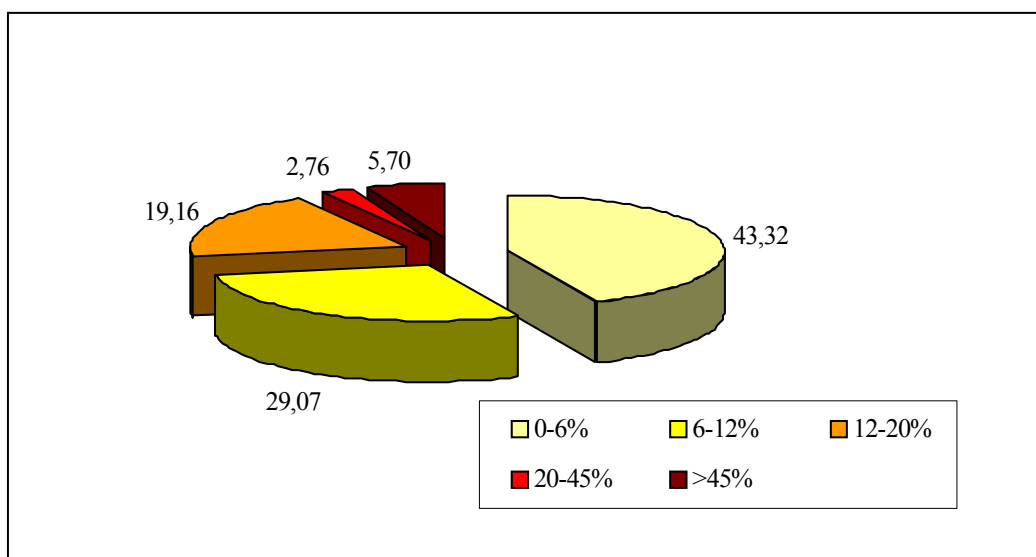


Gráfico 1 - Distribuição das declividades

Como foi anteriormente explicado, o conhecimento destas distribuições de declividade facilita a compreensão da suscetibilidade à erosão laminar ao se associar estes dados com as respectivas categorias de erodibilidade, que serão vistas adiante.

O mapa pedológico potencial com classes de erodibilidade (Figura 8) elaborado a partir do mapa de declividade sendo, portanto, um mapa de adaptação de categorias de solos em virtude do risco aos processos erosivos (conforme capítulo 3). As referidas classes encontradas para este mapa, conforme já visto, foram as classes I (Cambissolos), classe II (Argissolos), classe III (Latosolos) e classe IV (Gleissolos).

Reafirma-se que a erodibilidade é fundamental para o conhecimento da suscetibilidade à erosão, uma vez que se correlaciona com a intensidade dos graus de declividade e seu diagnóstico consiste em um dos fatores naturais fundamentais para o levantamento da suscetibilidade à erosão laminar (ou seja, a consideração dos fatores naturais que estão relacionados à erosão laminar).

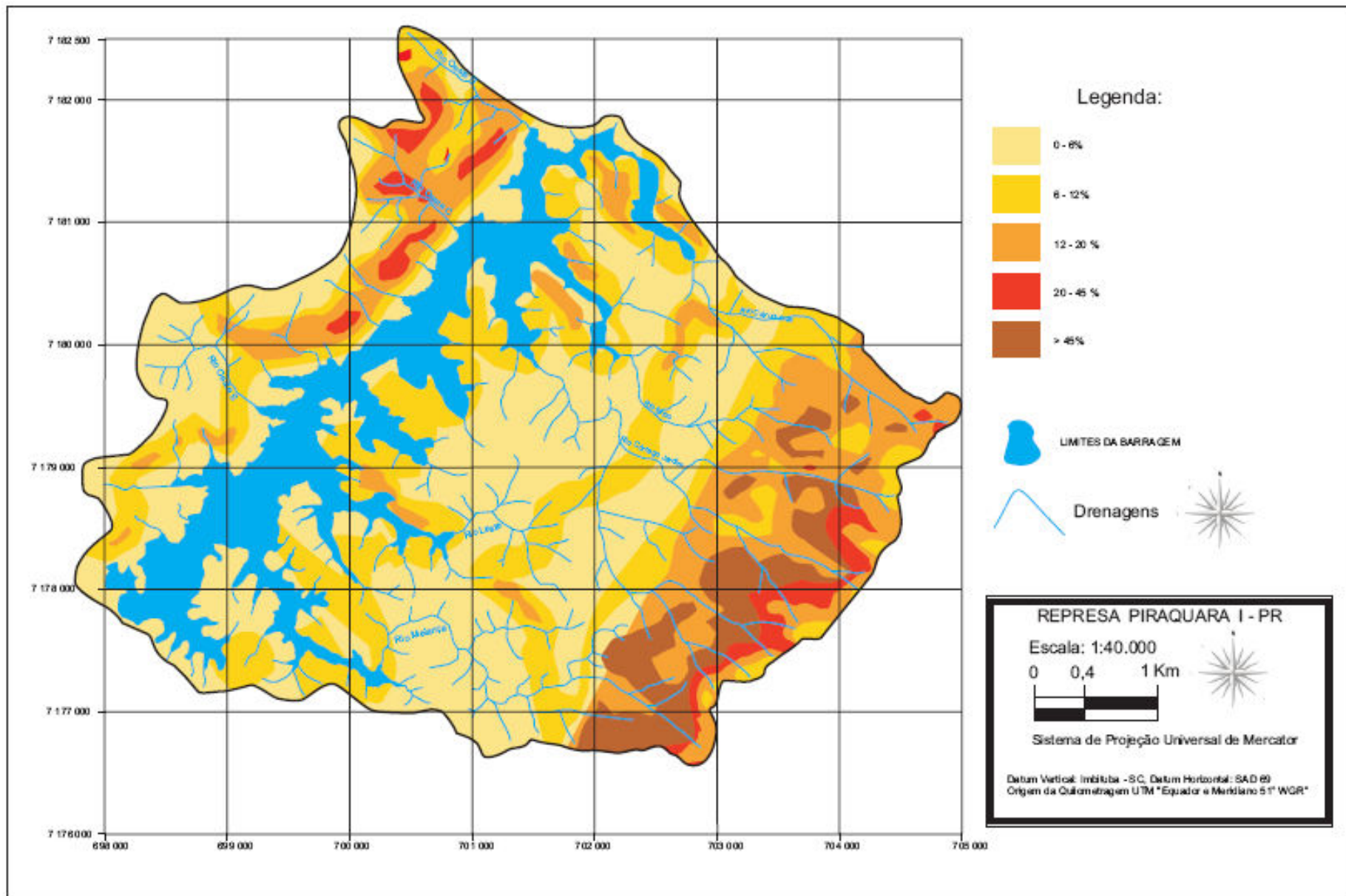


Figura 7 – Mapa de declividade

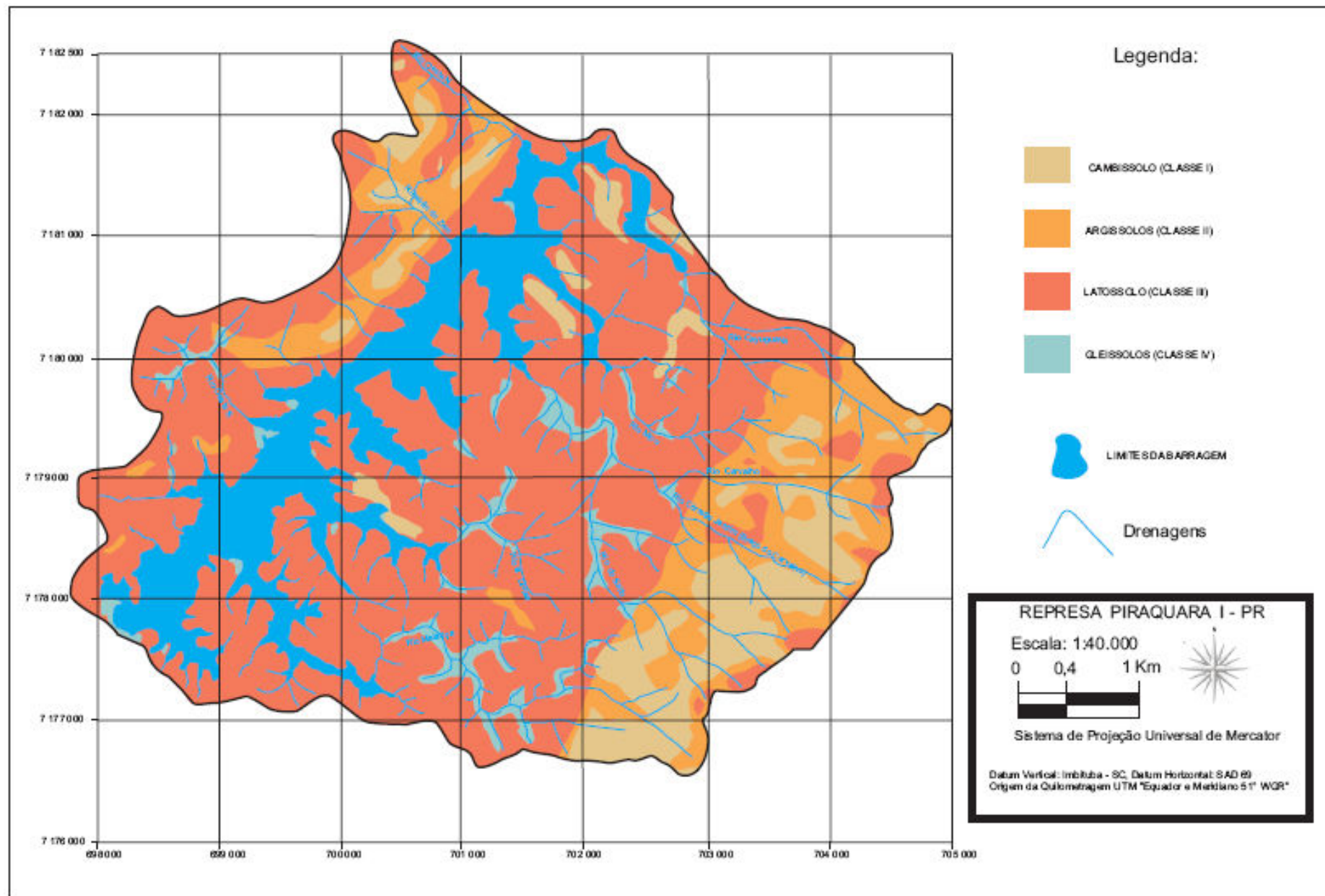


Figura 8 – Mapa pedológico potencial com classes de erodibilidade

De acordo com o gráfico 2, observa-se que o mapa de erodibilidade apresentou a seguinte distribuição de classes na porção estudada: classe I com 2,14 km² (10,01 % da área total), classe II 4,10 km² (ou seja, 19,14 % da área total), classe III 14,33 km² (66,85 %) e a classe IV com 0,85 km² (4 % do total).

