

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

**A GERAÇÃO DE SEDIMENTOS E SEUS REFLEXOS NO
ASSOREAMENTO DA PCH PIEDADE - MONTE ALEGRE DE MINAS -
MG.**

LÍSIA MOREIRA CRUZ

Uberlândia
2012

LÍSIA MOREIRA CRUZ

**A GERAÇÃO DE SEDIMENTOS E SEUS REFLEXOS NO
ASSOREAMENTO DA PCH PIEDADE - MONTE ALEGRE DE MINAS -
MG.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geografia da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito à
obtenção do título de Mestre em
Geografia.

Área de Concentração: Análise,
Planejamento e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Silvio Carlos
Rodrigues

Uberlândia
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C957g Cruz, Lísia Moreira, 1985-
2012 A geração de sedimentos e seus reflexos no assoreamento da PCH
Piedade - Monte Alegre de Minas ó MG / Lísia Moreira Cruz. -- 2012.
108 f.: il.

Orientador: Silvio Carlos Rodrigues.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Geografia.

Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Sedimentos fluviais ó Monte alegre de Minas
(MG) - Teses. I. Rodrigues, Silvio Carlos. II. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia

IG

LÍSIA MOREIRA CRUZ

A GERAÇÃO DE SEDIMENTOS E SEUS REFLEXOS NO ASSOREAMENTO
DA PCH PIEDADE – MONTE ALEGRE DE MINAS – MG

Professor(a) Dr. Silvio Carlos Rodrigues - UFU

Professor(a) Dr. João Batista Pereira Cabral – UFG

Professor(a) Dr. Antônio de Sousa Pedrosa - UFU

Data: 09/07 de 2012

Resultado: Aprovado

*Aos meus queridos pais e
ao meu amado José Fernando.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e infinitas graças recebidas.

Ao meu mestre e orientador Silvio Carlos Rodrigues pelas oportunidades oferecidas, pela confiança, ensinamentos e por ser um grande exemplo. Meus sinceros agradecimentos.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela estrutura de ensino e pesquisa e por todo o suporte oferecido.

Ao Prof. Dr. José Fernando Pinese pela estimada contribuição na logística e materiais utilizados.

Aos técnicos do Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos Malaquias e Rosângela pelo apoio no processamento das amostras.

Aos professores da Universidade Federal de Goiás Ronan Eustáquio Borges, Selma Simões de Castro, Maxi Bayer e alunos Laboratório de Geologia e Geografia Física – LABOGEF pelo apoio técnico e logístico.

Aos colegas Rafaela Harumi e Thiago Morato de Carvalho pelo valioso auxílio operacional.

Aos Professores Antônio de Sousa Pedrosa e Vanderlei de Oliveira Ferreira pelas contribuições em minha qualificação.

A Piedade Usina Geradora de Energia pelo apoio à pesquisa e ao colega Thiago Campos Nogueira pela oportunidade auxílio nos trabalhos de campo.

Aos amigos do LAGES, especialmente Thallita, Paulinha e Lilian pelo companheirismo e amizade.

Aos meus tão amados pais, José Wilson e Oneida, meus exemplos de vida, amor, honestidade, fé, humildade.

Ao meu irmão Júnior e seus pequenos que amo Yasmin e Pedro Henrique.

A minha nova família Elfrida, José Fernando, Olívia, Breno, Felipe, Henrique, Renata, Tio Paulo e Nathalya.

Aos “amigos da Geo” Fernandinha, Fábila, Nathália, Iron, João Paulo, Arley e Pedro Ivo pelos muitos momentos de longas conversas e descontração.

As minhas amigas queridas Gabriela, Anna Paula e Lahiany, pela compreensão das minhas inúmeras ausências.

Ao meu amado marido José Fernando Pinese Júnior, pelo nosso amor, pela sua confiança, incentivo, e por deixar meus sonhos se confundirem com os seus. Agradeço ainda pelas suas leituras, correções, sugestões e auxílio nos trabalhos de campo e mapeamentos.

*Dize ao Senhor: "Seis meu refúgio e minha
cidadela, meu Deus em que confio." Sal 90,2*

RESUMO

As Pequenas Centrais Hidrelétricas tem se mostrado uma alternativa na contribuição para geração de energia no Brasil. Apesar de tratar-se de uma obra de menor porte em relação às grandes Usinas Hidrelétricas, os reservatórios das PCH's, bem como seu entorno, requerem um cuidado quanto às questões da preservação ambiental. Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de geração de sedimentos na área de contribuição do reservatório da PCH Piedade por meio da identificação, mapeamento, classificação e análise dos fatores que interferem nesse processo; e da coleta, mensuração e verificação de seus reflexos no assoreamento da represa. Para atingir os objetivos foram produzidos, analisados e relacionados mapas que abordaram os fatores que interferem na erosão laminar como a morfopedologia, declividade, uso e ocupação da terra. A partir dessas informações foram apontadas as diferentes classes de suscetibilidade e potencialidade à erosão laminar. A morfometria da área de estudo também foi analisada abordando a densidade de drenagem como fator que determina a transmissibilidade do terreno. Por fim foi elaborado o mapa que apontou as áreas com maior potencial geração de sedimentos que podem contribuir para o assoreamento do reservatório da PCH Piedade. O mapa final apontou predominância de baixo potencial ao assoreamento, no entanto, as áreas que apresentam maior potencialidade de geração de sedimentos, localizam-se em áreas no entorno do reservatório, o que demanda cuidados. Em consonância com a elaboração do material cartográfico foram obtidos dados do transporte e deposição de sedimentos no reservatório da PCH Piedade, durante um ciclo hidrológico por meio de campanhas batimétricas, amostragem de sedimentos em suspensão e de fundo. A análise desses dados revelou a predominância da descarga de sedimentos preponderante na estação chuvosa, e dos sólidos dissolvidos na estação seca. A coleta de sedimentos de fundo demonstrou mudanças entre as proporções granulométricas. A batimetria não apontou significativas alterações no relevo no fundo do lago. Diante dos resultados obtidos procurou-se contribuir um melhor uso dos recursos naturais, viabilizando o aumento da vida útil do reservatório.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimento. Erosão Laminar. Mapa. Potencial Assoreamento. Assoreamento.

ABSTRACT

The Small Hydro Power has been shown as an alternative on power generation contribution in Brazil. Spite of being a smaller structure in respect to hydroelectric power stations, reservoirs of SHP and its surroundings require some care on the environmental preservation issues. In this sense, the objective of this study was to evaluate the potential generation of sediment in the reservoir contribution area of Piedade SHP by identifying, mapping, ranking and analysis of factors that affect this process; and the collection, measurement and confirmation of its siltation effects in the dam. To achieve the purpose were produced, analyzed and related maps that focused on factors that affect sheet erosion as morphopedology, slope, land use. From these data were pointed out the different classes of susceptibility and the potential sheet erosion. The area morphometry was also analyzed by addressing the drainage density as a factor that determines the transmissibility of the land. Finally the map was organized which identified the areas with greatest potential for generating sediment that may contribute to the silting of the Piedade SHP reservoir. The final map showed a predominance of low potential to siltation, however, the areas that have greater potential to generate sediment are located in areas around the reservoir, which requires care. In line with the preparation of cartographic material were obtained data from the transport and deposition of sediments in the Piedade SHP reservoir during a hydrologic cycle with bathymetric campaigns and sampling suspended and bottom sediment. The data analysis revealed the predominance of sediment discharge mainly in the rainy season, and dissolved solids in the dry season. The sampling of bottom sediments demonstrated changes between textural proportions. The bathymetry showed no significant changes in the bottom relief of the reservoir. Based on these results we tried to help a better use of environmental resources, enabling the increase of the reservoir life.

KEY-WORDS: Sediment. Sheet Erosion. Map. Siltation Potential. Siltation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Rio Piedade.....	19
Figura 2: Hierarquia fluvial definida por (A) Strahler (1952) e (B) Horton (1945).	30
Figura 3: Mapa Litológico.....	35
Figura 4: Esquema ilustrativo da geração dos mapas.	40
Figura 5: Mapa Morfopedológico.....	42
Figura 6: Processamento das amostras de solos.	43
Figura 7: Imagem LANDSAT 5TM da área de estudo.....	49
Figura 8: Pontos de coletas das amostras de sedimento em suspensão e sedimentos de fundo.	52
Figura 9: Seções de levantamentos batimétricos	53
Figura 10: Coleta de água.....	54
Figura 11: Processamento das amostras de sedimento em suspensão em laboratório.....	56
Figura 12: Obtenção de parâmetros de água.	58
Figura 13: Ilustração e utilização da draga de Petersen para coleta de amostras de fundo.....	59
Figura 14: Processamento das amostras de sedimento de fundo.....	60
Figura 15: Processamento das amostras de sedimento de fundo.....	61
Figura 16: Processo de separação de areia.	62
Figura 17: Processo de separação de silte e argila.	63
Figura 18: Esquema do funcionamento da ecossonda. As setas indicam o sinal emitido e o seu retorno ao equipamento.	64
Figura 19: Obtenção dos perfis batimétricos.....	65
Figura 20: Programa utilizado para registro das informações de batimetria.....	66
Figura 21: Visão panorâmica de parte da ACR Piedade com baixa declividade.	70
Figura 22: Mapa de Declividade.....	71
Figura 23: Relevo no entorno do reservatório.....	72
Figura 24: Mapa de Suscetibilidade à Erosão Laminar.	73

Figura 25: Diferentes usos da terra na ACR.....	74
Figura 26: Mapa de Uso e Ocupação da Terra.	76
Figura 27: Mapa de Potencialidade à Erosão Laminar.	78
Figura 28: Mapa de Densidade de Drenagem.	80
Figura 29: Mapa de Potencialidade ao Assoreamento.	81
Figura 30: Potencial assoreamento de acordo com a divisão das bacias hidrográficas da ACR da PCH Piedade.	82
Figura 31: Imagens das margens do reservatório.	84
Figura 32: Representação dos sedimentos em suspensão no reservatório da PCH Piedade.	87
Figura 33: Representação dos sólidos totais dissolvidos no reservatório da PCH Piedade.	88
Figura 34: Representação da proporção dos sedimentos de fundo do reservatório da PCH Piedade.	93
Figura 35: Queda d'água formada pelo Córrego Valinho desaguardo no reservatório da PCH Piedade.	95
Figura 36: Voçoroca na margem esquerda do reservatório da PCH Piedade	96
Figura 37: Batimetria seção A – estação seca.	97
Figura 38: Batimetria seção A – estação chuvosa.	97
Figura 39: Batimetria seção A – estação seca.	98
Figura 40: Batimetria seção A – estação chuvosa.	98
Figura 41: Batimetria seção C – estação seca.	99
Figura 42: Batimetria seção A – estação chuvosa.	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classes de erodibilidade.....	45
Tabela 2: Classes de declividade.	46
Tabela 3: Classe de ocupação atual das terras.....	48
Tabela 4: Distribuição da Cobertura Morfopedológica	68
Tabela 5: Distribuição da Suscetibilidade à erosão laminar.....	72
Tabela 6: Distribuição das classes de ocupação atual das terras.	75
Tabela 7: Distribuição da Potencialidade à erosão laminar	77
Tabela 8: Distribuição da área ocupada por bacia	79
Tabela 9: Distribuição da Potencialidade de contribuição ao assoreamento.....	79
Tabela 10: Dados obtidos em coletas de água nas diferentes estações do ano durante o período de monitoramento.	86
Tabela 11: Dados granulométricos referentes ao período de seca 2010.	92
Tabela 12: Dados granulométricos referentes ao período chuvoso 2010/2011.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classes de suscetibilidade à erosão laminar.....	47
Quadro 2: Classes de potencialidade à erosão laminar.	50

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	11
Lista de Quadros	12
Sumário	13
CAPÍTULO 1	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.....	21
2.1. Os Sedimentos	22
2.2. Erosão.....	23
2.3. Densidade de Drenagem e a Hierarquia de Canais.....	28
2.4. Assoreamento	30
CAPÍTULO 3	33
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
CAPÍTULO 4	38
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1. Procedimentos para confecção dos mapas de avaliação do potencial de geração de sedimentos	39
4.1.1. Caracterização dos Materiais Superficiais e Mapeamento Morfopedológico	40
4.1.2. Mapa de Declividade.....	45
4.1.3. Mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar	46
4.1.4. Mapa de Uso e Ocupação Atual.....	47
4.1.5. Mapa de Potencialidade à Erosão Laminar	50
4.1.6. Mapa de Densidade de Drenagem.....	50
4.1.7. Mapa de Potencialidade ao Assoreamento	51
4.2. Análise dos dados coletados no reservatório da PCH Piedade	51
4.2.1. Sedimentos em Suspensão	54

4.2.2. Sedimentos de Fundo	58
4.2.3. Batimetria	64
CAPÍTULO 5	67
5. RESULTADOS	68
5.1. Avaliação da Potencial Geração de Sedimentos	68
5.2. Estudo do Assoreamento da PCH Piedade	85
CAPÍTULO 6	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103

CAPÍTULO 1



1. INTRODUÇÃO

A construção de reservatórios de água é uma tendência crescente no Brasil principalmente devido à progressiva demanda de energia hidroelétrica impulsionada por um contexto de crescimento econômico e populacional. Desse modo a manutenção desses reservatórios para um uso mais eficaz e conservacionista é de fundamental importância.

O armazenamento de água por meio da construção de uma barragem modifica a dinâmica natural de um rio interferindo no transporte de partículas sólidas, pois forma-se um meio artificial de retenção de sedimentos. Nesse sentido, CHRISTOFOLETTI (1981) aponta que, na dinâmica fluvial, o rio está constantemente em busca de um equilíbrio. Com este tipo de ocupação o seu equilíbrio natural é alterado e irá se estabelecer um novo tipo de equilíbrio, controlado pela ação humana.

Os reservatórios exercem um papel de extrema importância no projeto e operação de sistemas hídricos e, caso não cumpram seus objetivos de garantir descargas regularizadas compatíveis com o desenvolvimento dos outros componentes com os quais interagem, todos os recursos investidos em sua construção, além daqueles investidos em outros componentes, deles dependentes, ficam comprometidos. O assoreamento, como uma das possíveis consequências da construção de barragens, é a deposição contínua ou gradual do material carreado pelos cursos d'água no interior do reservatório, e ocorre devido à diminuição de velocidade e da turbulência das águas, que causa sua perda de capacidade de transporte. (CARVALHO, 2008).

O estudo do transporte dos sedimentos, em busca de um melhor manejo desse processo, possibilita um retardamento ou prevenção do assoreamento nas represas. No que diz respeito aos lagos de hidroelétricas, o assoreamento compromete a qualidade e quantidade de água, diminuindo o volume utilizável e como consequência direta restringe a quantidade de energia gerada, encurta a vida útil, requisitando a construção de novos reservatórios ou a realização de obras de dragagem que viabilizem o empreendimento.

De acordo com a Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL de N.º 394/98, as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs – são enquadradas no Brasil como usinas de potência instalada superior a 1 MW e inferior ou igual a 30 MW, e reservatório com área igual ou inferior a 3 Km². Recentemente elas tornaram-se mais atrativas para investidores devido aos incentivos regulatórios ofertados pelo Governo Federal para a geração

descentralizada de energia elétrica. Além disso, por necessitarem de uma área inundada menor, as PCHs provocam menor impacto ecológico e social.

Contudo a implantação das PCHs não dispensa a adoção de medidas que conduzam à minimização de impactos. É necessário dedicar uma atenção especial no que se refere ao assoreamento, pois seus reservatórios ocupam áreas mais limitadas que podem ser facilmente assoreadas.

A retenção de material particulado no lago, pela redução no regime de fluxo, é inevitável, porém, o assoreamento é um processo passível de ser administrado e reduzido. Dessa forma, o estudo das áreas contribuintes de sedimentos vem auxiliar de modo determinante na prevenção e redução do assoreamento.

Os programas de monitoramento do assoreamento do reservatório são necessários em empreendimentos de geração de energia elétrica, sejam pequenas ou grandes centrais hidrelétricas, pois permitem o melhor controle das eventuais alterações no regime fluvial e no transporte de sedimentos do corpo hídrico, cujas águas são utilizadas no processo de geração de energia. Assim, tais programas se tornam mais completos com o estudo e definição das áreas que mais contribuem com carregamento de sedimentos, fornecendo subsídios para a elaboração de medidas corretivas.

De acordo com Annandale (1987) *apud* Maranesi (2002), os processos de sedimentação dos reservatórios são causados principalmente pelo escoamento superficial, que provoca os processos erosivos, o transporte de partículas, e atinge os canais fluviais que deságuam nos reservatórios. Dentro dessa perspectiva, o presente estudo se propõe a determinar as potenciais áreas-fonte de sedimentos para o reservatório de uma PCH, por meio da análise de fatores que contribuem para erosão hídrica do solo, processo que inicia com o impacto das gotas de chuva no solo que desagrega, remove e transporta as partículas até os cursos d'água provocando o assoreamento. Além disso, é realizado o estudo da densidade de drenagem para análise da transmissibilidade do terreno que revela a capacidade do terreno em absorver as águas superficiais.

Dentro dessa perspectiva o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a potencial geração de sedimentos na área de contribuição do reservatório da PCH Piedade por meio da identificação, mapeamento, classificação e análise dos fatores que interferem nesse processo; e da coleta, mensuração e verificação de seus reflexos no assoreamento da represa.