Uma análise destes dados indica que mais de dois terços da área total de estudo apresenta uma erodibilidade muito baixa (pouco a não suscetível à erodibilidade dos solos).

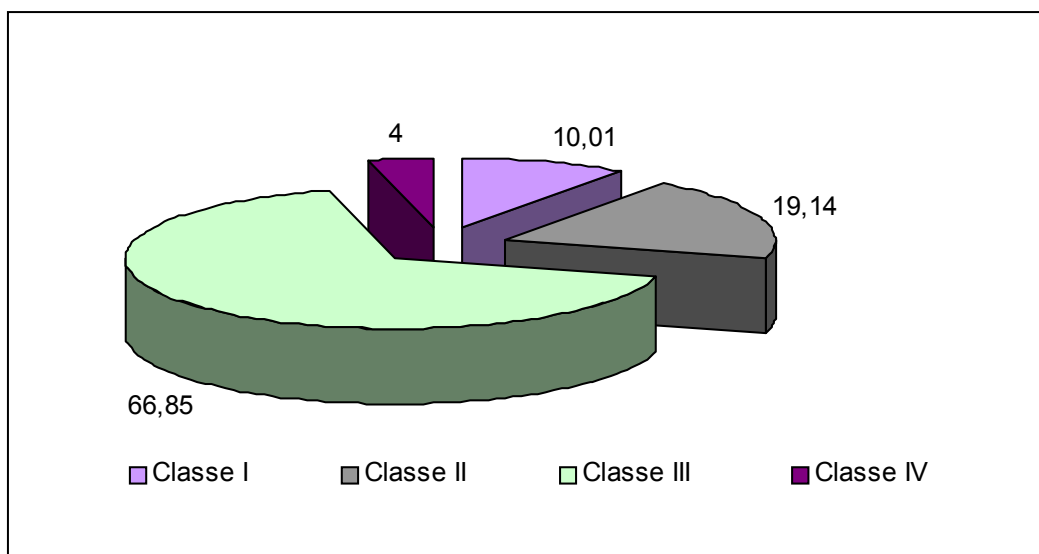


Gráfico 2 - distribuição das classes de erodibilidade (em %)

Sendo o grande diferencial do potencial à erosão laminar em relação à suscetibilidade à erosão laminar a inserção do fator de uso e ocupação do solo, é necessária uma cuidadosa análise dos levantamentos da forma com que se ocupa o solo da área estudada.

A partir do conjunto de dados de erodibilidade e declividade, o cruzamento entre estes gerou o mapa de suscetibilidade à erosão laminar (figura 9).

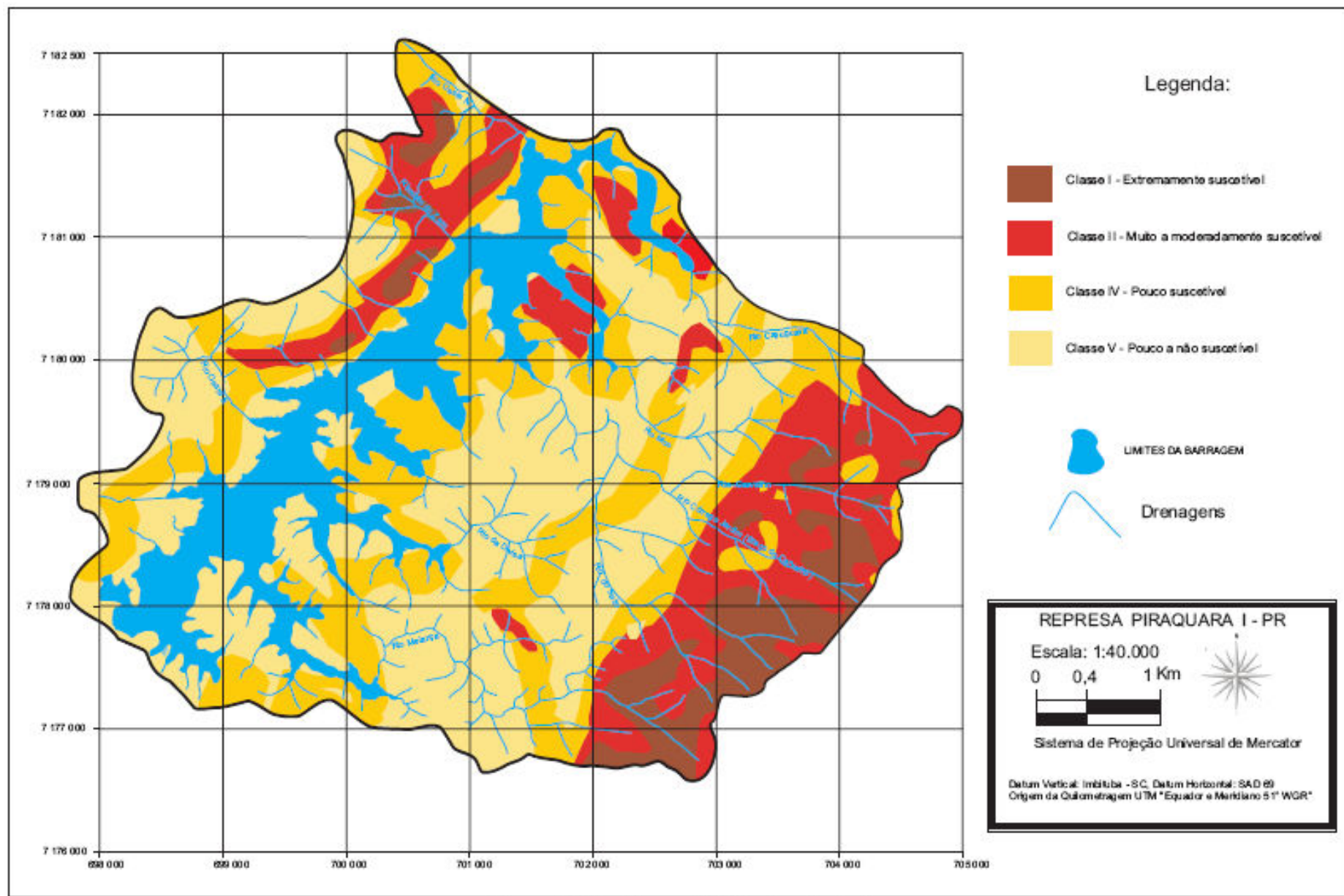


Figura 9 - Mapa de suscetibilidade à erosão laminar

Conforme ilustra o gráfico 3, o mapa de suscetibilidade à erosão laminar distribui suas classes da seguinte maneira: classe I 1,79 km² (8,35 % da área total), classe II com 4,63 km² (21,59 %), classe IV apresentando 6,21 km² (28,96%) e classe V com 8,81 km² (41,11 % da área total).

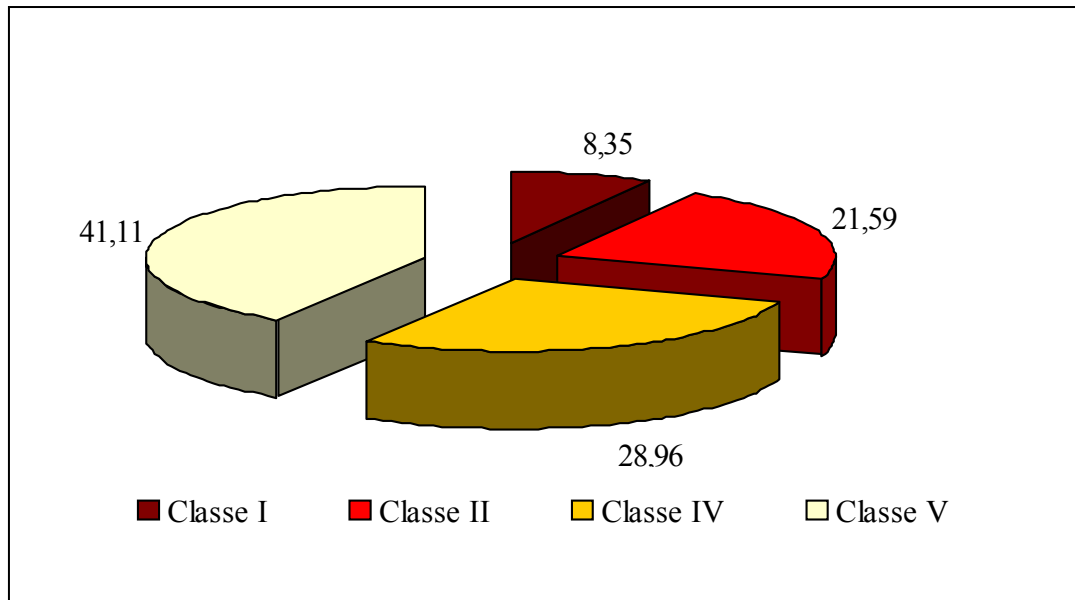


Gráfico 3 - Distribuição das áreas de classes de suscetibilidade à erosão laminar (em %)

A partir da definição de classes do mapa de cobertura vegetal e uso do solo (conforme explicado anteriormente), as categorias de legendas apresentam uma área consideravelmente preservada, com um pequeno foco de reflorestamento ao sul da porção da barragem e algumas áreas de campos. A figura 10, na próxima página, apresenta a vegetação original (Floresta Ombrófila Mista-Montana / Floresta com Araucárias) entremeada por estágio sucessional avançado encontrado na porção sul da barragem. Na figura 11 observa-se o mapa de cobertura vegetal e uso do solo com a respectiva categoria de classes para o cruzamento posterior com o mapa de suscetibilidade, conforme descrito no capítulo anterior.



Figura 10 – Cobertura vegetal original na porção sul da barragem do Cayuguava

Autoria: Leandro Guimarães

A prancha 2 - Exemplos de ocupações e paisagens na barragem Piraquara I - ilustra de maneira generalizada algumas formas de ocupação do solo e paisagens encontradas na área de estudo. A figura 1 ilustra a forma de ocupação do solo comumente encontrada na porção oeste à barragem, próxima da antiga região de escoamento de água da barragem (figura 2). As figuras 3 e 4 ilustram a exposição do solo às margens da barragem, especialmente apresentadas quando o nível se encontra mais baixo. A figura 5 ilustra o relevo da Serra do Mar, formação contribuidora para várias drenagens que deságuam na barragem. A partir da figura 6 podemos observar a concentração de pequenas propriedades que praticam culturas diversas. A figura 7 indica o Centro de Educação Ambiental, que concentra atividades desenvolvidas e pesquisas realizadas na barragem.

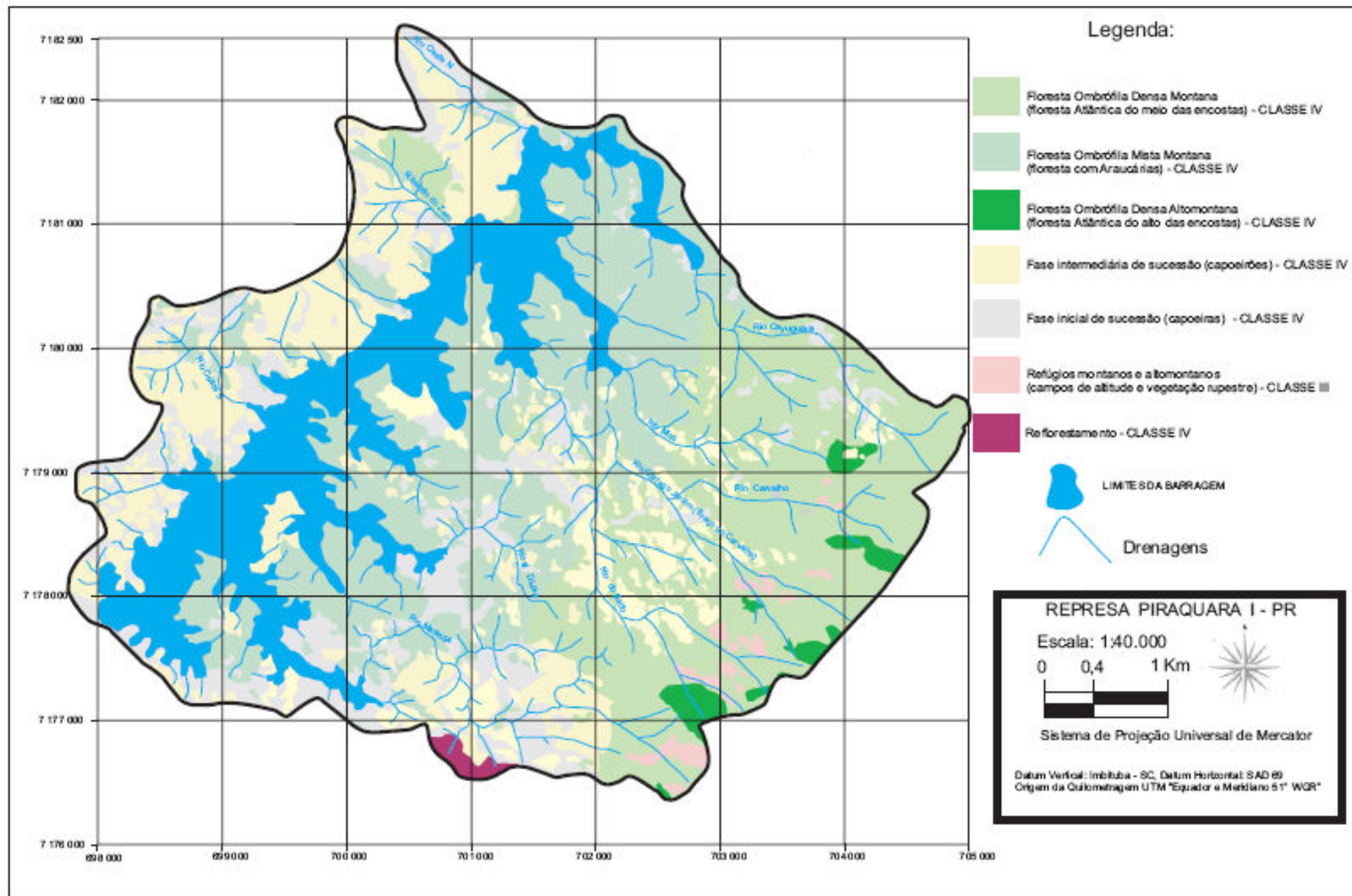
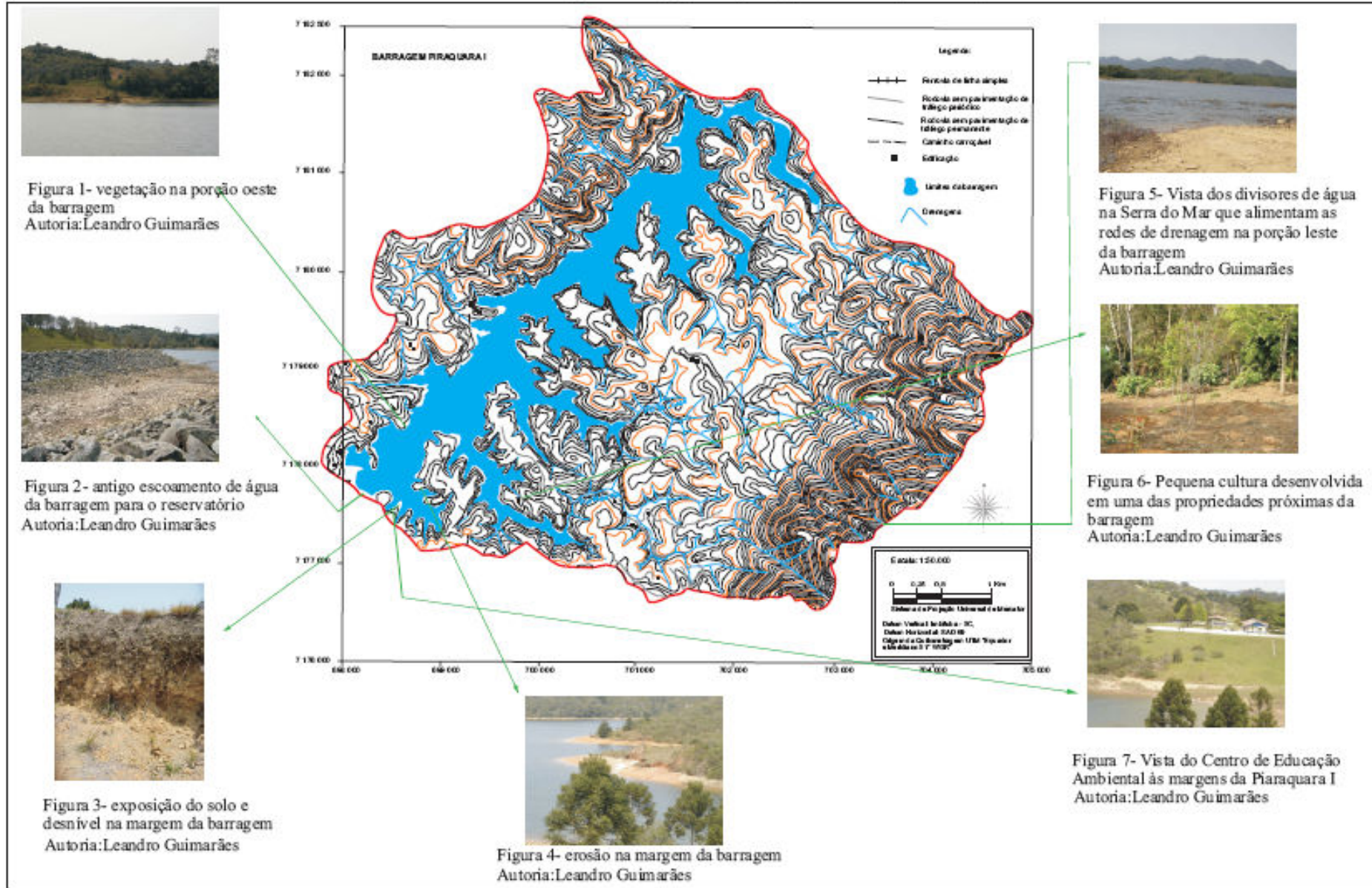


Figura 11 – Mapa de cobertura vegetal e uso do solo (com classes)

PRANCHA 2 - Exemplos de ocupações e paisagens na barragem Piraquara I



Um aspecto importante que vale ressaltar, em função da escala, não podemos perceber algumas alterações pontuais na vegetação em determinados pontos da barragem. O chamado efeito de borda tem sido registrado em alguns pontos, onde cipós, bambus e samambaias (figura 12) se desenvolveram em caminhos e trilhas na região. Algumas atividades realizadas pela Caiuguava Pesquisas têm recuperado a vegetação invasora para a recomposição da mata.