Já os objetivos específicos foram:

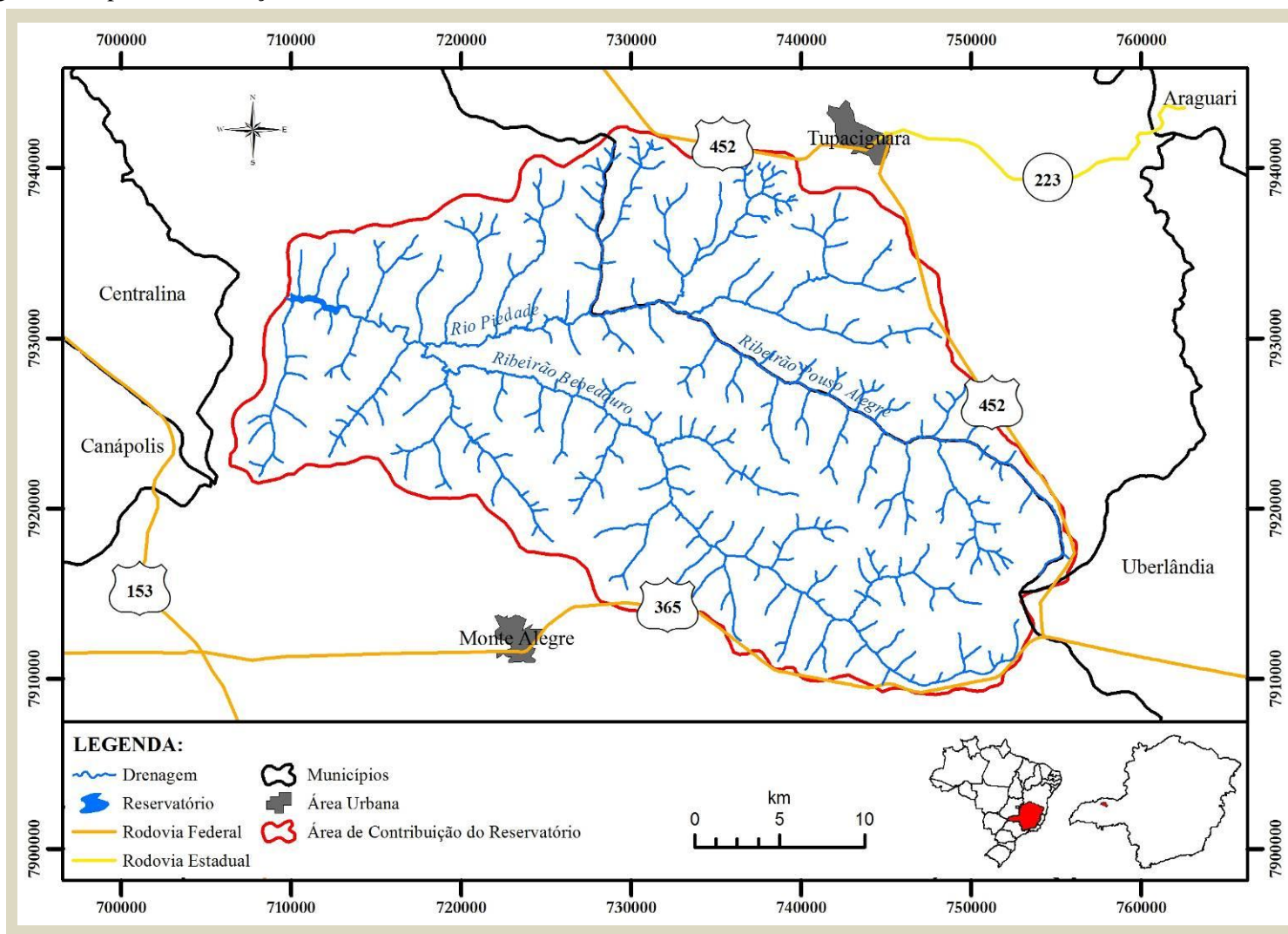
- Estabelecer estratégias metodológicas para definir áreas fontes de sedimento que contribuem para o assoreamento do lago da PCH Piedade;
- Produzir, analisar e relacionar os mapas os fatores que interferem na erosão laminar: morfopedologia, declividade, uso e ocupação da terra;
- Definir as diferentes classes de suscetibilidade e potencialidade à erosão laminar;
- Avaliar a densidade de drenagem como fator que determina a transmissibilidade do terreno;
- Analisar áreas de aporte de sedimentos com estudo do potencial à erosão laminar por meio do mapeamento dos fatores que interferem nesse processo;
- Obter dados do transporte e deposição no reservatório da PCH Piedade, durante um ciclo hidrológico por meio de campanhas batimétricas, amostragem de sedimentos em suspensão e de fundo;
- Analisar a dinâmica sedimentológica do reservatório da PCH Piedade.

Desse modo, os dados morfopedológicos, de declividade, uso e ocupação da terra e densidade de drenagem, foram levantados, analisados e sintetizados por meio de mapas. Os produtos cartográficos proporcionam um melhor entendimento das possíveis áreas geradoras de sedimentos que podem gerar o assoreamento e assim fornecem subsídios para a prevenção e redução do carreamento de partículas para o lago.

Além da perspectiva cartográfica foram realizadas coletas de amostras de água e sedimento de fundo do próprio reservatório com o intuito de obter informações das consequências da geração de sedimentos para o lago da PCH Piedade.

As características naturais das bacias hidrográficas permitem o diagnóstico de diversos fatores, naturais e antrópicos, que se integram sistematicamente em seus limites. Assim, como unidade de análise foi utilizada Área de Contribuição do Reservatório – ACR – da PCH Piedade (Figura 1), pertencente à bacia hidrográfica do rio Piedade. Tal rio está localizado na mesorregião do Triângulo Mineiro, e é um importante afluente do Rio Paranaíba.

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia do Rio Piedade



Fonte: Produzido pelo autor.

CAPÍTULO 2



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

De maneira geral, os ambientes naturais tendem a manter-se em equilíbrio dinâmico, porém com progressivas intervenções humanas tal equilíbrio vem sendo constantemente alterado. A dinâmica de cada ambiente é determinada pelo constante fluxo de energia e matéria que movem os sistemas. A partir de uma visão que se atente para essa realidade sistêmica é possível obter melhores resultados na análise e planejamento das possíveis intervenções.

A visão sistêmica é apontada por Tricart (1977) como melhor instrumento lógico a ser utilizado para estudos de problemas no meio ambiente, uma vez que ele possibilita a análise dos diversos componentes do meio ambiente de maneira dinâmica e em conjunto, favorecendo uma ação mais eficaz sobre o meio ambiente, pois, favorece a integração de conhecimentos isolados. Tal utilização permite ainda, identificar quais as modificações indiretas desencadeadas pelas intervenções que afetam determinado ecossistema. Esta visão holística tem fundamentado a concepção deste estudo.

A adoção da delimitação da bacia hidrográfica como unidade de análise, ou no caso deste estudo da parte da bacia hidrográfica contribuinte do reservatório, favorece a abordagem sistêmica. A bacia hidrográfica foi definida por Botelho (2004) como uma área drenada por um rio principal e seus tributários sendo limitada pelos divisores d'água. Ainda nessa perspectiva, Santos (2004) enfoca a bacia hidrográfica como um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d'água e seus afluentes, onde interações pelo menos físicas são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas. Dessa forma as bacias hidrográficas podem ser consideradas unidades naturais de avaliação do meio físico, pois integram os elementos naturais e sociais.

Assim, muitos dos problemas de quantidade e qualidade de água, inclusive o assoreamento de reservatórios, podem ser evitados ou, ainda, revertidos de maneira eficaz por meio de ações que abordam a bacia hidrográfica como uma visão unitária, levando-se em consideração as suas características (como solo e declividade) e atividades antrópicas (como a ocupação do solo) realizadas em sua área de abrangência. A gestão dos recursos hídricos deve ocorrer de forma integrada, compreendendo a utilização da água numa perspectiva de otimização de uso, no espaço e no tempo. (GUIMARÃES, 2008)

Nesse contexto o processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente relacionado aos processos erosivos, uma vez que este processo é que fornece os materiais que

darão origem ao assoreamento. Quando não há energia suficiente para transportar o material erodido, este material é depositado (GUERRA, 1995). O substrato também influencia no sentido de que, quanto menor a capacidade de absorção da água pluvial maior a quantidade de corpos d'água, então esse fator também deve ser abordado no estudo sistêmico que no fim causa o assoreamento. A seguir, portanto, serão abordados os conceitos e estudos dos principais elementos abordados neste trabalho a partir desta visão destacando os sedimentos, erosão, assoreamento, morfometria das bacias hidrográficas.

2.1. OS SEDIMENTOS

Independentemente da natureza das rochas matrizes, estas dão origem aos detritos. As rochas magmáticas, metamórficas ou sedimentares, sofrem inicialmente os processos de intemperismo e assim, ocorre desintegração física ou desagregação mecânica, seguida de transporte dos materiais. Os detritos assim originados sofrem transporte por ação do vento, água ou gelo, sendo em posteriormente sedimentados e litificados. (SUGUIU, 1973)

Assim sobre os sedimentos Carvalho (2008) define que:

[...] o sedimento é a partícula derivada da rocha, ou de materiais biológicos, que pode ser transportada por fluido; é a partícula derivada da fragmentação das rochas, por processo físico ou químico, e que é transportada pela água ou pelo vento do lugar de origem aos rios e aos locais de deposição; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito. (CARVALHO, 2008, p.03)

O transporte de sedimentos em uma bacia varia muito desde as partes mais altas até as planícies, variação esta que depende da litologia, do tipo de solo, da cobertura vegetal, da velocidade da água, do regime de chuvas. O deslocamento e o transporte de sedimentos dependem da forma, tamanho, peso da partícula e das forças exercidas pela ação do escoamento. Quando essas forças se reduzem até a condição de não poderem continuar a deslocar a partícula, ocorre o processo de deposição. Esses depósitos podem ser de pequeno, médio ou grandes volumes. Também podem ser transitórios ou permanentes, como o assoreamento. Um depósito de sedimento permanente sofre a ação do peso da água e de seu próprio peso, compactando-se. (CARVALHO, 2008).

De acordo com Christofolletti (1981) os sedimentos apresentam-se de três formas nos cursos d'água: dissolvidos, em suspensão ou de fundo. A carga de sedimentos dissolvidos dos cursos d'água é composta por constituintes das rochas que são intemperizados e transportados em solução química. Os sólidos dissolvidos são entendidos como a matéria suspensa ou dissolvida numa determinada amostra aquosa. Eles incluem os colóides e os efetivamente dissolvidos, correspondendo ao peso total dos constituintes minerais presentes na água, por unidade de volume.

A carga em suspensão é composta por partículas de granulometria reduzida como silte e argila, que devido ao seu tamanho elas se conservam em suspensão pelo fluxo turbulento. As partículas de granulometria maior como areias e cascalhos, formam a carga de fundo, estas são transportadas por meio da saltação, deslizamento ou rolamento na superfície do leito.

A carga detrítica dos cursos de água provém da ação erosiva das águas sobre as margens e fundo do leito e principalmente pela erosão laminar nas vertentes. Por essa razão aponta-se o transporte de sedimentos conduzido por fatores hidrológicos como a quantidade e distribuição das chuvas, a estrutura geológica, a inclinação do terreno e a cobertura vegetal, que em conjunto são determinantes na formação do material intemperizado na bacia hidrográfica bem como no carregamento desses materiais até os cursos de água (Christofolletti, 1981). Desse modo o processo de erosão nas cabeceiras das bacias de drenagem gera o material que está vinculado à carga de suspensão nos canais fluviais abrangendo areias finas, argila, siltes (Carvalho, 2008).

2.2. EROSÃO

O termo erosão designa o processo de desgaste da superfície terrestre pela ação de agentes como as chuvas, vento, rios, geleiras e o mar. Esses agentes modelam o relevo causando corrasão, transporte e acumulação dos sedimentos.

A área de estudo definida no presente trabalho está inserida no clima tropical com chuvas concentradas especialmente no verão. De acordo com Guerra (1995) o processo de erosão que mais se observa em ambientes tropicais é a erosão hídrica, definida como o processo de desagregação e transporte das partículas do solo pela ação das águas pluviais. Nesse sentido, a seguir será enfocado esse tipo de erosão.

O processo de erosão causado pela chuva é influenciado pela ação de diversos fatores que se inter-relacionam como a intensidade e quantidade de chuva, resistência do solo, relevo e tipo de cobertura vegetal. A evolução desse processo se inicia com o efeito *splash*, ou seja, o impacto das gotas de chuva no solo, que pode causar a ruptura dos agregados e provoca o selamento do topo do solo graças à criação de crostas, fato que diminui a capacidade de infiltração de água no solo. Na medida em que o solo torna-se saturado ocorre a formação de poças e consequentemente, o escoamento de água na superfície provocando um escoamento em lençol. Uma vez que esse comece a ocorrer a concentração do fluxo formam-se pequenos canais que precedem a formação de microrravinas e ravinas. (GUERRA, SILVA & BOTELHO, 1999)

A capacidade erosiva, ou erosividade, da precipitação é dada em função de características físicas das chuvas, ou seja, intensidade, duração e distribuição de tamanho das gotas. O fator de erodibilidade é observado em função da infiltração da água no solo, da desagregação pelo impacto da gota de chuva e da resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pela resposta do solo aos processos erosivos.

Para melhor compreensão do processo erosivo, é necessário ponderar que cada solo apresenta certo índice de agregação entre suas partículas, ou seja, um potencial de erodibilidade. A erosão acontece quando o potencial de transporte da água e/ou do vento ultrapassa o limite de agregação das partículas de solo, desprendendo-as umas das outras e permitindo que possam então ser transportadas. Sendo assim, a erodibilidade dos solos depende, em grande parte, de suas propriedades, tais como teor de areia, silte e argila, teor de matéria orgânica, densidade aparente, porosidade e estabilidade de agregados, dentre outras. (GUERRA & CUNHA, 1995).

Portanto, a erodibilidade mede a diferença existente entre os solos em decorrência das suas propriedades intrínsecas. Esta é influenciada pelas seguintes propriedades do solo: as que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de retenção de água; 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)

De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1990), a erosão não é a mesma em todos os solos. Suas propriedades físicas, estrutura, permeabilidade, densidade, características químicas e biológicas exercem diferentes influências na erosão.

A textura do solo e o tamanho das partículas que o compõem são um dos fatores que influenciam na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Tal textura pode ser avaliada na sua formação, podendo ser um solo arenoso que toleraria uma chuva fraca sem nada sofrer devido a sua macroporosidade e alta taxa de infiltração da água (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Porém esse mesmo solo não toleraria uma chuva intensiva causando o arraste de partículas.

No extremo, poderíamos ter um solo argiloso, que possui mais micro poros, o que lhe proporcionaria uma infiltração mais lenta, portanto, com um escoamento maior da água das chuvas, porém com mais resistência ao desprendimento de suas partículas. (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999). Visando definir medidas de correção e proteção ao meio, é importante detectar os lugares mais suscetíveis à erosão atual (erosão que existe num determinado lugar, no momento presente) e a erosão potencial (susceptibilidade à erosão).

Ross (1994), ao caracterizar levantamentos geomorfológicos para apoiar estudos de impacto ambiental, reforça a inclusão dos estudos sobre erosão citando que: a análise de relevo deve conduzir à classificação das formas de relevo quanto à sua fragilidade potencial e emergente, procurando-se identificar problemas de erosão e assoreamento, inundações, instabilidade dos terrenos nas vertentes muito inclinadas, instabilidade dos terrenos planos.

A cobertura vegetal protege o solo diminuindo o impacto das chuvas sobre ele e interfere no escoamento superficial, influencia na avaliação da erodibilidade do solo e, conseqüentemente, na estimativa de perda de solo.

Uma adequada ocupação do solo deve ser feita conforme sua capacidade de uso e manejo, as práticas conservacionistas ajudam no controle de perda de solo diminuindo o processo de erosão e, para que sejam eficientes, devem ser utilizadas de forma associada. Dessa forma é possível reduzir a ação da precipitação sobre os agregados do solo, dificultando a sua desestruturação e a formação de selamento superficial e, conseqüentemente, minimizando o escoamento superficial e o transporte de sedimentos e, as mecânicas, utilizam estruturas artificiais para interceptar o escoamento superficial.

Os processos erosivos são capazes de modelar a paisagem, desgastando material de um local, transportando-o por meio da água ou do vento, e depositando-o quando não tem mais capacidade de transportá-lo. Porém o homem, em diferentes escalas, modifica o meio de tal forma a prejudicar a estabilidade destes acontecimentos.

A inclinação do terreno interfere diretamente na intensidade do processo erosivo, pois quanto maior a inclinação da vertente, maior será a energia cinética da água que escoar superficialmente, e menor será a infiltração de água no solo, o que potencializa o escoamento superficial. Com o escoamento superficial são transportadas partículas de solo e nutrientes. Desta forma, os nutrientes presentes nas camadas superiores do solo são perdidos facilmente por erosão.

Nesse processo a preservação vegetação natural é fundamental principalmente em áreas de risco potencial como vertentes muito inclinadas ou com precipitações elevadas, pois, a vegetação protege o solo da erosão porque o dossel das árvores absorve o impacto direto da chuva sobre a superfície, as raízes unem o solo e a queda contínua de folhas e estruturas das plantas, que caracterizam a serrapilheira, barram o escoamento superficial e o transporte de sedimentos, adicionando ainda matéria orgânica ao solo.

Os intervalos de declividade indicam a potencialidade de ocorrência dos processos erosivos, dos riscos de escorregamento/deslizamento e consequentemente do aporte de sedimentos. Os intervalos são norteados por estudos já consagrados de capacidade de uso/aptidão agrícola. (KAWAKUBO *et al.*, 2005). Quanto mais inclinado é o relevo, maior a suscetibilidade aos processos erosivos, uma vez que a intensidade do fenômeno depende da velocidade do escoamento.

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica é um dos fatores controladores a velocidade do escoamento superficial, afetando, consequentemente o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. A intensidade dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e suscetibilidade para erosão dos solos dependem, em parte, da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia. (VILLELA e MATTOS, 1975).

Desse modo Salomão (1994) estabeleceu cinco classes de suscetibilidade à erosão laminar podem ser assim definidas:

- CLASSE I - Extremamente Suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou reflorestamento;
- CLASSE II - Muito Suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento;

- CLASSE III - Moderadamente Suscetível: os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes;
- 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;
- 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.

Além dos fatores naturais, as formas de ocupação da terra condicionam fortemente no potencial à erosão que algumas bacias poderão sofrer. Áreas com um mesmo nível de suscetibilidade, ocupadas de maneira diferente, apresentam variados potenciais ao desenvolvimento da erosão laminar. O potencial à erosão laminar pode assim ser definido como resultado da interação entre a suscetibilidade dos terrenos em desenvolver erosão e a ocupação atual das terras. (SALOMÃO, 1994).

Assim o potencial à erosão laminar pode ser definida em quatro classes (adaptado de SALOMÃO, 1994):

- Classe I – Solo exposto: ausência de cobertura vegetal com intensiva atividade antrópica;
- Classe II - Culturas perenes e temporárias: cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica moderada a alta;
- Classe III - Pastagem: cobertura vegetal de baixo porte, com atividade antrópica baixa;
- Classe IV – Matas e Vegetação Natural: cobertura vegetal de porte alto a médio porte, com atividade antrópica muito reduzida.

Em suma a erodibilidade indica a resistência do solo à desagregação de partículas e o transporte subsequente. Esta analisada em conjunto com a velocidade do escamento superficial, ou seja, a declividade, é possível apontar a suscetibilidade à erosão. O resultado da inter-relação entre a suscetibilidade e o uso e ocupação da terra revela a potencialidade à erosão laminar.

2.3. DENSIDADE DE DRENAGEM E A HIERARQUIA DE CANAIS

O estudo da morfometria das bacias de drenagem consiste no levantamento de índices e valores numéricos de vários atributos da bacia, que permitam a compreensão do funcionamento do sistema de drenagem (OLIVEIRA, 2009). Desse modo o parâmetro morfométrico correspondente à densidade de drenagem foi adotado nessa pesquisa, no intuito de avaliar a eficiência do terreno em permitir a infiltração, amenizando o escoamento superficial e, por conseguinte o carreamento de sedimentos.

As condições litológicas da bacia hidrográfica interferem diretamente na densidade de drenagem (Dd). As maiores Dd são indicativas de maior escoamento superficial em detrimento da baixa capacidade de infiltração, ao passo que Dd menores apontam uma maior capacidade de infiltração e drenagem dos solos diante do escoamento superficial que, concentrado, acaba com o tempo formando, ou contribuindo para canais fluviais (VILLELA e MATTOS 1975).

Sobre a densidade de drenagem Christofolletti (1981) aponta que: a transmissibilidade (medida da permeabilidade do terreno) aumenta quando a densidade de drenagem diminui, e a transmissibilidade diminui quando a densidade de drenagem aumenta.

A definição do índice de Dd é expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (sejam eles efêmeros, intermitentes ou perenes) de uma bacia e a sua área total. O comprimento dos cursos d'água na bacia é representado por L e a área de drenagem por A , a densidade de drenagem será dada pela expressão de Villela & Mattos (1975):

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

Assim conclui-se que a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial e, portanto fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Apesar de existir poucas informações a respeito da densidade de drenagem de bacias hidrográficas, pode-se afirmar que este índice varia de 0,5 a 3,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, ou seja, alta transmissibilidade do terreno; e, acima desse valor, aponta para bacias excepcionalmente bem drenadas, ou seja, baixa transmissibilidade do terreno. (VILLELA e MATTOS 1975).

A análise da densidade de drenagem em conjunto com o levantamento do potencial erosivo da área de estudo irá apontar o risco potencial ao assoreamento, pois a densidade de drenagem reflete capacidade do terreno de permitir à infiltração das águas pluviais do terreno e, consequentemente, a suscetibilidade a erosão decorrente do atrito do próprio escoamento superficial que conduz material erodido dos pontos abaixo das encostas para as calhas fluviais.

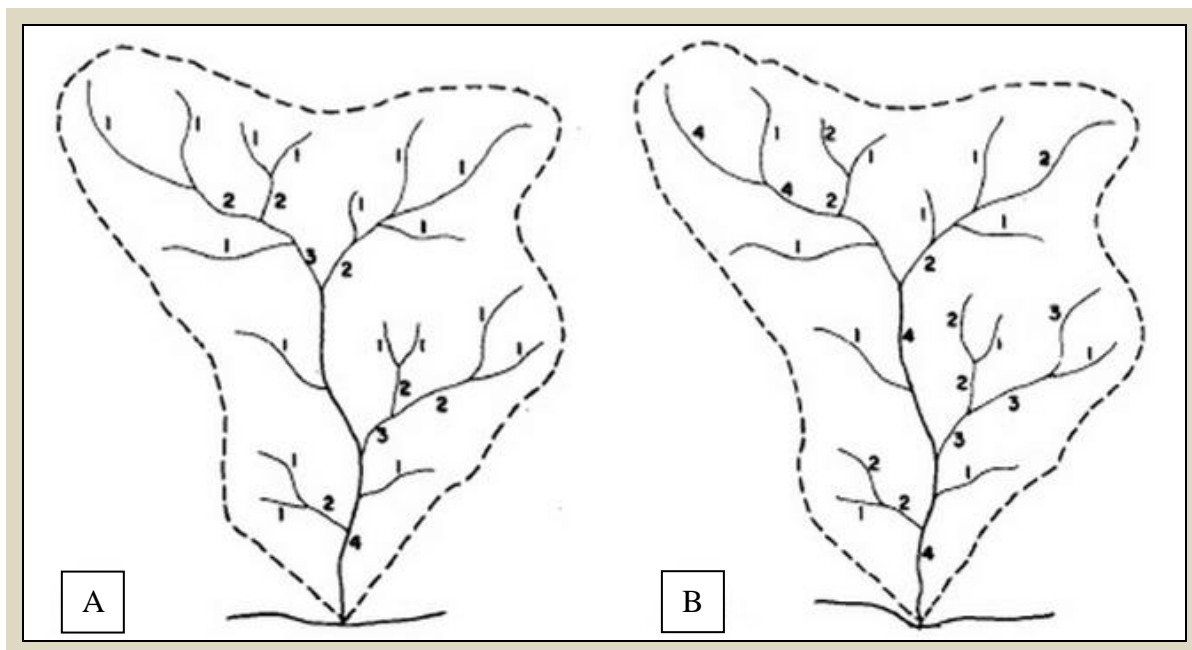
Uma área com um índice elevado de densidade de drenagem é resultante da baixa transmissibilidade do terreno, consequentemente fica mais sujeita a erosão. Como existe uma relação direta entre a suscetibilidade à erosão e os processos de assoreamento, o cálculo da densidade de drenagem das bacias selecionadas é fator fundamental para o diagnóstico de áreas-fonte ao assoreamento. (GUIMARÃES, 2008)

A ordenação dos canais dentro de uma bacia hidrográfica é chamada de hierarquia fluvial que pode ser hierarquizada de duas maneiras (CHRISTOFOLETTI, 1970):

- Strahler (1952): os canais de primeira ordem são aqueles que não apresentam afluentes, localizados nas cabeceiras de drenagem e com irregularidade acentuada em seu regime fluvial. Os canais de segunda ordem são os que se formam a partir da confluência de dois canais de primeira ordem. Os de terceira ordem são os formados pela confluência de canais de segunda ordem e assim sucessivamente, de maneira que os canais de ordem menor não altera a hierarquização da rede. (Figura 2a)
- Horton (1945): também considera os canais de primeira ordem os que não apresentem tributários. Porém, não são todas as cabeceiras que correspondem aos canais de primeira ordem, pois os canais de maior hierarquia estendem-se até a cabeceira de maior extensão, conforme ilustrado na Figura 2b.

Nas duas classificações, as frações de canais, ou seja, trechos entre confluências, contíguos (para montante ou jusante) podem ter a mesma ordem. (CHRISTOFOLETTI, 1970)

Figura 2: Hierarquia fluvial definida por (A) Strahler (1952) e (B) Horton (1945).



Fonte: Christofoleti (1980, p. 107).

2.4. ASSOREAMENTO

A modificação da velocidade de um curso d'água, provocada pela implantação do sistema barragem/reservatório, pode causar a intensificação da deposição de sedimentos e o conseqüente assoreamento destes locais. Os sedimentos mais grosseiros, constituídos pelas frações silte, areia e cascalho, depositam-se a partir das cabeceiras do reservatório, à maneira de deltas. Já a porção mais fina silto-argilosa sedimenta-se mais perto da barragem ou é levada para jusante durante as grandes cheias. O mecanismo de formação de deltas tem conseqüências mais sensíveis, uma vez que pode reduzir o volume útil do reservatório.

Durante a ocupação do Cerrado no Triângulo Mineiro, onde está inserida a área de estudo, as valas para divisão de propriedades, o carro de boi utilizado como meio de circulação e o pisoteio do gado contribuíram para provocar situações que levaram aos problemas atuais de ravinamentos, voçorocamentos, agravando-se os de assoreamento de represas, de empobrecimento dos solos e de diminuição da vazão dos mananciais. (BACCARO, 1990)

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 supersaturação das águas permite a deposição” (INFANTI & FORNASARI, 1998, p. 26)

Segundo INFANTI & FORNASARI (1998) o fenômeno do assoreamento é regido pelos fatores clima, geologia, cobertura vegetal, declividade e uso do solo. Regiões de pluviosidade concentradas em períodos muito curtos, cobertura vegetal mínima, topografias acidentadas e rochas sedimentares arenosas ou formações aluvionares com areia e cascalho, associado a pequenos reservatórios em relação à bacia de contribuição, apresentam maior susceptibilidade ao desenvolvimento do fenômeno. São menos importantes em regiões de pluviosidade bem dividida, cobertura vegetal adequada e solos predominantemente argilosos, desde que não submetidos a práticas agrícolas impróprias, as quais, neste caso, passam a constituir o fator essencial.

Nessa perspectiva CHRISTOFOLETTI (1981) aponta que:

A sedimentação fluvial inclui os processos de remoção, transporte e deposição das partículas do regolito, envolvendo toda a dinâmica da bacia de drenagem. Toda a bacia fluvial é responsável pelo fornecimento detrítico aos cursos de água que, em conjunto, torna-se o fenômeno natural de maior ocorrência na esculturação da rede de canais e das paisagens encontradas na superfície terrestre.(CHRISTOFOLETTI, 1981, p.17)

CHRISTOFOLETTI (1981) salienta que, na dinâmica fluvial, o rio está constantemente em busca de seu perfil de equilíbrio. Com este tipo de ocupação o seu equilíbrio natural é quebrado e irá se estabelecer uma nova dinâmica.

Após a construção de um reservatório a dinâmica e geometria do rio é mudada tanto a montante da barragem, com a subida do nível de base e o consequente depósito progressivo dos sedimentos transportados, como a jusante, pela falta de sedimentos. A diminuição de sedimentos a jusante da barragem também poderá acarretar modificações no comportamento fluvial.

Os materiais transportados por um curso d’água são resultado das interações entre a massa líquida em movimento, a superfície do canal fluvial e os diferentes tipos de sedimentos transportados. A força da gravidade e a tensão de cisalhamento são duas forças principais que

atuam sobre a dinâmica fluvial e no transporte dos sedimentos. (CHRISTOFOLETTI, 1981). A força da gravidade atua atraindo as partículas para as áreas mais baixas e a tensão de cisalhamento reflete a capacidade de um pacote de solos em suportar cargas e conservar a sua estabilidade, no momento em que uma massa de solo se rompe esta tendência é excedida (CAPUTO, 1994).

CAPÍTULO 3

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Piedade ocupa uma área total de 1.861 Km² e a área de contribuição do reservatório da PCH Piedade corresponde a aproximadamente 1.011 Km². A área de estudo está situada à oeste de Minas Gerais, na mesorregião do Triângulo Mineiro, compreende parte dos municípios de Tupaciguara, Araporã, Centralina e Monte Alegre de Minas. A bacia hidrográfica do rio Piedade possui os seus limites circunscritos no médio curso do rio Paranaíba em sua margem esquerda.

A região onde se insere a bacia do rio Piedade é relativamente homogênea do ponto de vista climático, podendo ser classificado como tropical úmido. As características do clima permitem enquadrá-lo no tipo Aw da classificação anual de Köppen. As temperaturas são elevadas no verão, e amenas no inverno, sendo que a temperatura média anual é da ordem de 22°C. A pluviosidade varia bastante durante o ano, se concentrando entre os meses de outubro e março (AGRITEMPO, 2010). Assim a distribuição das chuvas e as temperaturas elevadas são responsáveis pela ocorrência de um período de deficiência hídrica seguido de outro com excesso de água no solo.

A formação geológica da região está situada numa área de cobertura magmático-sedimentar pertencente à Bacia Sedimentar do Paraná. Apresenta a Formação Serra Geral, Formação , Formação Marília e Coberturas Detrito-Lateríticas com concreções ferruginosas. (Figura 3)

A Formação Serra Geral está presente principalmente próximo do Rio Piedade que corre sobre o leito rochoso composto pelos basaltos dessa formação. A Formação Serra Geral é resultado de intenso magmatismo fissural, representado na forma de uma espessa cobertura de lavas (K1 β sg), associado a uma extensa rede de diques e múltiplos níveis de soleiras intrudidos na pilha sedimentar (CPRM,2012).

O Grupo Bauru apresenta-se subdividido em duas Formações, Vale do Rio do Peixe (K2ka) na base e Marília (K2m) no topo, ambas de idade Cretácea. A Formação Vale do Rio do Peixe é formada por uma sequência litológica caracterizada pela presença de bancos de arenitos de granulação fina a muito fina. A Formação Marília é constituída por arenitos finos a médios, imaturos, com presença subordinada de frações de areia grossa a grânulos (CPRM,2012).

Recobrando o Grupo Bauru aparecem nos topos das colinas, a leste e a sudeste da área da bacia, camadas de Coberturas Detrito-Lateríticas (ENdl). Depósitos de sedimento aluvial e/ou coluvial (areia, cascalheira, silte/argila), total ou parcialmente laterizados (arenito, conglomerado e lamito), e laterito autóctone com carapaça ferruginosa, em ambiente continental (CPRM,2012).

O cenário geomorfológico apresenta o relevo Planáltico da Bacia do Paraná, variando de mediamente dissecado nas altitudes entre 700 a 960 m, a intensamente dissecado entre as altitudes de 550 a 700 m (CRUZ,2010). Essa conformação do relevo favorece o intenso aproveitamento hidráulico, que torna a bacia do rio Piedade, em conjunto com a bacia do Paranaíba, uma das áreas mais intensamente represadas do Brasil para fins de geração de energia.

Esta área tem sido alvo de trabalhos científicos nos últimos anos, com destaque para as pesquisas geomorfológicas e da paisagem em decorrência dos projetos desenvolvidos pelos pesquisadores do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Devido à conformação do relevo, a bacia do Rio Piedade, tem sido fonte geradora de energia hidrelétrica por meio das Pequenas Centrais Hidrelétricas. Atualmente existem duas unidades desse tipo no rio Piedade, a Usina Santa Luzia da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG com potência instalada de 0,704 MW e a PCH Piedade da Piedade Usina Geradora de Energia S.A. com potência de 21,7 MW, ambas em fase de operação.

A distribuição dos solos apresenta como predominância os Latossolos Vermelhos na maior parte da bacia, Argissolos Vermelho-amarelo em manchas à nordeste da bacia, Neossolo

Litólico, próximo à passagem do médio para o baixo curso do rio Piedade, e Gleissolo Melânico com uma mancha à sudeste da bacia. (GEOMINAS, 2009).

A vegetação original na região é composta pelo cerrado. De acordo com o Projeto RADAMBRASIL (1983) ele é caracterizado por “formações herbáceas da zona neotropical intercaladas por pequenas plantas lenhosas até arbóreas, em geral serpenteadas por florestas-de-galeria” formando um conjunto de fitofisionomias diferenciadas: cerradão, parque cerrado, campo cerrado, campo e floresta aluvial, apresentando, desse modo, imensa riqueza de flora e fauna. Tais formações são condicionadas de acordo com o tipo de solo, nível de lençol freático, relevo e etc.

Este domínio apresenta características topográficas, litológicas e de vegetação bastante peculiares e muito frágeis quando submetidas a atividades antrópicas desordenadas. Durante os últimos 30 anos vem sofrendo intensas transformações, passando das tradicionais atividades de pecuária extensiva, agricultura itinerante e extrativismo, para um acelerado processo de desenvolvimento da agropecuária, de monoculturas tecnisadas, inicialmente com a implantação de reflorestamentos e mais recentemente com vários tipos de culturas, principalmente as de soja, café, feijão e milho. (LIMA, 2007).

CAPÍTULO 4

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A potencialidade da dinâmica da produção de sedimentos foi avaliada considerando a ACR da PCH Piedade. Desse modo foram analisados fatores que interferem na contribuição de sedimentos na bacia como um todo e como ponto de coletas, para análise mais específica, foi determinado o reservatório da PCH Piedade.

Foram estabelecidos procedimentos que contemplassem a relação entre:

- os potenciais erosivos que contribuem para a geração de sedimentos;
- á análise da densidade de drenagem que reflete a capacidade do terreno em absorver água;
- à conseqüente potencialidade ao assoreamento causado por estes fatores.

Assim, a metodologia adotada consiste em analisar e mapear os principais fatores que interferem na produção de sedimentos. O mapeamento foi realizado a partir de uma adaptação da proposta de Salomão (1994) que avalia a potencialidade à erosão laminar, fator determinante na contribuição de sedimentos aos cursos d'água.

A avaliação do comportamento hidrossedimentológico do reservatório foi realizada por meio de estudos sobre a concentração de sedimentos em suspensão e a amostragem do material de leito buscando caracterizar o transporte de sedimentos da bacia, durante um ciclo hidrológico, até o local do barramento. Também foram realizados levantamentos batimétricos para avaliação de mudanças no fundo do reservatório, como consequência da deposição de sedimentos.

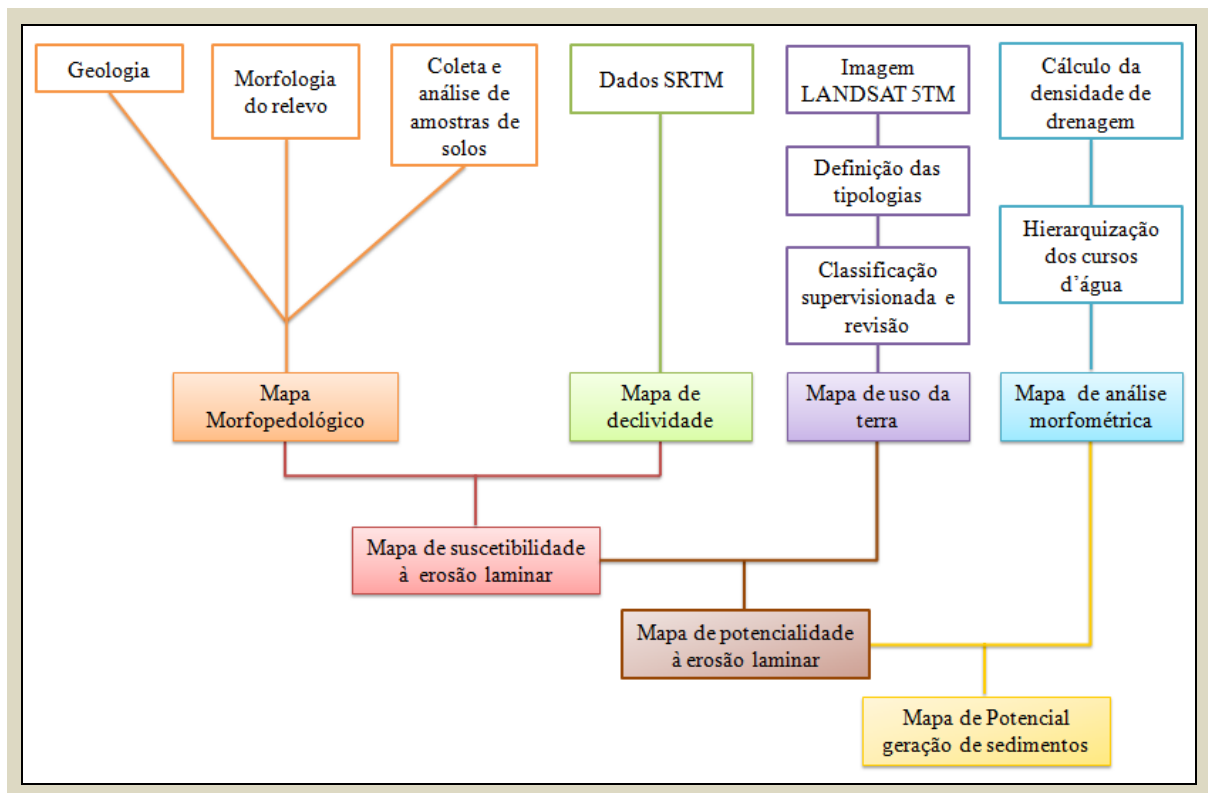
4.1. PROCEDIMENTOS PARA CONFECÇÃO DOS MAPAS DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE SEDIMENTOS

Os mapas foram elaborados no software ArcGIS 9.2, que constitui SIG produzido pela ESRI – *Environmental Systems Research Institute*, grupo de programas que possibilita realizar procedimentos para a visualização, exploração e análise de informações espaciais. Para isso ele oferece ferramentas de mapeamento, análise e gerenciamento de dados, além de

incorporar ferramentas de edição, cartografia avançada, administração de dados e análises espaciais.