Figura 12 – invasão de samambaias e bambus (efeito de borda)

O cruzamento do mapa de classes de uso e ocupação do solo com o mapa de suscetibilidade à erosão laminar gerou o mapa de potencialidade à erosão laminar (figura 13).

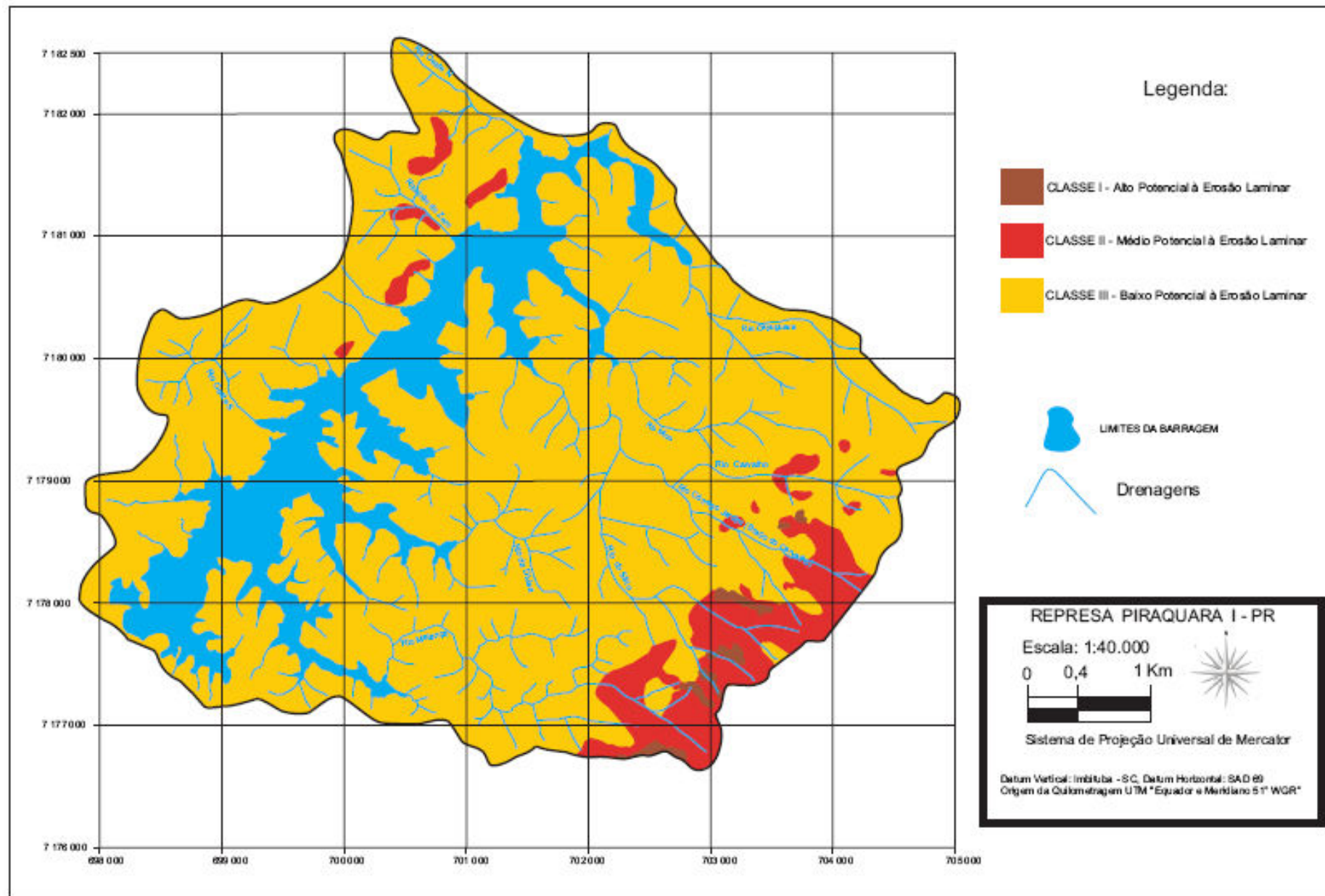


Figura 13 – Mapa de potencialidade à erosão laminar

Como podemos observar no gráfico 4, o potencial à erosão laminar se distribui em classe I com 0,13 km² (0,65% da área total), classe II com 1,78 km² (ou seja, 8,33 % do total) e classe III com 19,52 km² (91,02 %).

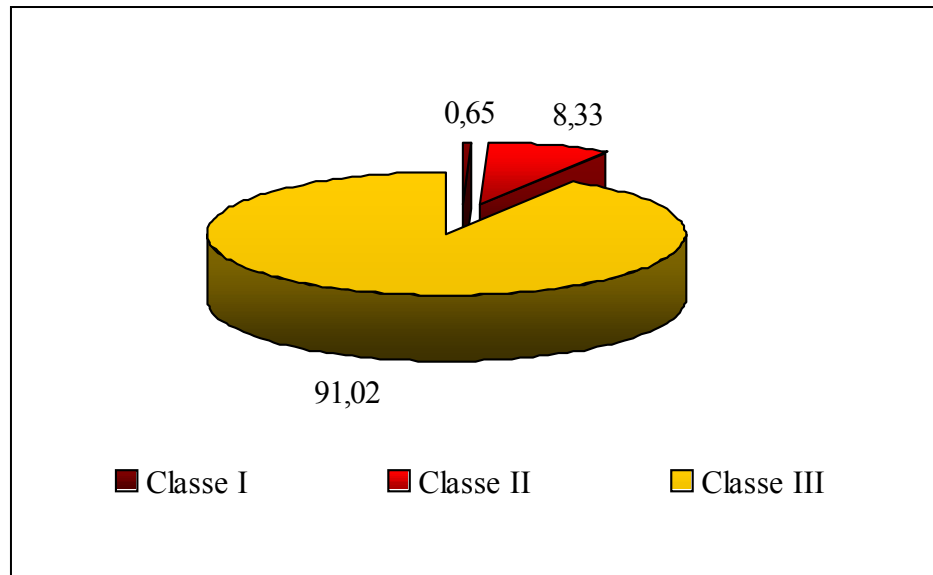


Gráfico 4 - Distribuição das áreas de classes de potencialidade à erosão laminar (em %)

O mapa potencial à erosão laminar indica que em função dos fatores naturais a este processo erosivo correlacionados com o uso e ocupação do solo, a área de estudo se encontra com pouco potencial à erosão laminar (mais de 99 % distribuídos entre as classes 2 e 3 (ou seja, áreas de médio e baixo potencial).

A partir do potencial erosivo, a análise morfométrica consiste no fator que será correlacionado para o diagnóstico das áreas potenciais contribuidoras de sedimentos na barragem. A análise morfométrica constitui parâmetro de análise fundamental na detecção de processos erosivos/assoreamento.

A partir da detecção e análise dos levantamentos realizados, os seguintes valores puderam ser elencados, em conformidade com o quadro 7. Pode ser destacado a partir dos dados a grande quantidade de canais de 1ª ordem (182) e a inexistência de canais de 5ª ordem.

Área total de estudo	25,16 km ²
Perímetro da área de estudo	23,15 km
Comprimento dos canais de primeira ordem	41,95 km
Total de canais de primeira ordem	182
Comprimento dos canais de segunda ordem	17,5 km
Total de canais de segunda ordem	39
Comprimento dos canais de terceira ordem	7,37 km
Total de canais de terceira ordem	10
Comprimento dos canais de quarta ordem	1,27 km
Total de canais de quarta ordem	1

Quadro 7 - Dados morfométricos gerais da área de estudo

Os dados puderam então ser organizados da seguinte forma, conforme indica o quadro 8, apresentando os perímetros e as áreas das bacias analisadas. Os resultados levantados mostram que a bacia do rio Oeste N apresenta como perímetro 3,25 km e área total de 0,57 km², a bacia do Ribeirão do Zero com perímetro de 3,62 km e área total de 0,76 km², a bacia do rio Oeste S com 3,85 km de perímetro e 0,81 de área total. Ainda temos, respectivamente com perímetros e áreas de bacia: a do rio Cayuguava com 7,10 km e 2,32 km², bacia do rio Mico com 5,20 km e 1,19 km², a bacia do rio Córrego Jardim com 10,10 km e 4,75 km², a bacia do rio da Divisa com 4,20 km e 0,91 km² e a bacia do rio Melanço com 7,87 km e 2,76 km².

	Perímetro da Bacia (km)	Área total da Bacia (km²)
Bacia do rio Oeste N	3,25	0,57
Bacia do Ribeirão do Zero	3,62	0,76
Bacia do rio Oeste S	3,85	0,81
Bacia do rio Cayuguava	7,10	2,32
Bacia do rio Mico	5,20	1,19
Bacia do rio Córrego Jardim	10,10	4,75
Bacia do rio da Divisa	4,20	0,91
Bacia do rio Melanço	7,87	2,76

Quadro 8 – Extensão das bacias de terceira ordem e superiores

Já o quadro 9 sintetiza todos os dados a respeito dos canais de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordens, bem como o total de canais. Ainda foram organizados nesta tabela os dados referentes ao comprimento dos canais de 1^a, 2^a, 3^a e 4^a ordens, assim como o comprimento total dos canais.