Para geração do mapa das potenciais áreas-fonte contribuintes ao assoreamento na Bacia do Rio Piedade, foram organizados inicialmente os mapas da cobertura morfopedológica e declividade, que analisados em conjunto apontaram o grau de suscetibilidade à erosão laminar. Posteriormente, por meio da diferenciação do uso e ocupação atual da terra na escala de 1:50.000, juntamente com o mapa de suscetibilidade, foi gerado o mapa de potencialidade à erosão laminar. Por fim foi analisada a morfometria para definição da densidade de drenagem. Assim, por meio da interpolação desses mapas foi obtido o mapa final das principais áreas-fonte de contribuição ao assoreamento (Figura 4).

Figura 4: Esquema ilustrativo da geração dos mapas.



Fonte: Produzido pelo autor.

4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS SUPERFICIAIS E MAPEAMENTO MORFOPEDOLÓGICO

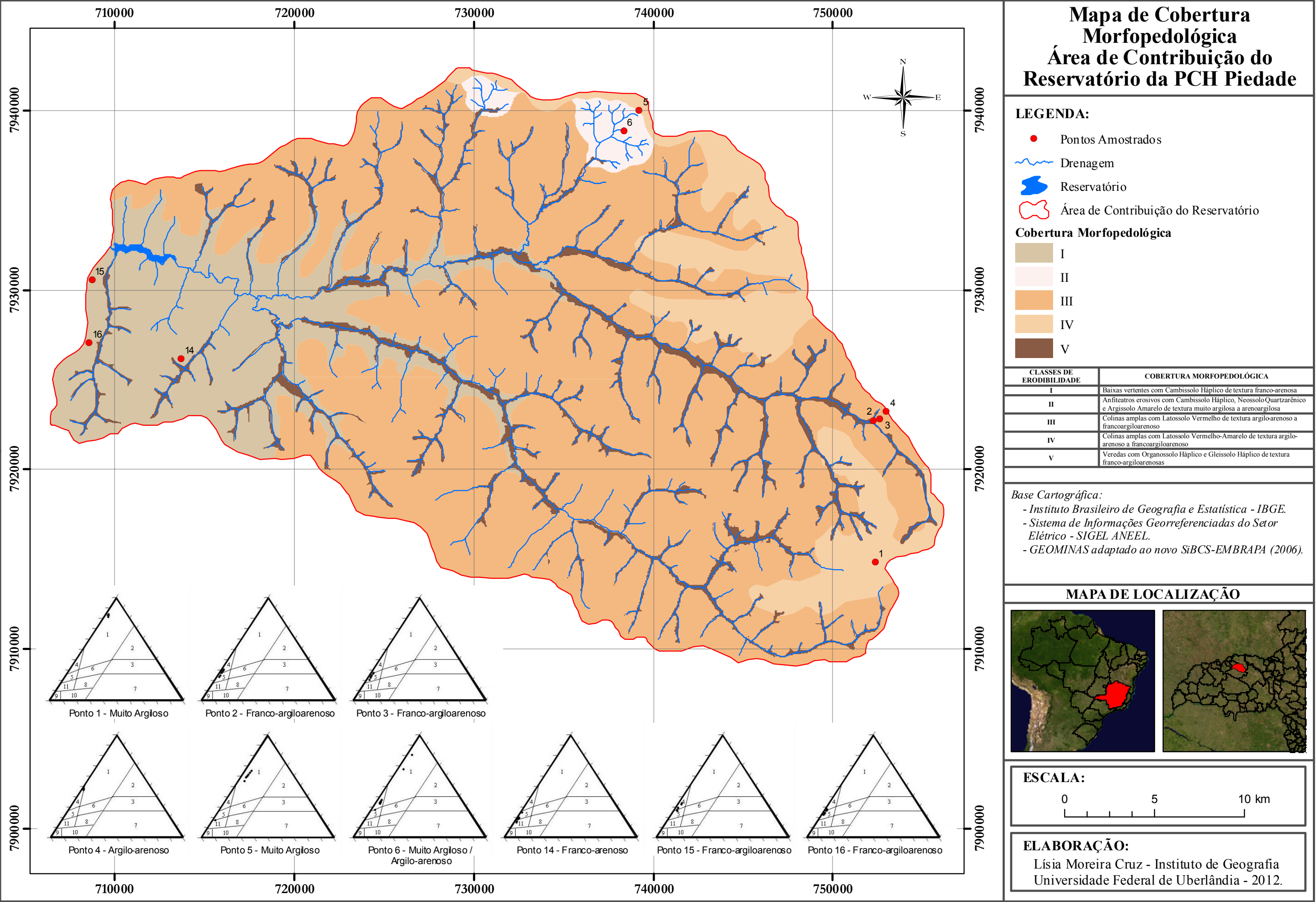
Os mapas de solos disponíveis da área de estudo, não estão em uma escala de trabalho adequada. Sendo assim buscou-se por meio da coleta de amostras de solos, fazer um estudo mais detalhado das coberturas inconsolidadas e assim obter um resultado mais preciso dos dados de erodibilidade.

Um dos principais elementos que interferem na formação dos solos é o relevo, pois este condiciona a quantidade e a maneira com que a água que interfere nesse recurso natural, como ela infiltra escoar. Além disso, as rochas fornecem o substrato para a formação do solo. A partir desse contexto foi realizada a confecção do mapa morfopedológico.

Cada tipo de solo apresenta particularidades quanto à agregação de partículas, capacidade de absorção e de resistência ao transporte de sedimentos pelo fluxo superficial. Para a melhor compreensão da potencial erodibilidade do solo são necessárias análises do teor de areia, silte e argila das coberturas inconsolidadas.

As amostras de solos foram coletadas pontos da ACR previamente estabelecidos. Para definição dos pontos foram feitas análises visuais de imagens levando em conta parâmetros de cor e rugosidade; densidade de canais, proximidades dos canais fluviais, altitudes, declividades, embasamento litológico que serviram, juntamente com a observação de campo, para compor o mapa (Figura 5).

Figura 5: Mapa de Cobertura Morfopedológica - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.

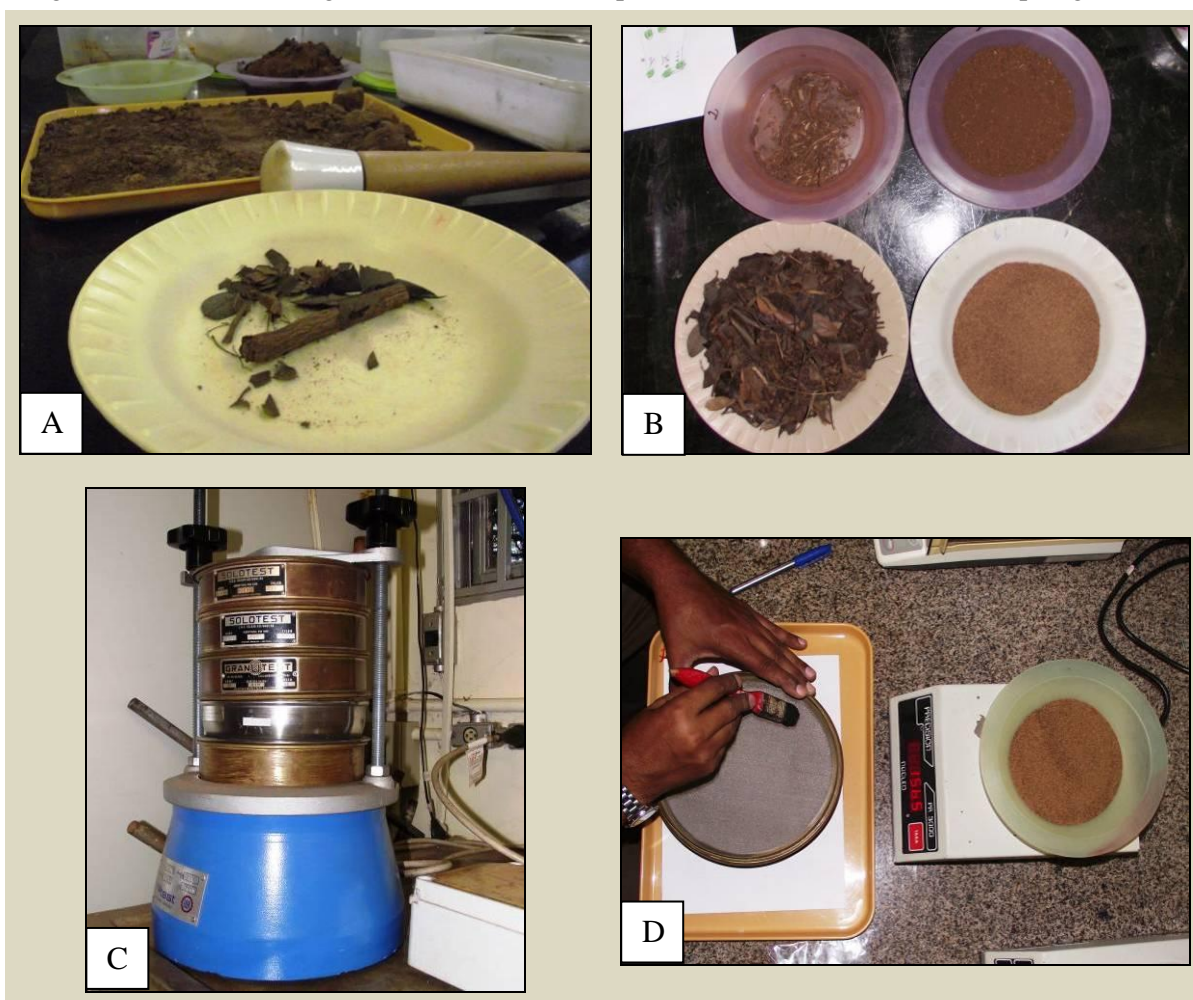


O processamento das amostras foi realizado no Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

Coletadas as amostras elas foram dispostas em pratos plásticos para secagem ao ar livre, retirando assim a umidade. Posteriormente foram quebrados os torrões de solo com uso do socador de Mão de Grall, mantendo a estrutura original. Após esses processos, o material foi submetido a uma peneira de malha 2,0 mm que retirou do material as partículas, os torrões e a matéria orgânica não decomposta com tamanhos superiores a 2,0 mm (Figura 6).

Figura 6: Processamento das amostras de solos.

Legenda: (A) e (B) – secagem das amostras; (C) – peneiramento das amostras; (D) – pesagem.



Fonte: Produzido pelo autor.

Foram pesadas na balança de precisão 20g de terra fina seca ao ar (TFSA) de cada amostra, colocando-as em potes plásticos e adicionando a cada uma 1000 ml de água destilada e 20ml de hidróxido de sódio (NaOH) a 1 normal. Após esse procedimento, as amostras foram levadas para a mesa agitadora por 15 horas. Esse procedimento foi realizado para desagregar as partículas de solo.

Após serem agitadas, as amostras foram lavadas em uma peneira de malha 0,053 mm, passando as partículas menores que 0,053 mm (silte e argila), ficando retidas as maiores (areias fina e grossa).

As partículas menores que 0,053 mm (silte e argila), foram depositadas em uma proveta, onde acrescentou-se uma quantidade de água destilada suficiente para atingir 1000 ml de solução. As amostras da proveta foram agitadas por 1 minuto, ficando em repouso por 3 minutos. Logo após o período de repouso, fez-se a pipetagem de 25 ml de silte a uma profundidade de 10 cm. Após 4 horas, foi feita uma nova pipetagem, coletando dessa vez 25 ml de argila a 5 cm de profundidade. As cápsulas de porcelana com os 25 ml de silte e argila foram levadas à estufa numa temperatura de 110° para secarem, e pesadas logo em seguida.

A areia que ficou retida na peneira de 0,053 mm também foi levada à estufa e posteriormente peneirada numa peneira com malha de 0,210 mm para se separar a areia fina e areia grossa, sendo pesadas logo após esse procedimento.(EMBRAPA,1997)

Concluídos esses procedimentos, foram realizados os cálculos do percentual de argila, silte, areia fina e areia grossa existente em cada amostra. Essas análises geraram informações sobre a textura do solo. Além da textura dos solos, foram estabelecidas correlações entre a declividade, altitude e substrato rochoso para definição dos tipos de solos com suas respectivas texturas, assim foram definidas as classes de erodibilidade adaptando à metodologia de Salomão (1994) (Tabela 1).

Tabela 1: Classes de erodibilidade.

Classes de erodibilidade	Cobertura Morfopedológica
I	Baixas vertentes com Cambissolo Háplico de textura franco-arenosa.
II	Anfiteatros erosivos com Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Argissolo Amarelo de textura muito argilosa a arenoargilosa.
III	Colinas amplas com Latossolo Vermelho de textura argilo-arenoso a francoargiloarenoso
IV	Colinas amplas com Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilo-arenoso a francoargiloarenoso.
V	Veredas com Organossolo Háplico e Gleissolo Háplico de textura franco-argiloarenosas.

Fonte: Adaptado de SALOMÃO (1994).

Tais classes partem de um grau de maior erodibilidade até um grau de menor. Essa classificação foi realizada a partir dos dados obtidos das análises das amostras em consonância com os estudos Salomão (1994) e Ross (1994) que se basearam nos pressupostos de Bertoni e Lombardi Neto (1985), apresentando os índices de erodibilidade das principais unidades pedológicas do estado de São Paulo. Estes índices são norteadores para a classificação da cobertura morfopedológica Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.

4.1.2. MAPA DE DECLIVIDADE

A topografia do terreno interfere diretamente na intensidade da erosão laminar, sendo que quanto mais inclinado o relevo, maior a velocidade das enxurradas e maior será a remoção e o carreamento de sedimentos.

Sendo assim formam definidos os intervalos das classes de declividade de acordo com a metodologia adotada por Salomão (1994) que contempla os intervalos de declive adotados na definição de classes de uso das terras. (Tabela 2).

Tabela 2: Classes de declividade.

Classes de declividade	Declividade
I	> 20
II	12 a 20
III	6 a 12
IV	< 6

Fonte: Salomão (1994).

Para geração do mapa de declividade foram obtidos, por meio da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, os dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que foram utilizados na confecção e processamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE) resultando em produtos capazes de representar as três dimensões espaciais do relevo: latitude, longitude e altitude (x, y, z). Esse dados processados no software de geoprocessamento ArcGIS 9.2 gerando assim o mapa de declividade que foi classificado em quatro categorias com pesos diferentes na interferência na erosão laminar.

4.1.3. MAPA PRELIMINAR DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO LAMINAR

Os fatores de erodibilidade estão fortemente associados aos de declividade do terreno. Desse modo, o mapa preliminar de suscetibilidade à erosão laminar foi construído a partir do cruzamento entre o mapa morfopedológico e o mapa de declividade. (Quadro 1)

Quadro 1: Classes de suscetibilidade à erosão laminar.

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

Fonte: Adaptado de Salomão (1994).

Sendo assim o mapa de suscetibilidade à erosão laminar reflete a tendência natural do terreno em apresentar o fluxo em lençol com o carreamento de partículas.

4.1.4. MAPA DE USO E OCUPAÇÃO ATUAL

O levantamento e delimitação e da cobertura vegetal e uso da terra da área de estudo foi organizado em classes, a fim de possibilitar a interpolação dos dados na elaboração do mapa da potencial à erosão laminar. O critério adotado para o estabelecimento das classes leva em conta o porte da cobertura vegetal e a intensidade da ação antrópica no manejo da terra. “O porte da cobertura vegetal reflete, de forma indireta, o nível de cobertura vegetal sobre o solo e, conseqüentemente, a proteção do solo quanto aos processos erosivos.” (SALOMÃO, 1994). As classes estão organizadas em ordem crescente em relação ao seu potencial de proteção pela vegetação. (Tabela 3).

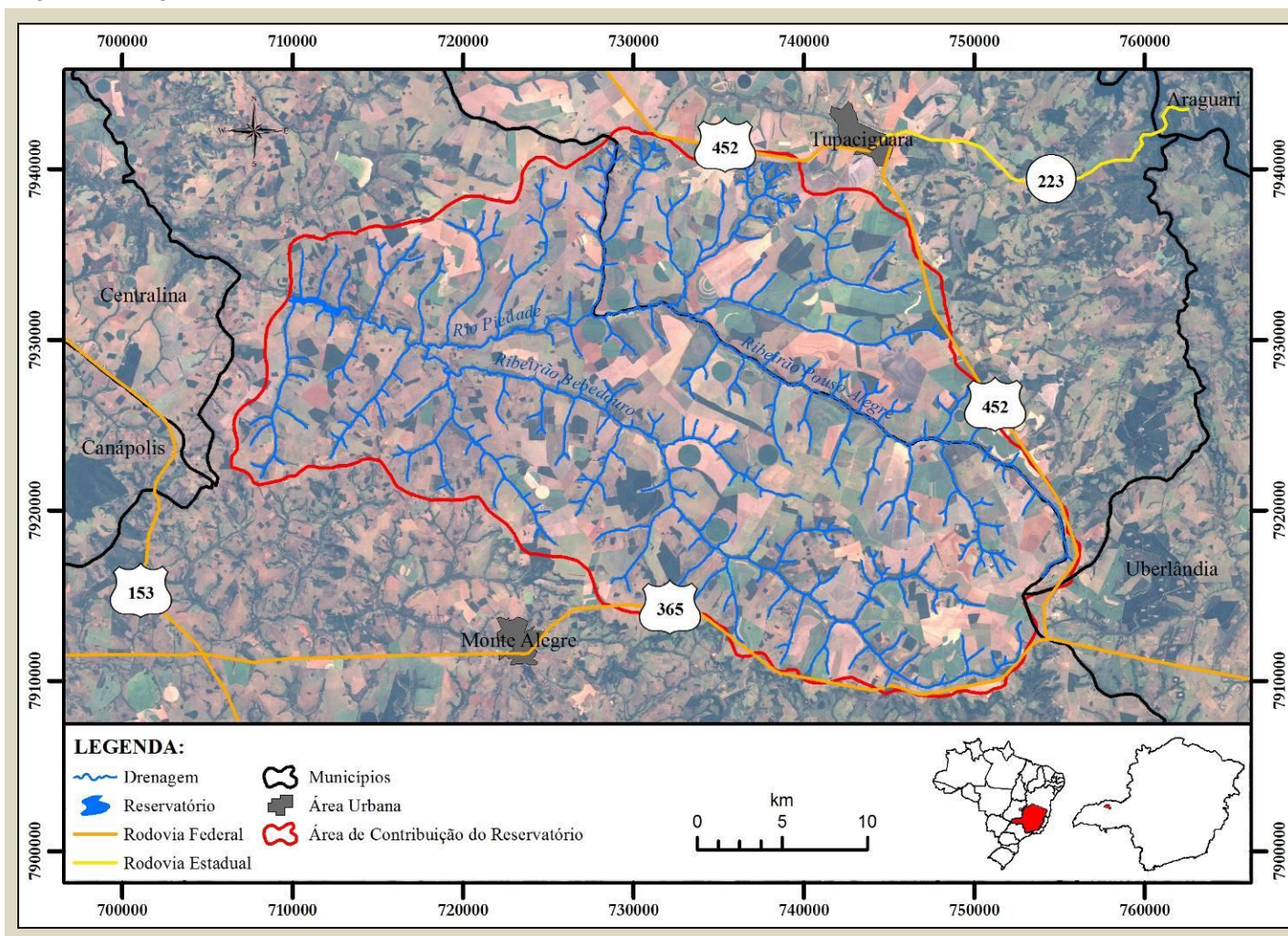
Tabela 3: Classe de ocupação atual das terras

Classe de ocupação atual das terras	Características	Tipos de uso
I	Cobertura vegetal de baixo e médio porte, com intensa atividade antrópica.	Culturas anuais, área de preparo de plantio e solo exposto
II	Cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica moderada.	Culturas perenes, cana-de-açúcar e pastagem
III	Cobertura vegetal de baixo e médio porte, com atividade antrópica muito reduzida.	Pasto sujo e campo cerrado
IV	Cobertura vegetal de porte alto a médio, com atividade antrópica muito reduzida.	Reflorestamento, capoeirão e florestas
V	Espelhos d'água e várzeas.	Espelhos d'água de várzeas

Fonte: Adaptado de Salomão (1994).

Para a confecção do mapa de Uso e Ocupação da Terra utilizou-se dados de Sensoriamento Remoto que foram processados de maneira supervisionada no software ArcGIS 9.2, com a verificação e correção da classificação quando necessário. Algumas áreas classificadas foram conferidas em observações em campo. Para a classificação, utilizou-se imagens LANDSAT 5TM obtidas em 28 de agosto de 2011, período que coincide a menor ocorrência de nuvens na região e maior diferenciação da resposta de cores dos tipos de cobertura vegetal (Figura 7). Foi utilizada a composição colorida 4R2G7B, que evidencia a diferenciação entre as classes analisadas.

Figura 7: Imagem LANDSAT 5TM da área de estudo.



Fonte: Produzido pelo autor.

4.1.5. MAPA DE POTENCIALIDADE À EROSÃO LAMINAR

O mapa de potencialidade à erosão laminar foi realizado por meio do cruzamento matricial das classes de suscetibilidade à erosão laminar e de uso e ocupação do solo gerando três classes (Quadro 2) que obedecem aos seguintes critérios (SALOMÃO, 1994):

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

Quadro 2: Classes de potencialidade à erosão laminar.

		Classes de uso e ocupação atual das terras				
		I	II	III	IV	V
Classe 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	III

Fonte: Adaptado de Salomão (1994).

4.1.6. MAPA DE DENSIDADE DE DRENAGEM

Para obtenção da densidade de drenagem primeiramente foram definidas as principais bacias, em seguida calculadas suas respectivas áreas e medidos os comprimentos dos seus cursos d'água. Por fim esses dados foram inseridos na expressão e chegou-se ao resultado da densidade de drenagem.

As bacias foram diferenciadas de acordo com a hierarquia de drenagem, classificando e definindo os canais principais como os de 4ª e 5ª ordem agrupados com seus respectivos tributários. Assim, o mapeamento da densidade de drenagem, foi realizado em função de quatro bacias que apresentam maior regularidade do ciclo hidrológico: do Rio Piedade, do Córrego Capão D'anta, do Ribeirão Pouso Alegre e do Ribeirão Bebedouro.

4.1.7. MAPA DE POTENCIALIDADE AO ASSOREAMENTO

No intuito de avaliar as principais potenciais áreas-fontes ao assoreamento foi gerado o mapa final mediante aos resultados da inter-relação dos fatores de suscetibilidade à erosão laminar, potencial erosão laminar e da densidade de drenagem.

Nesse mapa foi mantida a subdivisão em quatro áreas contribuintes do reservatório para que, dessa forma, fosse possível realizar uma análise do potencial aporte de sedimentos ao reservatório das diferentes partes da área de estudo.

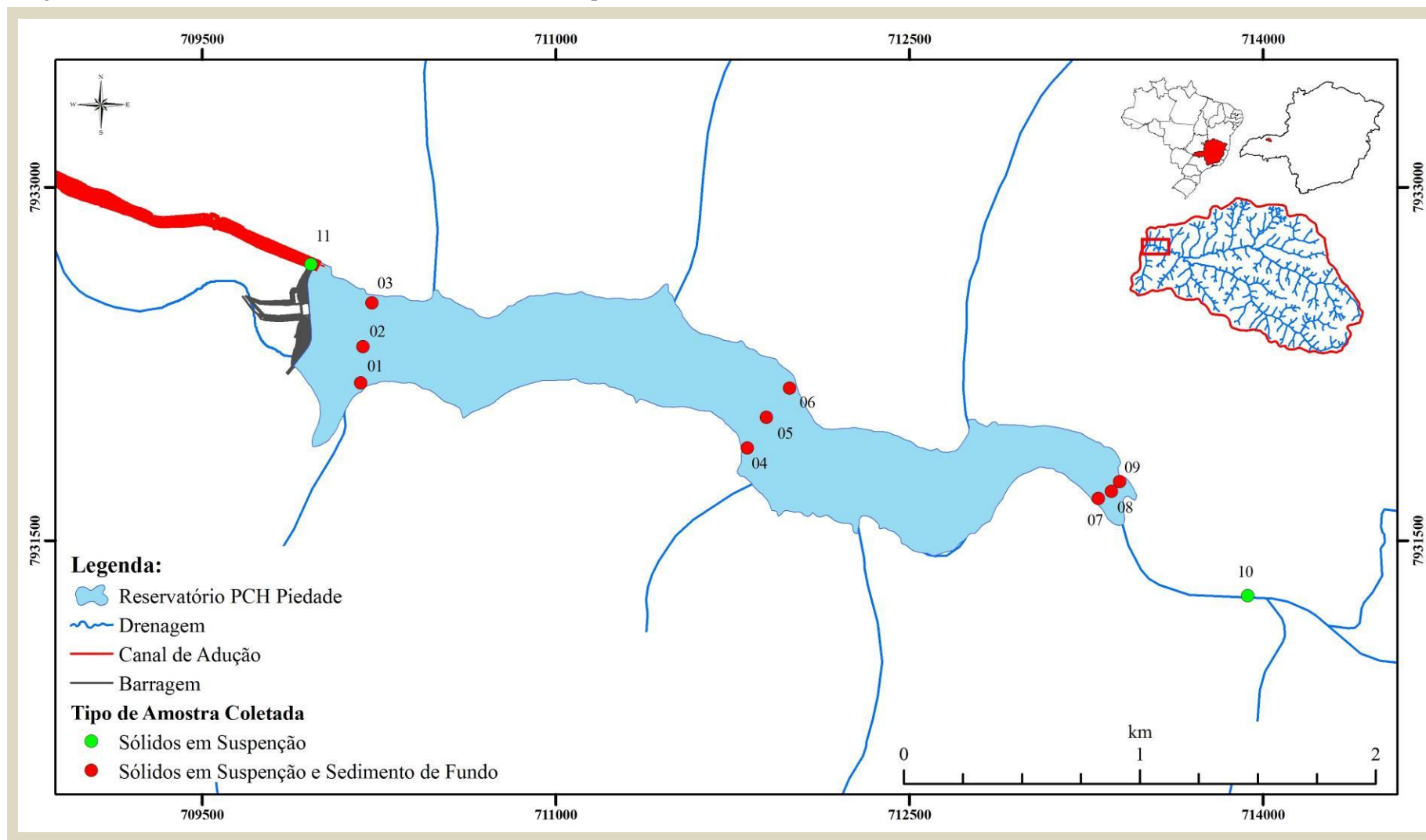
4.2. ANÁLISE DOS DADOS COLETADOS NO RESERVATÓRIO DA PCH PIEDADE

A fim de obter um aprofundamento do conhecimento sobre a produção de sedimentos da Bacia do Rio Piedade, foram coletados dados no reservatório da PCH Piedade gerando informações sobre o regime fluvial e principalmente, sedimentológicos da área de estudo que aportam ao reservatório. Verificando dessa forma, os reflexos da produção e transporte de sedimentos no assoreamento da represa.

Os dados foram obtidos por meio de coletas de amostras de água e sedimentos de fundo. As amostras de água foram utilizadas para avaliar e quantificar a dinâmica do material dissolvido e em suspensão, e o sedimento de fundo para avaliar a tipologia do material depositado.

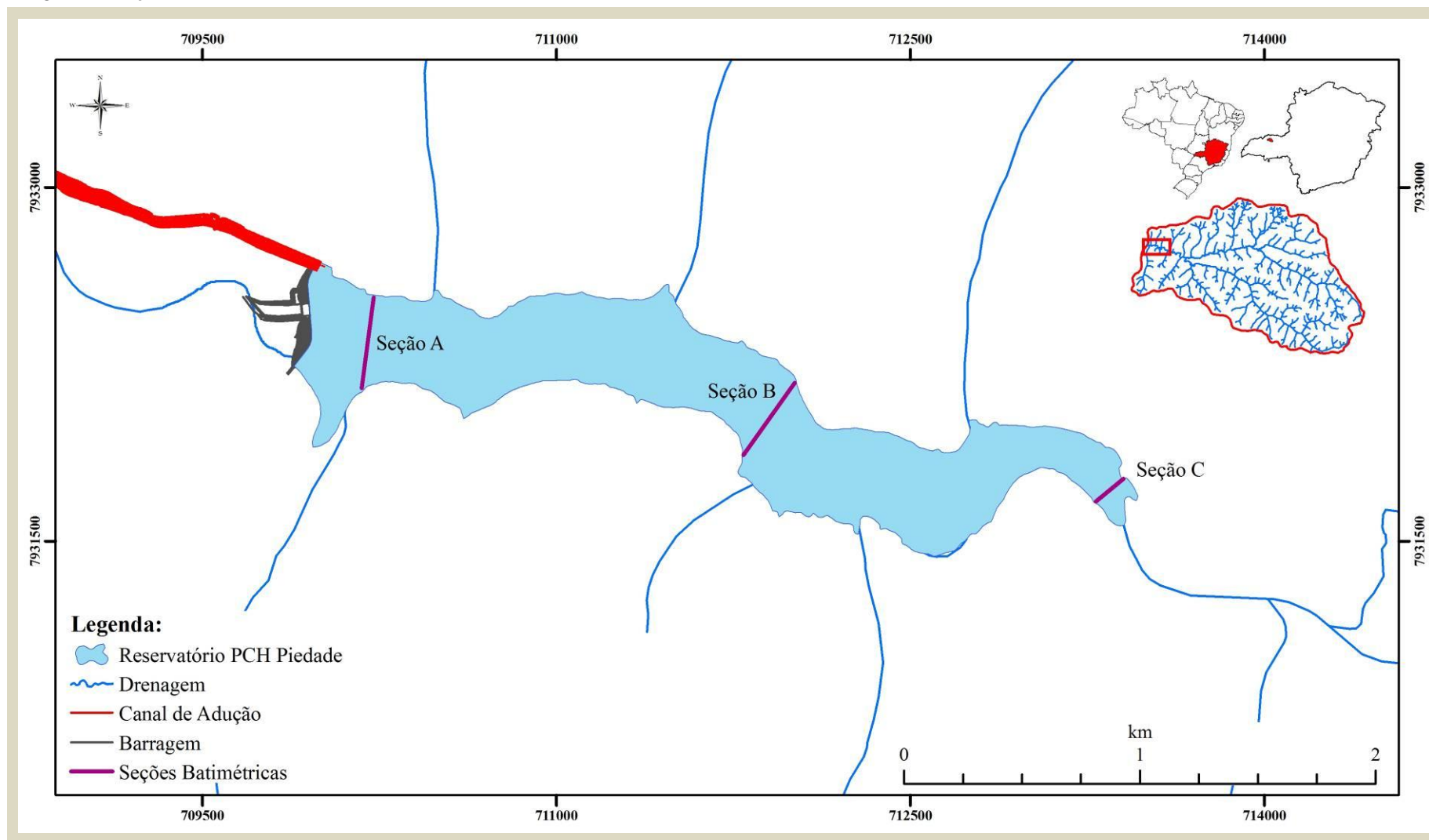
As coletas foram realizadas em três seções de monitoramento: próximo ao remanso, na parte mediana do reservatório e próximo da barragem, com intenção de demonstrar diferentes tipologias da dinâmica hídrica e de deposição (Figura 8). Também foram feitos levantamentos batimétricos para avaliação da topografia do fundo do lago, a fim de analisar a dinâmica da deposição de sedimentos (Figura 9).

Figura 8: Pontos de coletas das amostras de sedimento em suspensão e sedimentos de fundo.



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 9: Seções de levantamentos batimétricos



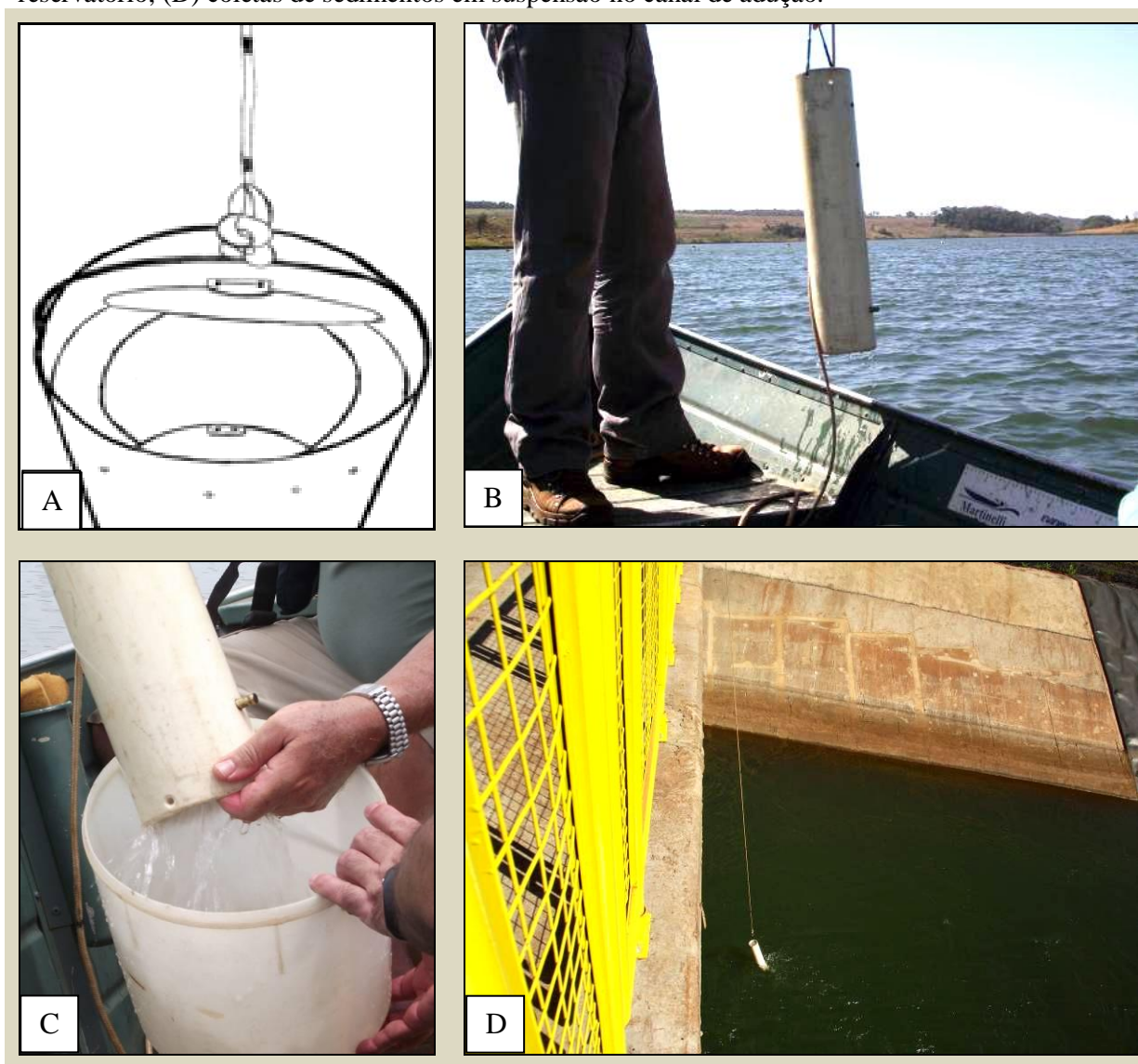
Fonte: Produzido pelo autor.

4.2.1. SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO

As coletas para avaliação da quantidade de sedimentos que está sendo depositada no lago foram realizadas com a garrafa Pinese (Figura 10), que é um coletor instantâneo que possibilita a obtenção de material em diferentes profundidades.

Figura 10: Coleta de água.

(A) – esquema ilustrativo da garrafa Pinese; (B) e (C) – coletas de sedimentos em suspensão no reservatório; (D) coletas de sedimentos em suspensão no canal de adução.



Fonte: Produzido pelo autor.

Em cada seção foram coletadas amostras juntas à margem e próximas à metade do lago, sempre em duas profundidades, entre 0,50 m e 1,0 m do fundo e em profundidade média, no intuito de obter dados mais próximos à área de deposição, e também em menores profundidades. Além das seções, foram obtidas amostras no leito do rio Piedade e à jusante do reservatório e canal de adução – ponto 11.