	Canais de 1ª ordem	Canais de 2ª ordem	Canais de 3ª ordem	Canais de 4ª ordem	Total de canais	Comprimento dos canais de 1ª ordem (km)	Comprimento dos canais de 2ª ordem (km)	Comprimento dos canais de 3ª ordem (km)	Comprimento dos canais de 4ª ordem (km)	Comprimento total dos canais (km)
Bacia do rio Oeste N	6	2	1	0	9	1,57	0,5	0,5	0	2,57
Bacia do Ribeirão do Zero	8	2	1	0	11	2,4	0,57	0,4	0	3,37
Bacia do rio Oeste S	10	3	1	0	14	2,3	0,75	0,55	0	3,6
Bacia do rio Cayuguava	11	4	1	0	16	2,6	2,17	0,075	0	4,85
Bacia do rio Mico	11	4	1	0	16	3,25	2,7	0,65	0	6,6
Bacia do rio Córrego Jardim	27	6	3	1	37	8,8	6,25	2,1	1,27	18,42
Bacia do rio da Divisa	9	4	1	0	14	2,4	0,6	0,625	0	3,625
Bacia Do Rio Melança	29	5	1	0	35	6,25	2,45	2,47	0	11,17

Quadro 9 – Extensão dos canais das bacias de terceira ordem e superiores

Para Garbossa (2003), quando o valor da densidade de drenagem (Dd) é superior ao da densidade hidrográfica (Dh), denota um acentuado controle estrutural, alongando os comprimentos dos canais, o que reflete um menor número de canais, porém com comprimentos mais elevados. Conforme citado no capítulo anterior, para Villela e Mattos⁵¹ (1975 In: TONELLO, 2006), o índice de densidade de drenagem pode variar de 0,5 km/km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas. Fica evidente, portanto, a excepcional capacidade de drenagem de quase todas as bacias. Valores baixos de densidade de drenagem estão geralmente associados a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação.

Como pode ser observado no quadro 10, as maiores densidades de drenagem apresentadas na ordem crescente são: bacia do rio Cayuguava 2,09 km/km², bacia do rio Córrego Jardim 3,88 km/km², bacia do rio da Divisa 3,98 km/km², bacia do rio Melanço 4,05 km/km², bacia do Ribeirão do Zero 4,44 km/km², bacia do rio Oeste S 4,44 km/km², bacia do rio Oeste N 4,52 km/km² e a bacia do rio Mico com 5,55 km/km².

Bacias de 3ª ordem e superiores	Densidade de drenagem (km/km²)
Bacia do rio Cayuguava	2,09
Bacia do rio Córrego Jardim	3,88
Bacia do rio Melanço	4,05
Bacia do rio da Divisa	3,98
Bacia do rio Mico	5,55
Bacia do rio Oeste N	4,52
Bacia do rio Oeste S	4,44
Bacia do Ribeirão do Zero	4,44

Quadro 10 – Densidades de drenagem das bacias de terceira ordem e superiores

⁵¹ VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

Para os índices de densidade de drenagem, Lana (2001) encontrou na bacia do Rio do Tanque-MG valores de $4,92 \text{ km/km}^2$, valor muito próximo à bacia dos rios Melanção, Oeste N, Oeste S e Ribeirão do Zero, apontando para a existência de um grande escoamento superficial e uma intensa dissecação associada.

Podemos citar novamente Christofolletti (1970, p.158) para uma importante consideração sobre a densidade de drenagem: “a transmissibilidade (medida da permeabilidade do terreno) aumenta quando a densidade de drenagem diminui, e a transmissibilidade diminui quando a densidade de drenagem aumenta”.

Uma vez que todas as bacias analisadas apresentam altos índices de densidade de drenagem e, conseqüentemente, menor transmissibilidade, chega-se à mesma conclusão que Dibieso (2005) apontou ao analisar elevados valores de densidade de drenagem para o córrego do Cedro-SP. As bacias de terceira ordem contribuidoras à Piraquara I possuem maior suscetibilidade a erosão e um baixo potencial de infiltração das águas superficiais.

A prancha 3 apresenta algumas vistas superiores do ponto de deságüe do Arroio Fundo Grande (figura 1), drenagem próxima do rio Melanção (figura 2). Pode-se ainda observar a considerável preservação da vegetação nesta porção (Figura 3), o mesmo ocorrendo onde há o deságüe do Ribeirão do Zero (figura 4), na porção oeste da barragem, que será discutida mais adiante.

PRANCHA 3 - Vistas superiores da barragem e drenagens



Figura 1- vista superior do deságue do Arroio Fundo Grande
Autoria: Leandro Guimarães



Figura 2- deságue do Rio Melanço na barragem
Autoria: Leandro Guimarães

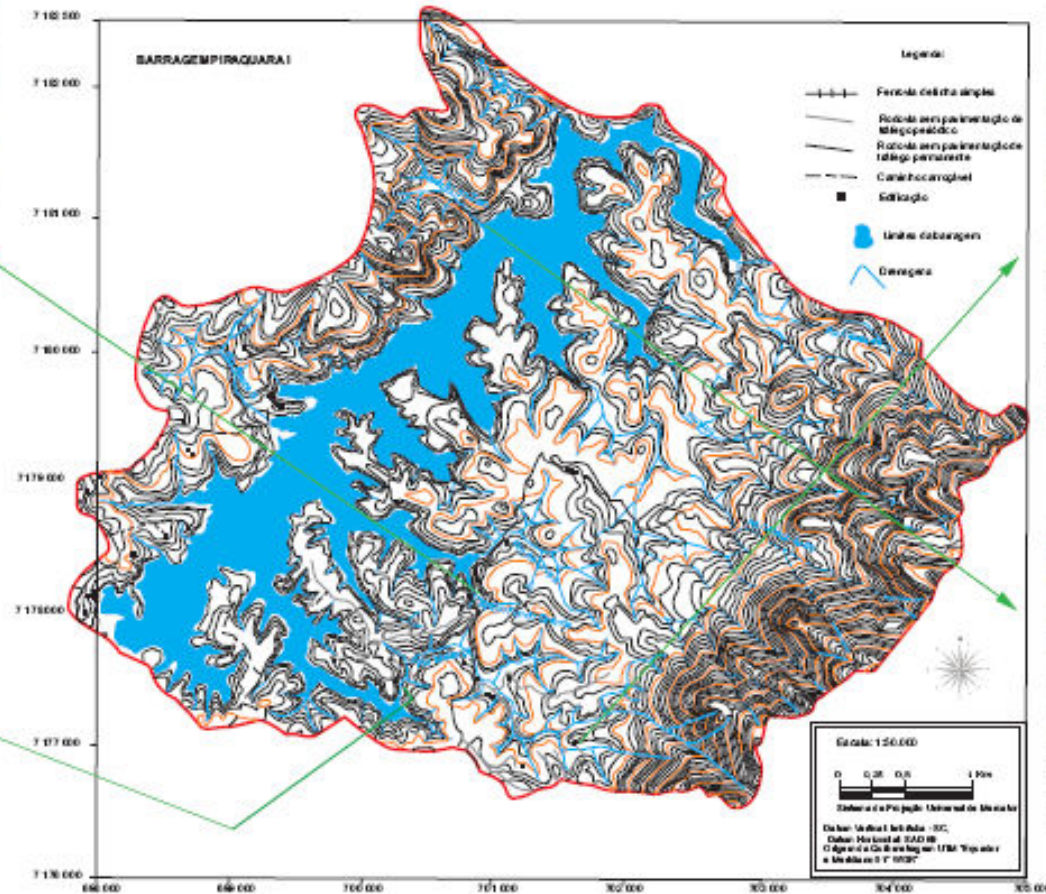


Figura 3- vista superior da porção oeste da barragem Piraquara I, com destaque para grande parte da vegetação original e saibreira desativada
Autoria: Leandro Guimarães



Figura 4- ponto de deságue do Ribeirão do Zero
Autoria: Leandro Guimarães

Conforme o quadro 11, quanto à densidade hidrográfica, a classificação crescente das bacias é a seguinte: bacia do rio Cayuguava 1,12 rios/km², bacia do rio Córrego Jardim 1,85, rios/km² bacia do rio Melanção 2,26 rios/km², bacia do rio da Divisa 2,64 rios/km², bacia do rio Mico 2,73 rios/km², bacia do rio Oeste N 2,76 rios/km², bacia do rio Oeste S 2,84 rios/km² e bacia do Ribeirão do Zero 3,16 rios/km². Um aspecto curioso e fundamental se faz a partir desta análise comparativa: as maiores densidades de drenagem e hidrográficas correspondem às bacias situadas especialmente na porção oeste da barragem, justamente a área mais próxima do Município, uma vez que a porção Leste da barragem é contribuída pelos rios nascentes da Serra do Mar.

Bacias de 3ª ordem e superiores	Densidade hidrográfica (rios/km²)
Bacia do rio Cayuguava	1,12
Bacia do rio Córrego Jardim	1,85
Bacia do rio Melanção	2,26
Bacia do rio da Divisa	2,64
Bacia do rio Mico	2,73
Bacia do rio Oeste N	2,76
Bacia do rio Oeste S	2,84
Bacia do Ribeirão do Zero	3,16

Quadro 11 – Densidades hidrográficas das bacias de terceira ordem e superiores

Sendo que a densidade hidrográfica informa a capacidade de gerar novos cursos d'água em função das características pedológicas, geológicas e climáticas da área (Freitas, 1952). Vale ressaltar que a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem referem-se a aspectos diferentes da textura topográfica. Estudos de Lana *et al.* (2001) na mesma bacia do rio do Tanque-MG apontaram valores de 2,61 canais/km², revelando a grande capacidade dessa bacia de gerar novos cursos. Portanto, todas as bacias contribuidoras da área de estudo

apresentam elevada capacidade de geração de novos cursos d'água, uma vez que cinco destas bacias (bacia do rio da Divisa, Mico, Oeste N, Oeste S e Ribeirão do Zero) apresentam valores superiores aos encontrados por Lana (2001).