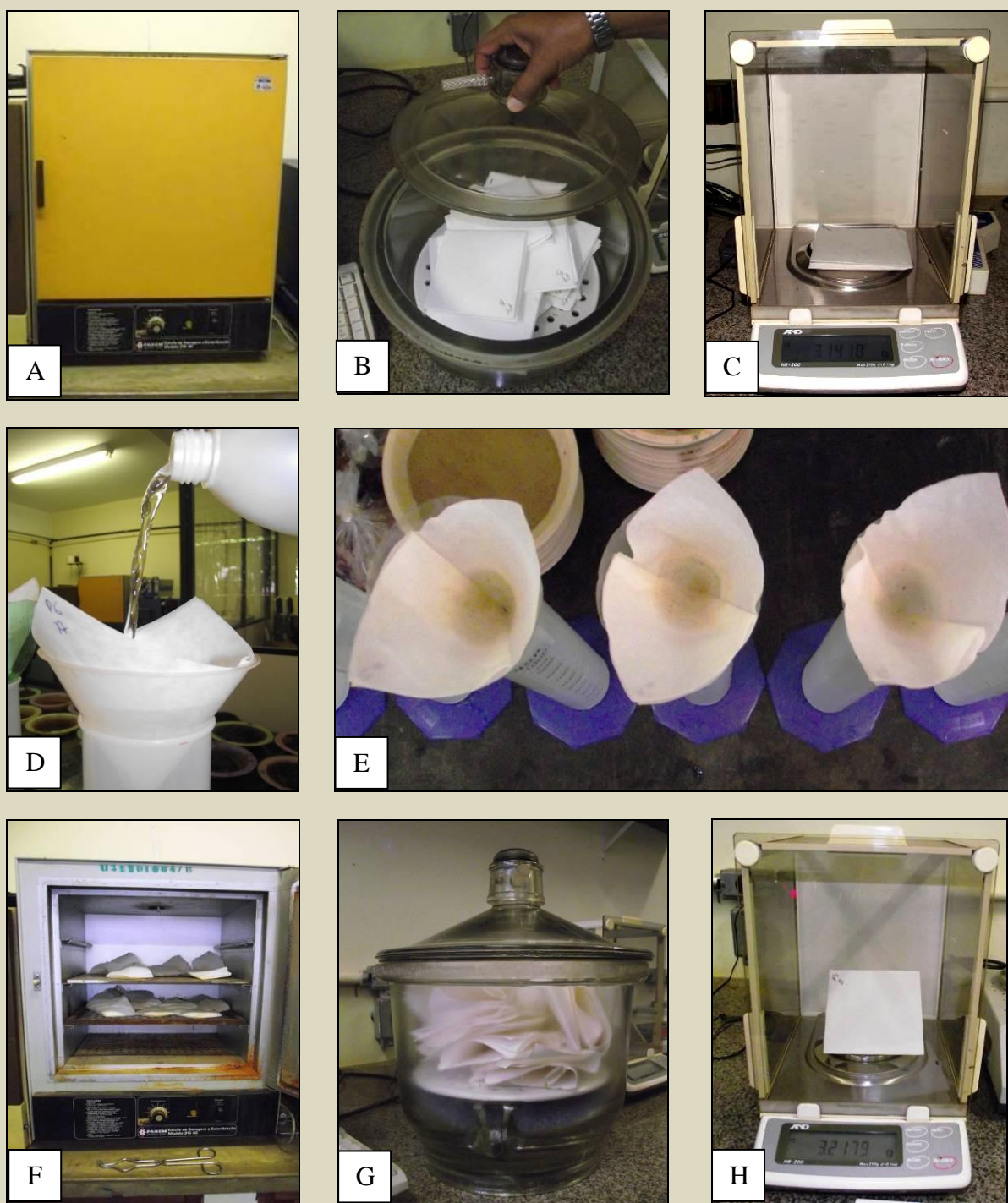
As amostras foram armazenadas em recipientes de 1 litro e encaminhadas para análise em laboratório. Desse modo o material foi analisado de acordo com os seguintes procedimentos:

- separação do papel filtro que foi levado à estufa para retirada da umidade;
- o papel filtro foi colocado no dessecador;
- pesagem do papel filtro;
- filtragem das amostras de água;
- secagem do papel filtro;
- o papel filtro foi colocado no dessecador;
- pesagem em balança de precisão.

Assim, desprezando o peso do filtro foi possível obter a quantidade (mg/L) de sedimento para cada amostra de água (Figura 11).

Figura 11: Processamento das amostras de sedimento em suspensão em laboratório.

(A) – mufla; (B) –dessecador; (C) – balança de precisão; (D) e (E) – filtragem e secagem das amostras de sedimento em suspensão; (F) – mufla; (G) –dessecador; (H) – balança de precisão.



Fonte: Produzido pelo autor.

Para a avaliação da descarga sólida em suspensão (Q_{ss}) foram utilizadas as seguintes variáveis para analisar os dados: tempo (segundos), vazão (m^3/s) e média da concentração total do canal de sedimentos (mg/L). O produto destas três variáveis resulta no transporte total de sedimentos em suspensão em toneladas ao dia, estimada através da equação (CARVALHO, 2009):

$$Q_{ss} = 86400 \times Q \times C$$

Onde:

Q = descarga líquida em m^3/s (vazão)

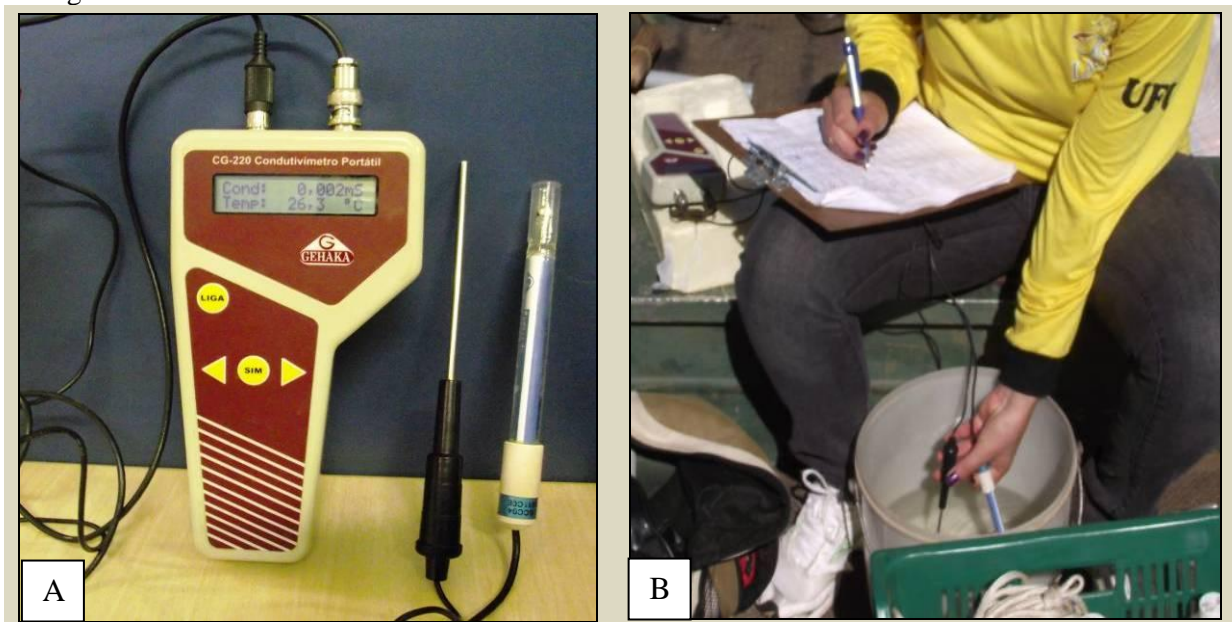
C = concentração em mg/L

86400 = segundos totais em 24 horas

Além desses dados acima, foram verificadas a temperatura, condutividade, resistividade e sólidos totais dissolvidos, no instante em que foi coletada, cada amostra de água, é despejada em um recipiente no qual são inseridos os medidores. Esses dados são indicativos de qualidade da água e favorecem a avaliação da quantidade de sedimentos. Para obtenção desses parâmetros foi utilizado o Condutivímetro Digital Microprocessado Gehaka, modelo CG220 (Figura 12).

Figura 12: Obtenção de parâmetros de água.

(A) – Condutivímetro Digital Microprocessado Gehaka, modelo CG220; (B) obtenção de parâmetros da água coletada.



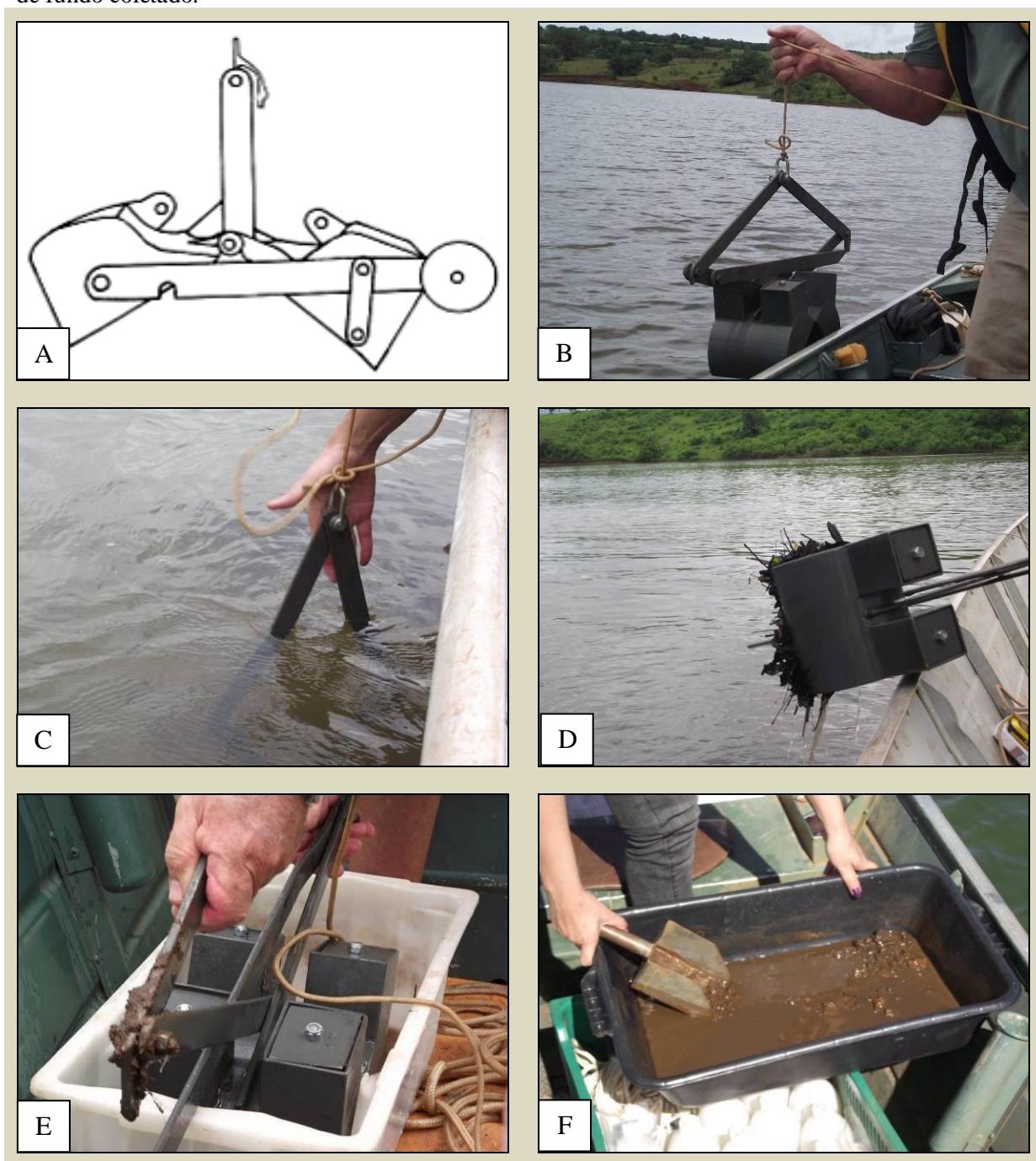
Fonte: Produzido pelo autor.

4.2.2. SEDIMENTOS DE FUNDO

Nos mesmos pontos do reservatório onde foram obtidas as amostras de sólidos em suspensão, também foram coletadas amostras dos sedimentos de fundo. Os sólidos coletados no fundo do reservatório são utilizados para que sejam efetuadas análises do material que foi transportado e depositado.

O material do leito do reservatório foi coletado com um amostrador de fundo de mandíbula, a draga de Petersen, (Figura 13). As coletas foram feitas em seções transversais nas margens e no meio do canal. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e transportadas ao laboratório onde foram analisadas.

Figura 13: Ilustração e utilização da draga de Petersen para coleta de amostras de fundo. (A) – Ilustração da draga de Petersen; (B), (C), (D) e (E) – procedimento de coleta; (F) – sedimento de fundo coletado.



Fonte: Produzido pelo autor.

O material coletado foi disposto em pratos plásticos para secagem ao ar livre e retirar totalmente a umidade. Em seguida foi separada manualmente a matéria orgânica macroscópicas, presentes nas amostras, para serem pesadas. Posteriormente, quebraram-se os

torrões utilizando um socador tipo Mão de Grall, sem alterar sua estrutura original. (Figura 14)

Figura 14: Processamento das amostras de sedimento de fundo.

(A) e (B) – processo de secagem das amostras; (C) e (D) – separação da matéria orgânica.

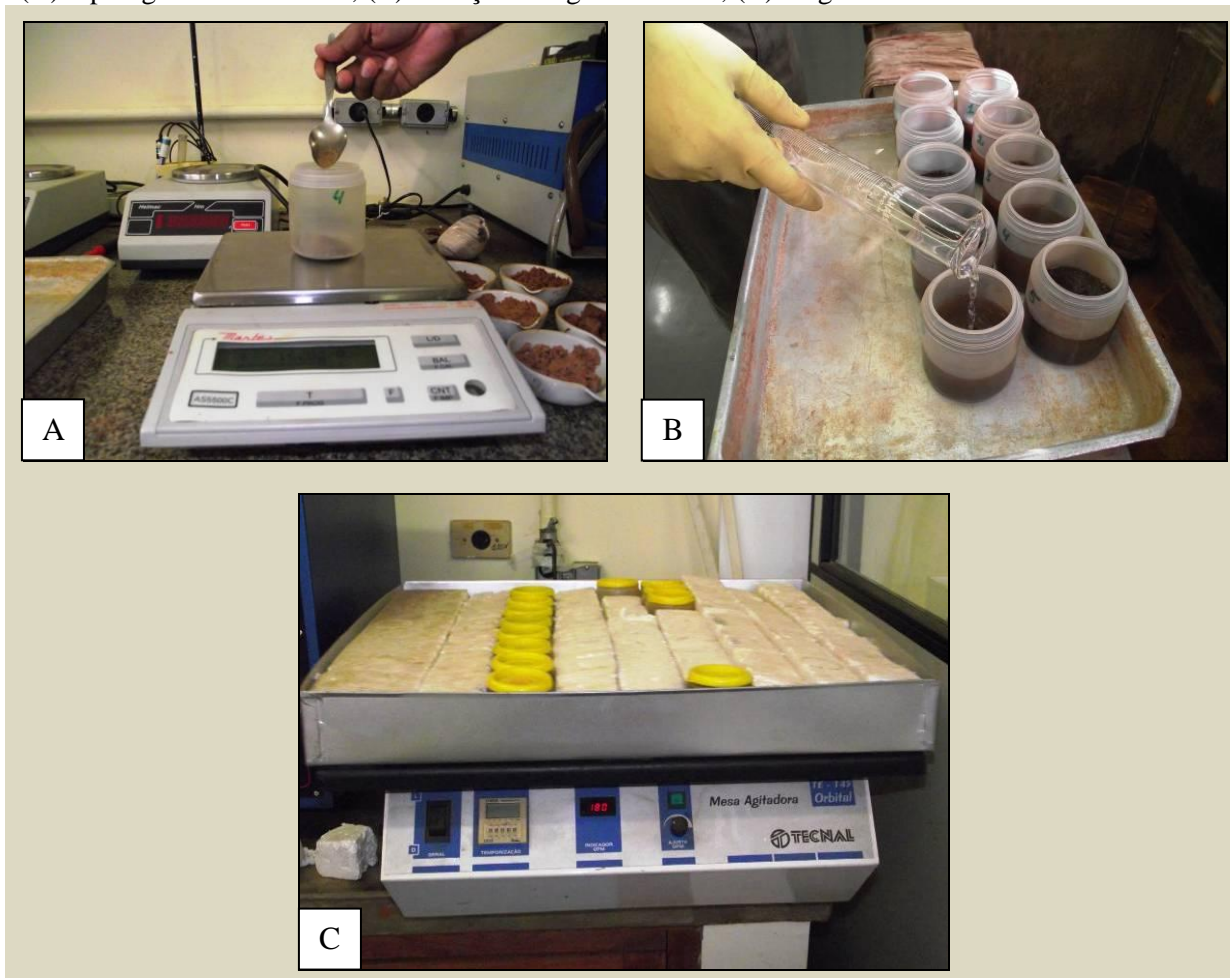


Fonte: Produzido pelo autor

Separada a matéria orgânica, a amostra foi homogeneizada e em seguida foram separadas 20 gr de cada, para realizar a análise granulométrica. Essa fração de cada amostra foi colocada em recipientes onde foram adicionados 100 ml de água destilada e 20 ml de NaOH a 4%. Após esse procedimento os recipientes foram colocados no agitador mecânico a 180 orbitais por minuto durante 15 horas. (Figura 15)

Figura 15: Processamento das amostras de sedimento de fundo.

(A) – pesagem das amostras; (B) – adição de água destilada; (C) – agitador mecânico.

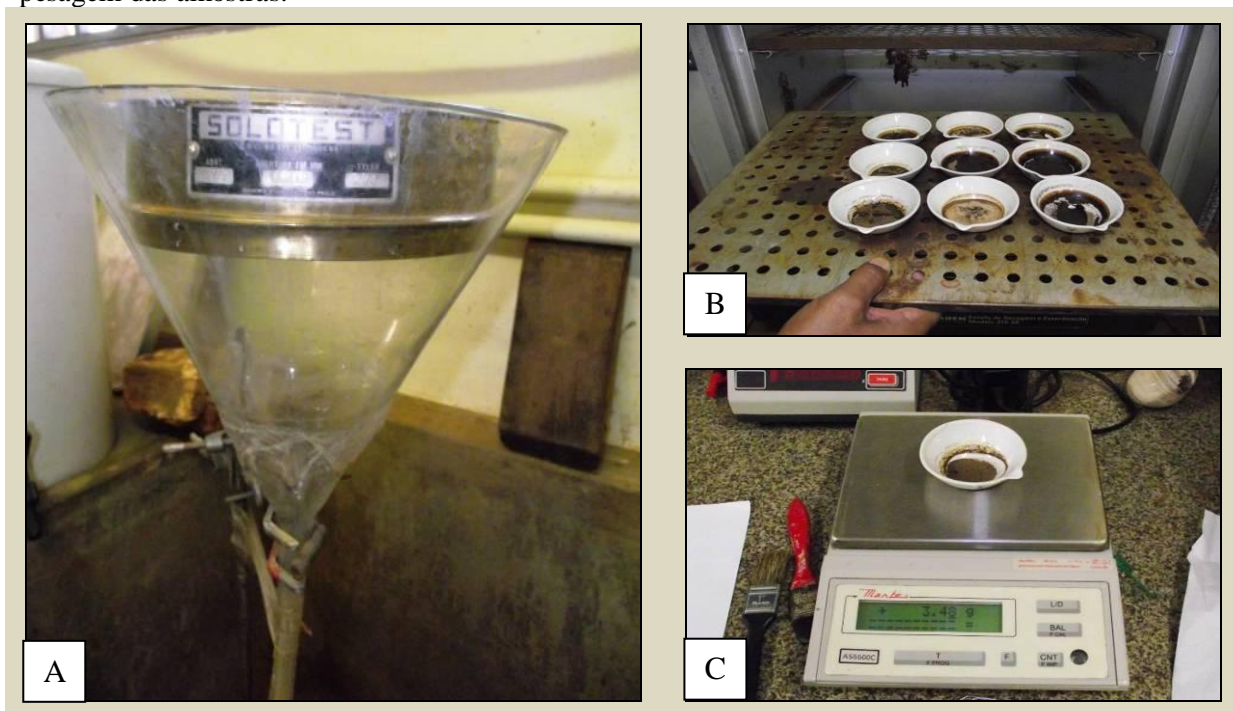


Fonte: Produzido pelo autor.

Após a agitação das amostras elas foram lavadas em peneira de malha 0,053 mm para separar a areia do silte e argila. A areia que ficou retida na peneira foi submetida ao processo de secagem para em seguida ser pesada e quantificada. (Figura 16)

Figura 16: Processo de separação de areia.

(A) – lavagem das amostras na peneira de malha 0,053; (B) – amostras sendo retiradas da estufa; (C) – pesagem das amostras.



Fonte: Produzido pelo autor.

O silte e argila que passaram pela peneira foram colocados em uma proveta com 1000 ml de água. O material da proveta foi agitado por um minuto, deixando em repouso por três minutos e realiza-se a pipetagem a 10 cm de profundidade coletando silte e argila. O material no interior da proveta fica em repouso durante quatro horas, e faz-se uma pipetagem a 5 cm de profundidade coletando argila. Concluído esse processo, as amostras são colocadas na estufa para pesagem e quantificação de silte e argila (Figura 17).

Figura 17: Processo de separação de silte e argila.
(A) – agitação da amostra; (B) – pipetagem; (C) amostras após saírem da estufa.



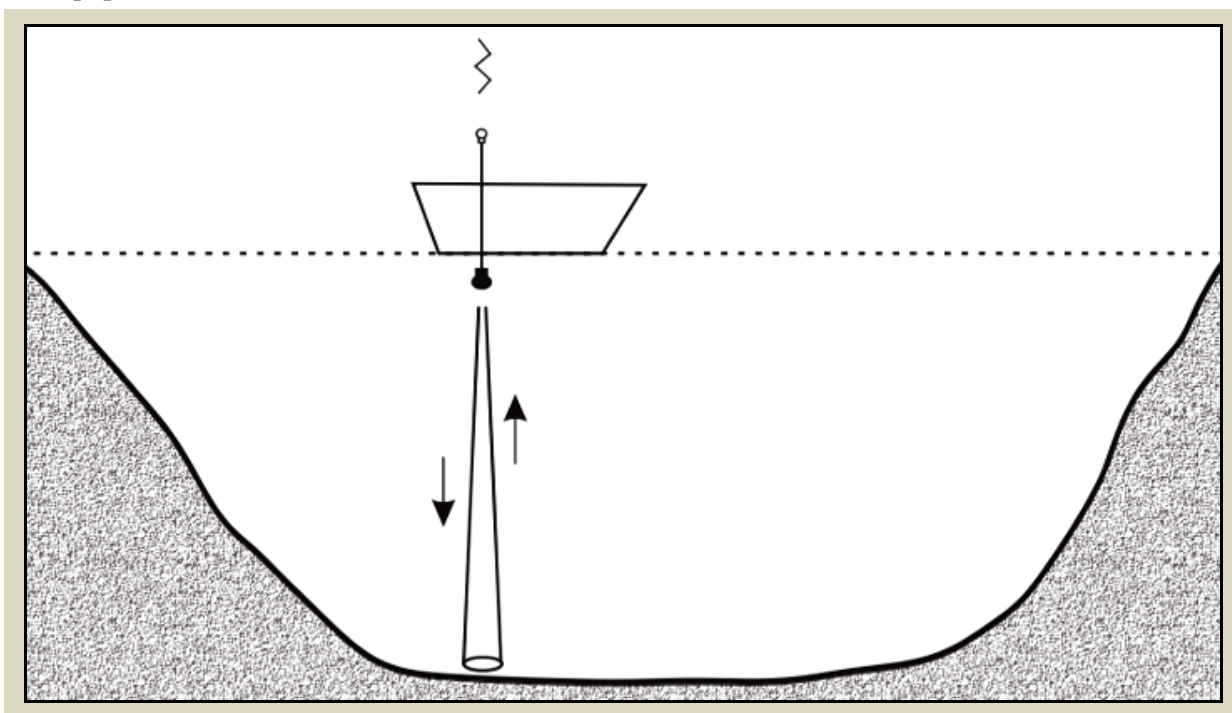
Fonte: Produzido pelo autor.

4.2.3. BATIMETRIA

O levantamento batimétrico das seções de monitoramento (Figura 18) foi realizado para verificar a morfologia do leito e possibilitar posterior comparação em diferentes períodos de coletas de dados. Dessa forma, a avaliação do assoreamento do reservatório, poderá ser estimada por meio da perda de volume do reservatório.

O equipamento utilizado para a batimetria é constituído por uma ecossonda (sensor acústico), modelo Furuno GP-1650F e um Sistema de Posicionamento Global (GPS), acoplados a um laptop convencional. O princípio de funcionamento da ecossonda é baseado pelo efeito Doppler, em que o sensor emite um sinal sonoro a 1500 m/s em uma frequência de 50 ou 200 kHz, o sinal é refletido por objetos e pelo leito retornando ao instrumento que calcula a distância entre o emissor/receptor (Figura 18). Dependendo do tipo de material do leito (rochoso ou lamoso) o sinal refletido será diferente, o qual é exibido na tela com cores variadas. O aparelho exibe na tela o leito e uma tonalidade de cor, quanto mais forte forem as cores, mais resistente é o leito, possibilitando assim algumas interpretações.

Figura 18: Esquema do funcionamento da ecossonda. As setas indicam o sinal emitido e o seu retorno ao equipamento.

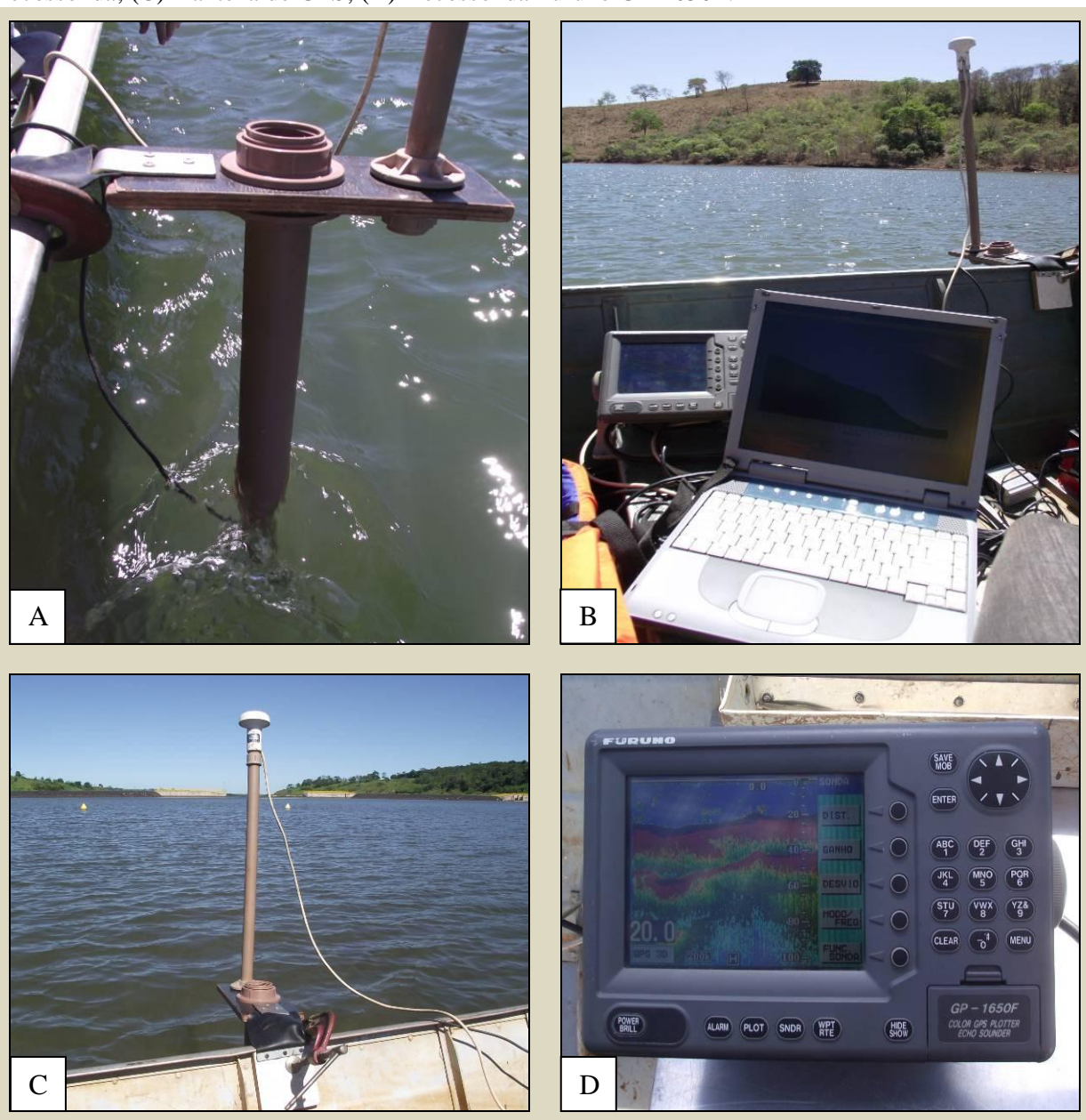


Fonte: Produzido pelo autor.

Instantaneamente o aparelho registra e envia ao computador a profundidade do leito além da posição, velocidade e rumo do barco (Figura 19).

Figura 19: Obtenção dos perfis batimétricos.

(A) – suporte no qual o sonar é acoplado; (B) – ao fundo antena do GPS ligada à ecossonda, laptop e ecossonda; (C) – antena do GPS; (D) – ecossonda Furuno GP-1650F.

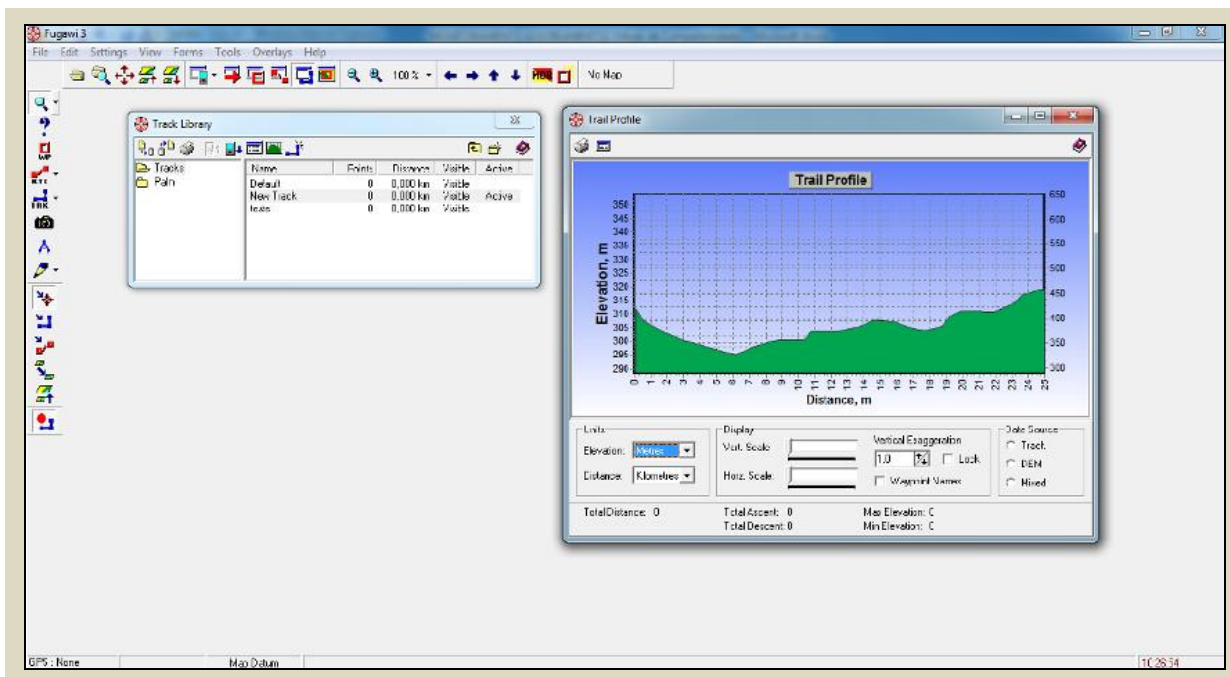


Fonte: Produzido pelo autor.

Para registro e manipulação dos dados emitidos pela ecossonda utilizou-se o programa Fugawi 3 (Figura 20). Esse programa é de simples manipulação, e é usado para diversas

atividades como levantamentos batimétricos, navegação fluvial, marítima ou aérea dentre outras.

Figura 20: Programa utilizado para registro das informações de batimetria.



Fonte: Produzido pelo autor.

Os dados registrados pela ecossonda no computador de campo foram exportados do Fugawi 3 em arquivos na extensão “txt” (formato texto). Este formato permite ser importado para outros softwares. O arquivo exportado contém dados das coordenadas geográficas, distância percorrida no transecto e profundidades (batimetria).

CAPÍTULO 5



5. RESULTADOS

5.1. Avaliação da Potencial Geração de Sedimentos

Diante da metodologia proposta foram gerados os mapas que auxiliaram na análise dos principais fatores causadores de processos erosivos e, por conseguinte, causadores do assoreamento de cursos d'água. Ademais foram feitas verificações da densidade de drenagem para análise da interferência desse fator. Assim, a determinação da Potencialidade ao Assoreamento da Bacia do Rio Piedade foi realizada a partir de estudos prévios dos seguintes fatores: Cobertura Morfopedológica, Declividade, Uso e Ocupação da Terra e Densidade de Drenagem.

O mapa de Cobertura Morfopedológica está ilustrado na Figura 5 apresenta as seguintes proporções (Tabela 4):

Tabela 4: Distribuição da Cobertura Morfopedológica

Erodibilidade	Cobertura Morfopedológica	Porcentagem
I	Baixas vertentes com Cambissolo Háplico de textura franco-arenosa.	16,90%
II	Anfiteatros erosivos com Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Argissolo Amarelo de textura muito argilosa a arenoargilosa.	1,78%
III	Colinas amplas com Latossolo Vermelho de textura argilo-arenoso a francoargiloarenoso	9,64%
IV	Colinas amplas com Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilo-arenoso a francoargiloarenoso.	63,24%
V	Veredas com Organossolo Háplico e Gleissolo Háplico de textura franco-argiloarenosas.	8,44%

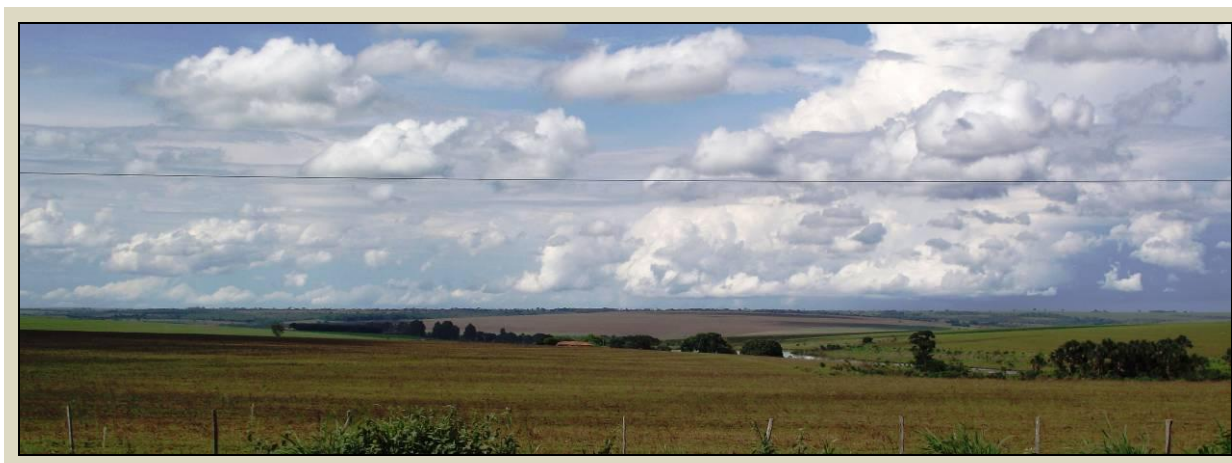
Fonte: Produzido pelo autor.

A partir da análise do mapa morfopedológico as áreas foi possível apontar:

- As colinas amplas com Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilo-arenoso a francoargiloarenoso são predominantes com 63,24%. Tais coberturas apresentam baixa suscetibilidade à erosão laminar devido ao relevo de baixa declividade e tipo de solo com boa drenagem e capacidade retenção.
- Com 16,90% estão as baixas vertentes com Cambissolo Háplico de textura franco-arenosa que são coberturas permeáveis, leves, de moderada a baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica que, somado ao relevo mais acentuado, caracteriza uma área extremamente suscetível à erosão.
- As colinas amplas com Latossolo Vermelho de textura argilo-arenoso a francoargiloarenos correspondem a 9,64% moderada suscetibilidade à erosão laminar devido ao relevo de baixa declividade e tipo de solo com razoável drenagem e capacidade retenção.
- As veredas com Organossolo Háplico e Gleissolo Háplico de textura franco-argiloarenosas recobrem 8,44% e correspondem a áreas com ou pouca ou nula suscetibilidade à erosão.
- Anfiteatros erosivos com Cambissolo Háplico, Neossolo Quartzarênico e Argissolo Amarelo de textura muito argilosa a arenoargilosa com 1,78% são áreas de muito suscetíveis à erosão principalmente devido ao fator da inclinação acentuada do terreno.

O mapa de declividade demonstra que grande parte da ACR Piedade possui baixa suscetibilidade à erosão laminar (Figura 21) sendo que, na maior parte da ACR Piedade, a declividade é menor que 6%. As áreas com altitudes mais elevadas apresentam o relevo com inclinação mais suave.

Figura 21: Visão panorâmica de parte da ACR Piedade com baixa declividade.



Fonte: Produzido pelo autor.

As áreas com declividade entre 6% e 12% correspondem a 1,21% e apenas 0,07% com declividade entre 12% e 20%. Não foram encontradas declividades acima de 20% (Tabela 5). Em manchas na porção noroeste da ACR e nas baixas vertentes, próximas ao reservatório, a declividade é maior (Figura 22).

Tabela 5: Distribuição da Declividade.

Classes de declividade	Declividade	Porcentagem
I	> 20	0%
II	12 a 20	0,07%
III	6 a 12	1,21%
IV	< 6	98,72%

Fonte: Produzido pelo autor.

As vertentes sobre solos basálticos da formação Serra Geral conferem declividades mais acentuadas, essa característica favorece que haja a predominância de declividades acima de 6% nas áreas no entorno do reservatório. A declividade mais acentuada interfere na contribuição de sedimentos, diretamente das vertentes, uma vez que, na medida em que se aumenta a declividade verifica-se a maior tendência ao carreamento de sedimentos.

Figura 22: Mapa de Declividade - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.