Reafirma-se novamente que em função da área de estudo não apresentar significativa interferência antrópica, as análises morfométricas denotam uma capacidade muito grande de drenagem, o que evidencia uma grande capacidade de transporte de sedimentos. Fica, portanto, o alerta de necessidade expressiva de proteção aos sistemas de drenagem que abastecem Piraquara I, pois a remoção da cobertura vegetal existente para as diversas práticas coloca em risco e gera um potencial ao assoreamento significativo à barragem.

A figura 14, na página seguinte, ilustra o resultado entre a interação das análises de densidade de drenagem e do potencial erosivo laminar. A conjunção das áreas de alto e médio potencial erosivo laminar com as bacias de densidade de drenagem superiores a 3,5 km/km² apontou para as seguintes áreas consideradas como as possíveis contribuidoras de sedimentos para a barragem Piraquara I. O gráfico 5 ilustra as proporções encontradas:

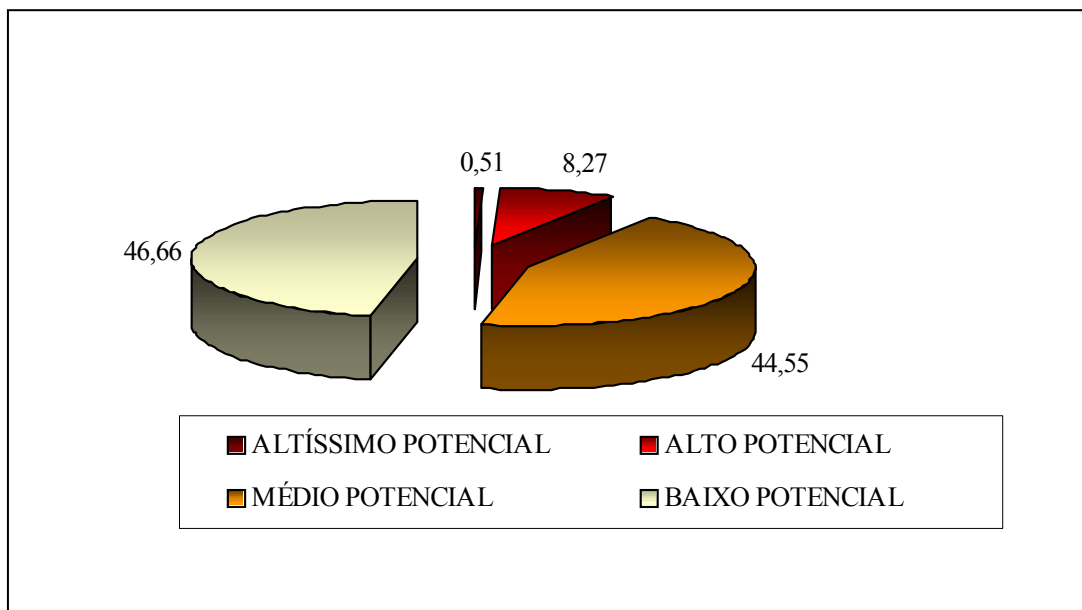


Gráfico 5 - Distribuição das áreas potenciais ao assoreamento na barragem Piraquara I

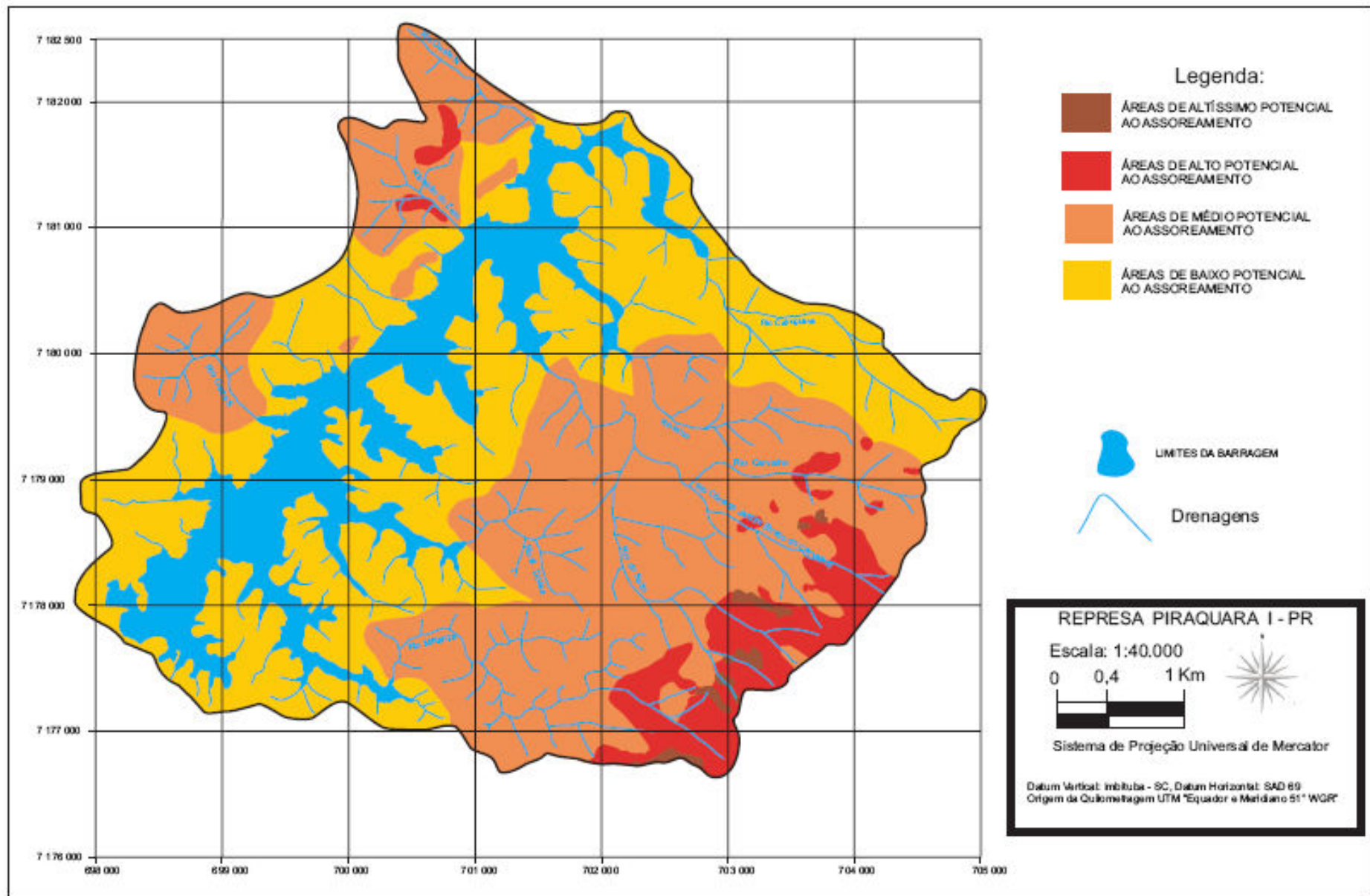


Figura 14 – Mapa das áreas-fonte contribuidoras ao assoreamento na barragem Piraquara I

A associação do mapa potencial à erosão laminar com as análises morfométricas evidenciam uma necessidade de preservação significativa na porção leste da barragem, região contribuidora dos rios da Serra do Mar. Apesar dos indicativos morfométricos não serem tão acentuados na porção oeste, os valores ainda são superiores em relação a dados obtidos por diversos estudos, como os de Milani (2001) e outros já citados anteriormente. O que preocupa na porção noroeste - onde a potencialidade à erosão é elevada e os indicadores de densidade de drenagem e densidade hidrográfica são elevados, especialmente pelos rios contribuidores Oeste N e Ribeirão da Divisa - é justamente uma proximidade maior com a área urbana do município e com detecção de alto potencial ao assoreamento. Reafirma-se aqui a proposição metodológica, uma vez que o potencial erosivo laminar cresce relativamente à medida que o uso e ocupação do solo se faz por meio de práticas como agricultura (geralmente realizada sem mecanismos de controle) e urbanização. Justamente este último fator é o que mais chama atenção, em função do crescimento urbano do município, fato este vivenciado por praticamente todas as cidades da Região Metropolitana de Curitiba.

Uma clara evidência da chegada de sedimentos às drenagens está na figura 15, onde se observa erosão com seguinte transporte de sedimentos para um canal contribuinte do rio Melanção (figura 16). Os altos valores de densidade de drenagem encontrados para a bacia do rio Melanção justificam a preocupação quanto à potencialidade ao assoreamento.



Figura 15 - Início de erosão em sulcos próxima de drenagem

Autoria: Leandro Guimarães (2008)



Figura 16 - Drenagem recipiente de sedimentos erosivos

Autoria: Leandro Guimarães (2008)

Na referida área foi detectada a presença de erosão acentuada em alguns trechos, especialmente em uma trilha de acesso à antiga chaminé da Represa o Carvalho (Prancha 4 - figuras 1 e 2), em que podemos observar algumas pináculos (torrões) e ravinamento associados (figuras 3 e 4) e o evidente transporte de sedimentos.

Na porção noroeste, reforça-se o alerta dado por Bustos (2003), em que a ocupação inadequada de uma área de manancial usualmente provoca a destruição das matas ciliares, causando impacto negativo nos processos naturais de manutenção da vida. As diversas formas de ocupação desordenada, bem como uso inapropriado dos solos para as mais diversas atividades e ainda as específicas condições naturais compromete a qualidade da água e é responsável pelo assoreamento dos corpos de água, afetando o abastecimento da população e, conseqüentemente, reduzindo a qualidade de vida.

PRANCHA 4 - Exemplos de feições erosivas encontradas



Figura 1- erosão em trilha de acesso à barragem
Autoria: Leandro Guimarães



Figura 2-estágio avançado de erosão (ravinação) em trilha de acesso à barragem
Autoria: Leandro Guimarães

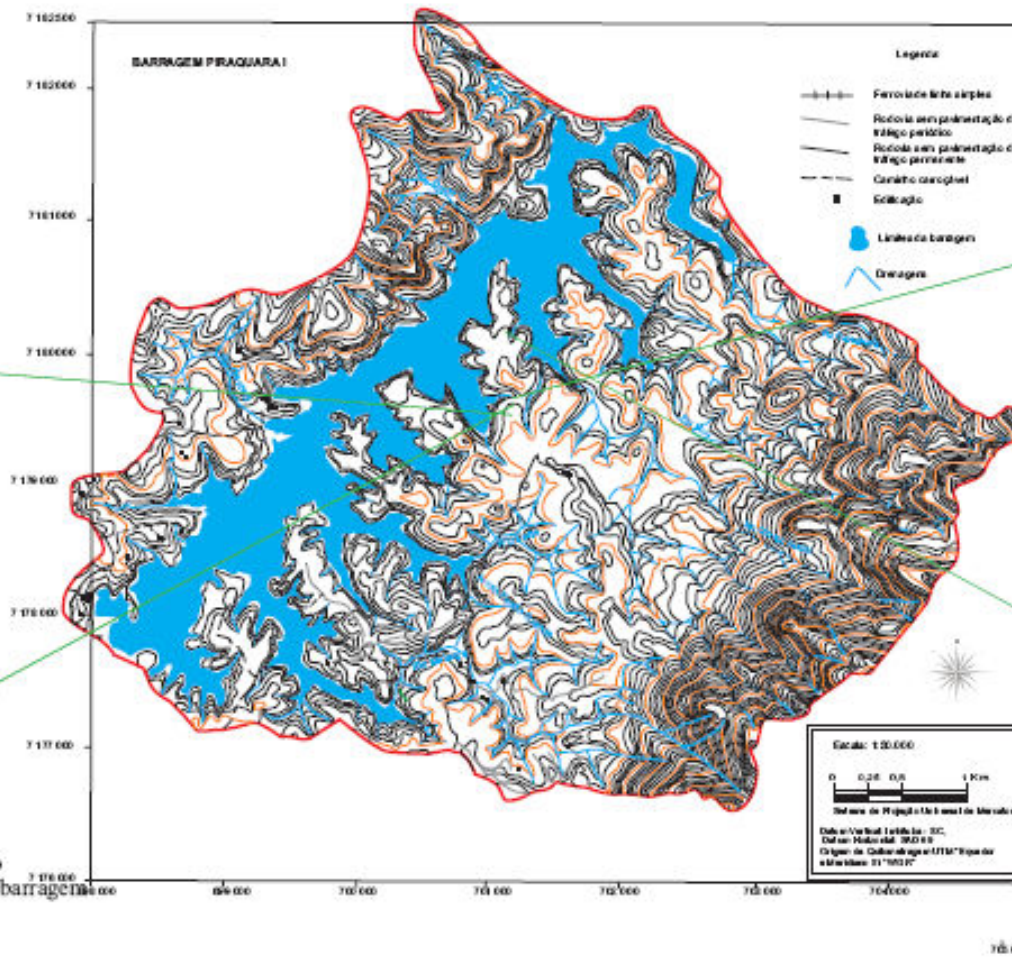


Figura 3- Torrões de sedimentos aluvionares com seixos no topo
Autoria: Leandro Guimarães



Figura 4- recuperação de vegetação em local de ravinação próximo à barragem
Autoria: Leandro Guimarães

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo objetivou a realização de um levantamento a respeito das principais áreas geradoras de sedimentos que podem assorear a barragem Piraquara I. A partir da metodologia desenvolvida, na elaboração do potencial erosivo laminar em conformidade com as análises morfométricas, tem-se como base possíveis áreas-fonte produtoras de sedimentos e também bacias com escoamento suficiente para que estes sedimentos sejam transportados pelas mesmas para que se depositem na barragem. Em vista disso, o resultado final se direciona ao levantamento de áreas potenciais ao assoreamento, uma vez que nem sempre todos estes sedimentos serão transportados e chegarão à barragem. Uma das principais contribuições deste estudo diz respeito, portanto, a um conhecimento de quais áreas são as que mais alertam para um monitoramento de previsão de impactos (em virtude da potencial produção de sedimentos), realçando que, por ser relativamente antiga, a construção da barragem se deu em uma época em que não era preciso o desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental e de Relatório de Impacto Ambiental.

O presente estudo atingiu os objetivos propostos, uma vez que se pôde levantar o diagnóstico das principais áreas potenciais geradoras de sedimentos, o que contribui para o monitoramento das regiões principais contribuidoras dos mesmos. Seria ainda interessante estudos futuros de sondagem na barragem para a confirmação de que estas áreas de médio e alto potencial sejam realmente as maiores contribuidoras de sedimentos, fornecendo uma solidificação maior da metodologia desenvolvida.

A presente área de estudo precisa de monitoramento constante das atividades realizadas. A importância das áreas de mananciais recai sobre o abastecimento de água às cidades; o fornecimento de energia elétrica; irrigação de agricultura; pesca e lazer; bem como a proteção às plantas e aos animais. Em geral, os mananciais utilizados para o abastecimento urbano são constituídos pelas cabeceiras de rios, ainda não poluídos, como é o caso de Piraquara I. A porção sudeste, onde estão as bacias dos rios Córrego Jardim e Melanço, são as áreas mais preocupantes enquanto contribuidoras ao assoreamento. Suas cabeceiras estão nas áreas de alto e médio potencial à erosão laminar, além de apresentarem valores muito elevados de densidade de drenagem (3,88 km/km² para o rio Córrego Jardim e 4,05 km/km² para a bacia do rio Melanço). Como parâmetro de comparação de valores quanto à estas densidades de drenagem encontradas, Vilela e Mattos (1975) apontam índices em torno de 0,5km/km² indicaria uma drenagem pobre e índices maiores que 3,5km/km² indicariam bacias excepcionalmente bem drenadas (o que é o caso).

Na porção oeste da barragem, observa-se que o risco potencial ao assoreamento não é preocupante. Entretanto, a partir de uma visão preventiva e não apenas de levantamento de problemas, observa-se que o centro urbano de Piraquara está situado a menos de 8 km da desembocadura dos rios desta porção da barragem. Junto com a urbanização vem a remoção do solo, o despejo de efluentes (dentre tantos outros problemas relativos à urbanização dentro do contexto do desenvolvimento das cidades brasileiras) que erodem o solo, poluem os cursos d'água e lançam sedimentos que trarão não apenas riscos potenciais ao assoreamento, mas diversos problemas ambientais.

Quanto à porção leste da barragem, o potencial efetivo ao assoreamento é maior, mesmo com uma considerável proteção da vegetação original. Por se tratar de uma área de grande declividade, de inúmeros mananciais da Serra do Marumbi. A geração de sedimentos em função dos diversos parâmetros levantados no capítulo anterior justifica a compreensão do risco que esta região oferece. Além da extrema necessidade de preservação por causa de suas características naturais, o monitoramento do turismo ecológico na região e da conscientização já vem sendo feito por alguns grupos preocupados com o futuro de uma das mais belas feições geográficas do nosso Estado.

Reforça-se, por fim, que estudos posteriores em barragens também detectem as áreas potenciais à produção de sedimentos, com o objetivo, portanto, de lidar com prevenção e não apenas recuperação de danos. Vivencia-se um momento da história em que se questiona e se tem tanta dúvida sobre a reversibilidade das alterações ambientais causadas pelas diversas atividades humanas no planeta. É fundamental que o ser humano direcione cada vez mais suas idéias para o estudo da prevenção, onde realmente se efetivará o tão aclamado discurso de preservação do nosso planeta para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ALVES, M. **estimativa da perda de solo por erosão laminar na Bacia do Rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento**. Curso SER-300, 2000. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/Trabalhos/mariza.pdf>> Acesso em: 02 jul. 2007.

AMORIM, R. S. S. et al. **Influência da declividade do solo e da energia cinética de chuvas simuladas no processo de erosão entre sulcos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.5, n.1, p.124-130, jan./abr. 2001

ANDREOLI, C. V.; DALARMI, O.; LARA, A.I.; ANDREOLI, F.N. **Limites ao desenvolvimento da Região Metropolitana de Curitiba, impostos pela escassez de água**. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9., 2000. **Anais...** Porto Seguro, s. ed., abr. 2000. p.185-195.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. São Paulo: Ícone, 1999.

BIGARELLA, J.J.; MAZUCHOWSKI, J.Z. **Visão integradora da problemática da erosão**. Paraná: Associação de Defesa e Educação Ambiental e Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, 1985.

BOIKO, J. D. **Mapeamento geomorfológico e fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Currealinho**. Curitiba, 2004, Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná.

BRASIL. **Lei de Recursos Hídricos, n. 9433**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de

março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <
<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L9433.htm>>

CABRAL, J. B. P. **Estudo do processo de assoreamento em reservatórios**. Caminhos de Geografia, 6, (14)62-69, fev. 2005

CALIJURI, M.L; MEIRA, A. D.; PRUSK, F. F. Geoprocessamento Aplicado aos Recursos Hídricos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 27, Poços de Caldas, 1998. Lavras: UFLA, SBEA, 1998, p. 200-225.

CARPI Jr., S. **Processos erosivos, recursos hídricos e riscos ambientais na bacia do rio Mogiguaçu**. Rio Claro, 2001. 170 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, N.O. **Curso de transporte e dispersão de sedimentos e cálculo da vida útil de reservatórios**. Curitiba, 1991. 227 p. Programa de impactos ambientais de barragens, Convênio de cooperação técnica SUREHMA/GTZ.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM e ELETROBRÁS, 1994.

CARVALHO, N.O. **Assoreamento de reservatórios – conseqüências e mitigação dos efeitos**. In: Encontro Nacional de engenharia de Sedimentos, 4, 2000. Santa Maria. Cd rom. 1. 2000.

CASSOL, E. A. **Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo**. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, jan. 2003.

CASTRO, L. C. **A gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu - PR**. Curitiba, 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Geografia).

CENTRO TECNOLÓGICO DA FUNDAÇÃO PAULISTA DE TECNOLOGIA E EDUCAÇÃO. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Tietê/Batalha. São Paulo, s.d.

CHELLA, M. R.; OTA, J. J.; POVH, P. H. **Simulação física do transporte de sedimentos e assoreamento em reservatórios**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Blücher, 1974.

COSTA, A. J. S. T. *et al.* **Geração de enxurradas e produção de sedimentos no maciço da Tijuca, município do Rio de Janeiro (RJ)**. Simpósio de Geografia Física Aplicada. 1991, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, v.1, 1991. p.158-166.

CURCIO, G. R. **A fragilidade ambiental e sob o ponto de vista pedológico**. In: Curso de recuperação de áreas degradadas. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994.

DIAS, N. W.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. dos S.; CATELANI, C. de S. **Análise da carga de sedimentos da Represa de Paraibuna com base em dados multiespectrais**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** 2005.

DIBIESO, E. P.; LEAL, A. C. **Análise morfométrica da drenagem da bacia hidrográfica do córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. In: Semana de Geografia, 6., 2005, Presidente Prudente.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte**. Santa Maria, 2002. 108 p. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria.

Dunne, T.; Dietrich, W. Sediment sources in tropical drainage basins. **Soil Erosion and Conservation in the Tropics**. Madison: American Society of Agronomy and Soil Sciency Society of America, p.41-45, 1982.

FENDRICH, R. *et al.* **Drenagem e Controle da Erosão Urbana**. 4º Ed. Curitiba: Champagnat, 1997, p. 32.

FONSECA NETO, L.; SALOMÃO, F. X de T. e CASTRO JÚNIOR, P. R. de. **Conflitos de uso e controle erosivo em área representativa da produção agrícola intensiva no planalto dos Guimarães, MT.** Revista Agricultura Tropical. Cuiabá, vol. 8, n. 1, p. 76-99, dez. 2004.

FRANCISCO, C. E. da S. **Áreas de preservação permanente na bacia do Ribeirão das Anhumas:** estabelecimento de prioridades para recuperação por meio de análise multicriterial. Campinas, 2006. Dissertação (Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical). Instituto Agronômico.

FREITAS, R.O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia.** São Paulo, v. 11, p.53-57, 1952

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

GARBOSSA, **O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do Rio Tagaçaba-PR:** uma análise morfométrica da rede de drenagem. Curitiba, 2003. 136 p. Dissertação (Mestre em Geologia). Pós-Graduação em Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, técnicas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

GUERRA. A.T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

GUERRA. A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

GUIMARÃES, L. J. R. **Potencialidade à erosão laminar na bacia do rio Moinho-PR.** Curitiba, 2004. 55 p. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

HOPPEN, M. **A aplicação dos recursos do ICMS ecológico na recuperação e preservação da natureza** – o caso do município de Mariópolis. Florianópolis, 2004. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

ICOLD - International Commission on Large Dams. **Sedimentation control of reservoirs. Guidelines.** Bulletin 67. Paris. 1989.

INFANTI, J.N.; FORNASARI, F.N. Processos de dinâmica superficial. In: **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1941.

LANA, Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque-MG. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v.54, n.2, p.1-9, abr.-jun. 2001.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá**. Rio de Janeiro, 2001. 206 p. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LIMA, M. C. **Fragilidade ambiental da Bacia do Rio Pacatuba**. Curitiba, 2004. Monografia (Bacharelado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

LOHMANN, M. **Estudo morfopedológico da bacia do Arroio Guassupi, São Pedro do Sul-RS**: subsídio à compreensão dos processos erosivos. Curitiba, 2005. 127 p. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

LOPES. **Estudo do assoreamento do reservatório de Americana**. Rio Claro, 1993, 85p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual Paulista.

LORANDI, R. **Carta de potencial à erosão laminar da parte superior da bacia do córrego do Monjolinho-SP.** Revista Brasileira de Cartografia, Rio de Janeiro, n. 53, p. 111-117, dez. 2001.

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

MAIA, A. G. **As conseqüências do assoreamento na operação de reservatórios formados por barragens.** São Carlos, 2006. 164 p. Tese.(Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MILANI, J. R. **Geomorfologia fluviomarina:** o caso do rio Matinhos. Curitiba, 2001, 174 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

MILANI, J. R. e CANALI, N. E. **O sistema hidrográfico do rio Matinhos:** uma análise morfométrica. Revista RA’EGA, Curitiba, n. 4, p. 139-152. 2000.

MILDNER, W. F. **Erosion and sedimentation.** Bulletin of the Association of Engineering Geologists, v.19, n. 2, 1982.

MIRANDA, T.L.G. **Avaliação da Qualidade da Água na Bacia do Alto Iguaçu através de Modelagem Matemática para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos.** Curitiba, 2001. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, A. M. dos S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios.** Exemplo do reservatório de capivara, Rio Paranapanema, SP/PR. São Paulo, 1994, 204 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

PACHECO, A. Mapas das Fontes Potenciais de Contaminação do Município de Atibaia, São Paulo, 2003, 1 mapa: Escala 1:45.000

PARANÁ. Bacia Hidrográfica do Alto Iguaçu poderá arrecadar até R\$ 25 milhões. **Agência Estadual de Notícias**. (25 ago. 2006). Disponível em: <<http://www.aenoticias.pr.gov.br/modules/news/article.php?storyid=23066>> Acesso em: 31 janeiro 2008.

PONÇANO, W. L.; GIMENES, A. F.; LEITE, A.A.G.; CARLSTRON FILHO, C; PRADINI, F. L.; MELO, M. S. de. **Metodologia para estudo de assoreamento de reservatório (III): roteiro para estudo de reservatórios no sul e sudeste brasileiro**. In: CBGE, 3, Itapema (SC), **anais...** São Paulo: ABGE, v.2. p. 331-353. 1981.

PRANDINI, F.L., GUIDICINI, G. POTTURA, J. A., PONÇANO, W.L.e SANTOS, A. R. dos. **Atuação da cobertura vegetal na estabilidade das encostas: uma resenha crítica**. São Paulo: IPT, 1074, 1976.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PIRAQUARA. **Prefeito destaca acordo em explosão no canteiro de obras da barragem do Piraquara II**. Agência de Notícias, Piraquara, 23 mar. 2006. Disponível em: <<http://www.piraquara.pr.gov.br/noticias/index.php?not=325>> Acesso em: 25 set. 2007.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

RAMOS. C. L. **Critérios indicativos para a caracterização da potencialidade do assoreamento em reservatórios urbanos**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 13, 1999. Belo Horizonte. Cd-rom. p. 1-15. 1999.

ROSA FILHO, E. F. da. **Abastecimento de água de Curitiba: Situação atual e proposta de solução** In: Estrategia para el Próximo Siglo - Recursos Hídricos Subterrâneos. ABAS - MG - Brasil/UNESCO-PHI 1996

ROSA FILHO, E. F. da; HINDI, E. C. e LUCENA, L. R. F. de. **Os aquíferos que contribuem no abastecimento da cidade de Curitiba-Paraná.** Revista Águas Subterrâneas, São Paulo, n.16, p.122-127, mai. 2002.

SALOMÃO, F. X. DE T. **Processos erosivos lineares em Bauru:** regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. São Paulo, 1994. 200 p. Tese. (Doutorado em Geografia Física) – Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

SAUNITTI, R. M. **Estudos sobre assoreamento do reservatório do rio Passaúna.** Curitiba-PR. Curitiba, 2003. 126 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SILVA FILHO, E. P. da; SILVA, I. F. C da e BRAGA, E. M. P. **O meio físico e sua importância para o planejamento urbano:** uma síntese de alguns exemplos regionais. Revista Primeira Versão, Porto Velho, ano I, n. 50, set. 2002.

SILVA, J. R. **Previsão de perdas de solo e estimativa de assoramento em relação a características de uma bacia hidrográfica.** Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 17, n. 1, p. 13-27, jun. 1986.

SILVA, S. A. **Avaliação do assoreamento do lago Bonsucesso, Jataí-GO.** Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

STRAHLER, A. N. **Geografia Física.** Barcelona: Omega, 1997.

STRUMINSKI. E. **Os discursos sobre a sustentabilidade, no Brasil e na região Metropolitana de Curitiba:** de 1500 aos dias atuais. Curitiba, 2006. 218 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. Ambiente fluvial. Ambientes de sedimentação sua interpretação e importância. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979. p. 22-38.

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

TONETTI, S. **Avaliação do uso e ocupação do solo (1986 e 2000) e da fragilidade ambiental da bacia do rio Iraizinho – Piraquara-PR** Revista do Departamento de Geografia (GeoUFRJ), Rio de Janeiro, n. especial de 2003, p. 1033 a 1039.

VIEIRA, M. da S.; FERREIRA, J. R.; CASTRO, P. M. G. de.; ROCHA, A de A. **Aspectos da química da água e do sedimento do reservatório de Ibitinga.** In: Boletim do Instituto de Pesca. São Paulo, v. 28, n. 1, p. 77-91, 2002.

VILELA, S. M e MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** (Orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

WALLING, D.E. **The sediment delivery problem.** Journal of hidrology, 1983.

WISCHMEIER, W. H. e SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to consevation planning.** Washington: U.S. Departament of Agriculture, Agriculture Handbook, n.537, 1978.