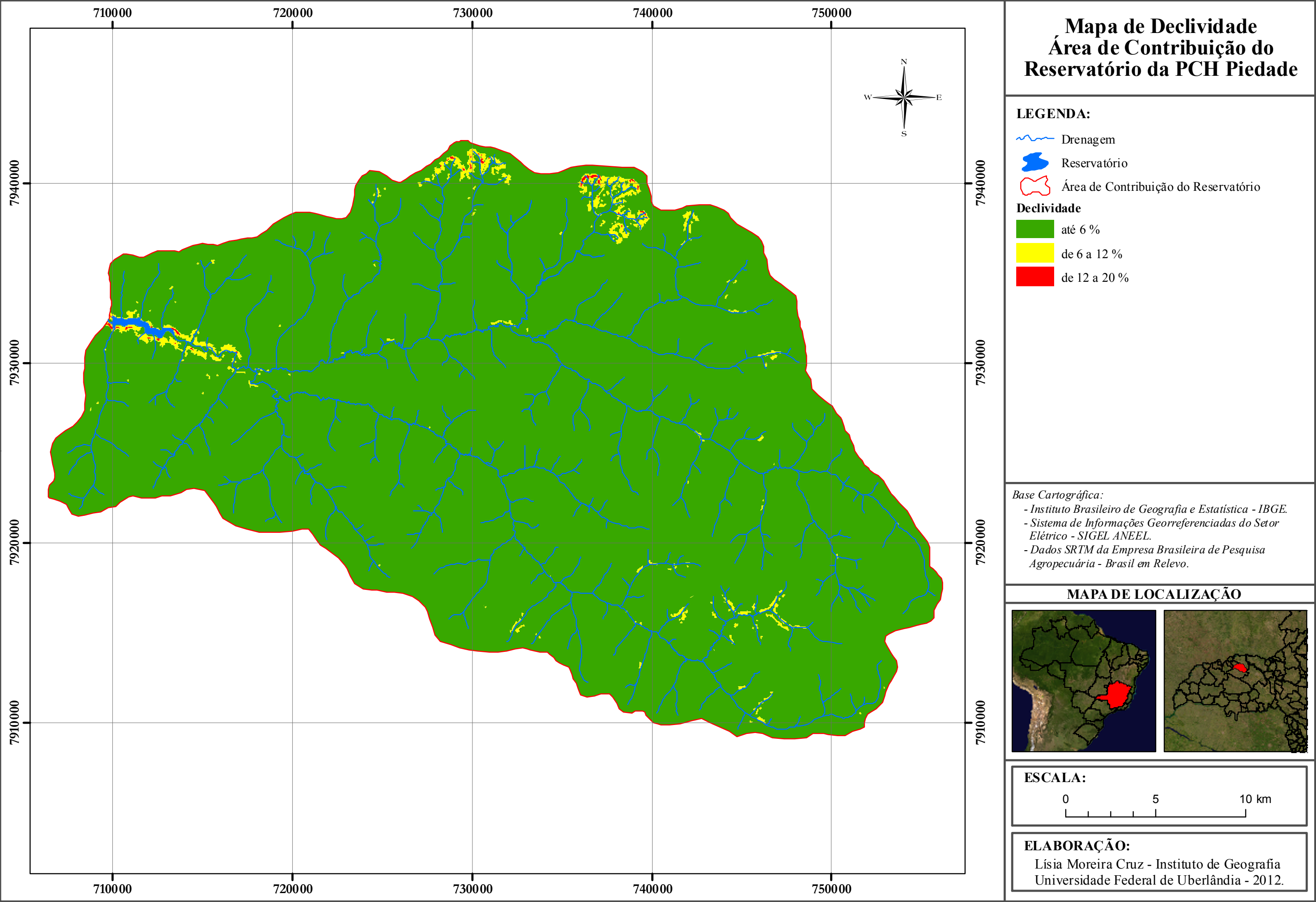


Figura 23: Relevo no entorno do reservatório.



Fonte: Produzido pelo autor.

A partir da interpolação do mapa morfopedológico e de declividade foi gerado o mapa de suscetibilidade à erosão laminar (Figura 24) que apresentou baixa suscetibilidade em mais de 70% da ACR (Tabela 5)

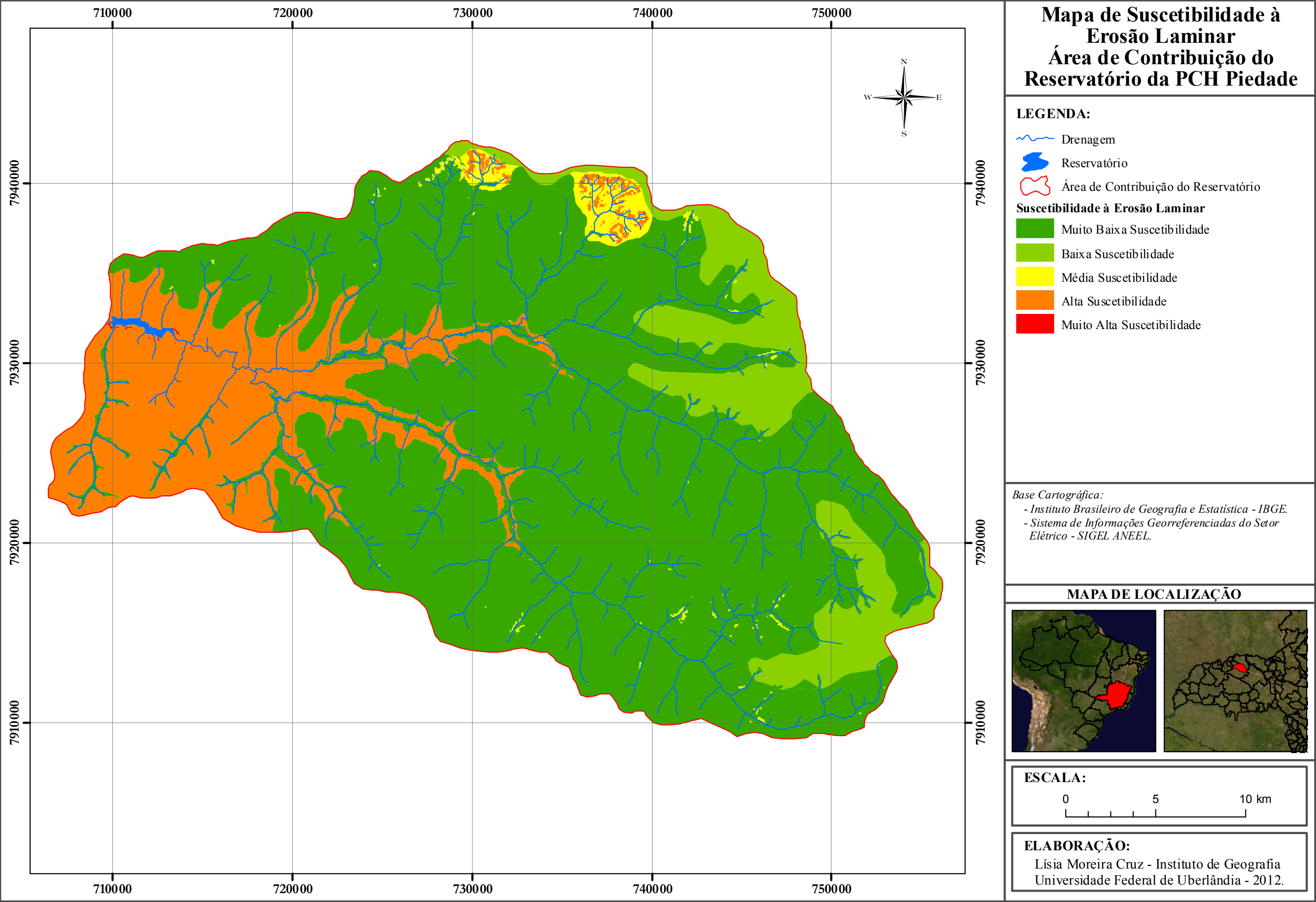
Tabela 5: Distribuição da Suscetibilidade à erosão laminar.

Classe	Suscetibilidade à erosão laminar	Porcentagem
I	Muito Alta Suscetibilidade	0,02%
II	Alta Suscetibilidade	17,39%
III	Média Suscetibilidade	1,55%
IV	Baixa Suscetibilidade	9,63%
V	Muito Baixa Suscetibilidade	71,41%

Fonte: Produzido pelo autor.

Apesar de menos de 20% da ACR Piedade apresentar alta e muito alta suscetibilidade à erosão laminar, elas ocorrem em locais muito próximos dos rios contribuintes diretos do reservatório e do próprio reservatório. Desse modo os sedimentos carreados desses locais tendem a chegar mais rapidamente ao reservatório, bem como diminui a probabilidade de que eles sejam acumulados ao longo do curso dos rios e córregos.

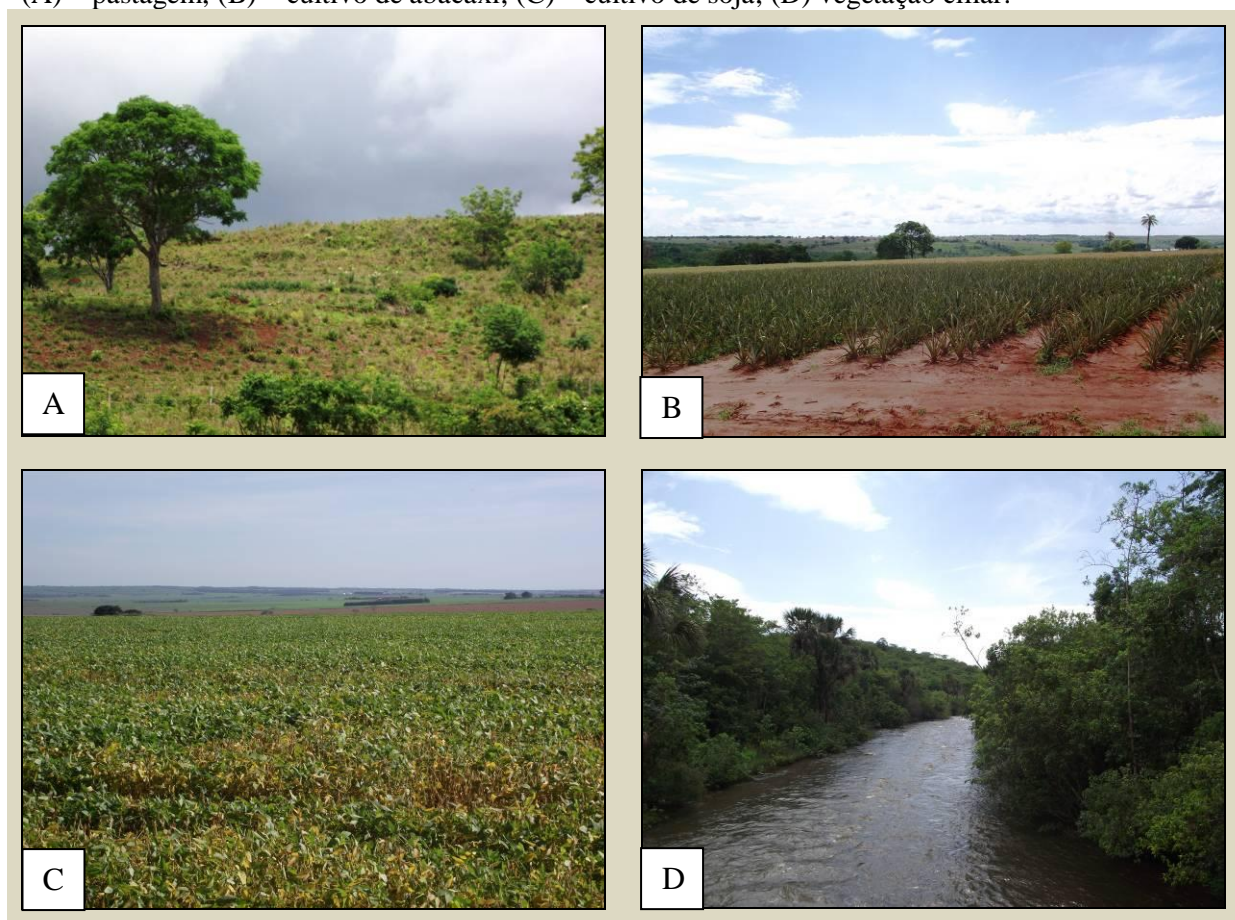
Figura 24: Mapa de Suscetibilidade à Erosão Laminar - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.



Segundo Lima (2007) os proprietários de terras Bacia do Rio Piedade têm na cultura do abacaxi e pecuária (Figura 25) sua maior fonte de renda, fato que se confirma na abordagem específica da ACR Piedade. Sendo assim, a ocupação do solo é intensa na região. A competitividade agrícola em busca de elevada produtividade exige dos produtores a intervenções no solo como a prática de correção de acidez, adubação, aragem, irrigação, uso de maquinários agrícolas, construção de estradas etc. o que pode muitas vezes resulta no agravamento dos processos erosivos e consequente aumento no aporte de sedimentos ao lago da PCH Piedade (LIMA,2007).

Figura 25: Diferentes usos da terra na ACR.

(A) – pastagem; (B) – cultivo de abacaxi; (C) – cultivo de soja; (D) vegetação ciliar.



Fonte: Produzido pelo autor.

De acordo com o mapa de uso e ocupação da terra (Figura 26), mais da metade da ACR Piedade é recoberta por culturas perenes, pastagens e culturas anuais, evidenciando a predominância de cobertura vegetal de baixo e médio porte, com intensa atividade antrópica

(Tabela 6). Esse quadro é favorecido pelo tipo de solo e relevo propícios ao desenvolvimento de atividades agropecuárias.

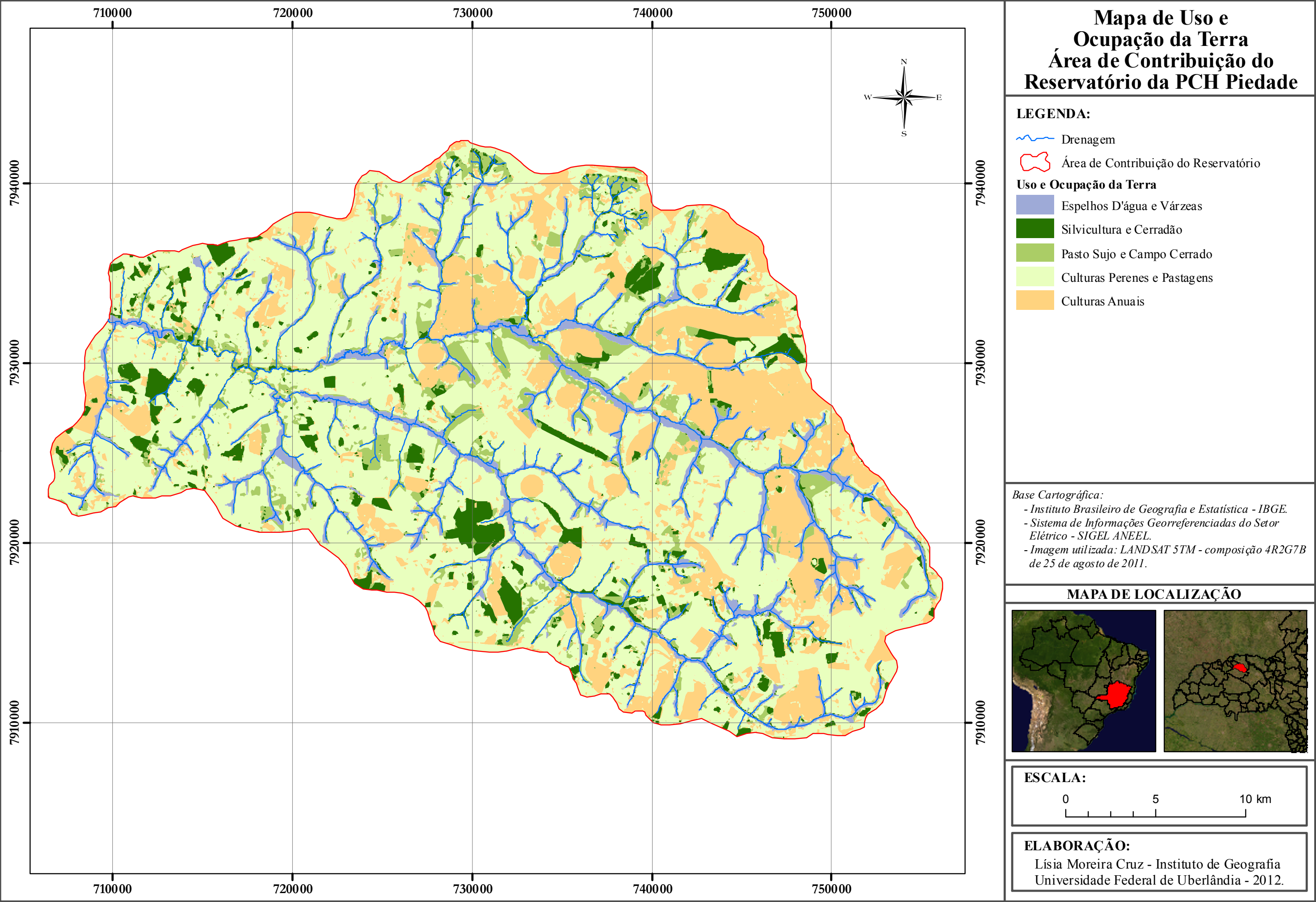
Tabela 6: Distribuição das classes de ocupação atual das terras.

Classe de ocupação atual das terras	Tipos de uso	Porcentagem
I	Culturas anuais, área de preparo de plantio e solo exposto	22,89%
II	Culturas perenes, cana-de-açúcar e pastagem	53,62%
III	Pasto sujo e campo cerrado	8,69%
IV	Reflorestamento, capoeirão e florestas	6,13%
V	Espelhos d'água de várzeas	8,67%

Fonte: Produzido pelo autor.

A análise do mapa de uso e ocupação, relacionada à presença dos cursos d'água, evidencia a ausência de mata galeria em grande extensão da área. Esse fator também interfere de maneira substancial no assoreamento, uma vez que, além de expor o solo a maior ação do impacto das gotas de chuva e ao escoamento linear, também fragiliza as margens dos rios que ficam mais vulneráveis à solapamentos, erosão e escorregamentos. A revegetação dessas áreas é fundamental, pois ameniza os fatores citados e estabelece um obstáculo aos sedimentos carregados ao longo da vertente.

Figura 26: Mapa de Uso e Ocupação da Terra - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.



Por meio cruzamento dos mapas de suscetibilidade à erosão laminar com o mapa dos usos e ocupação da terra, realizando a relação matricial desses elementos foi obtido o mapa de potencialidade à erosão laminar (Figura 27).

De acordo com os dados verificou-se que a classe de baixo potencial a erosão laminar ocupa 77,78% da área. O médio potencial corresponde a 20,30% e incidem, sobretudo nas áreas de menor altitude e em manchas nas porções norte e nordeste da ACR Piedade. Com 1,92% as áreas de alta potencialidade à erosão laminar ocorrem apenas em pequenas manchas intercaladas às áreas de média potencialidade, condicionadas principalmente pelo tipo de uso da terra (Tabela 7)

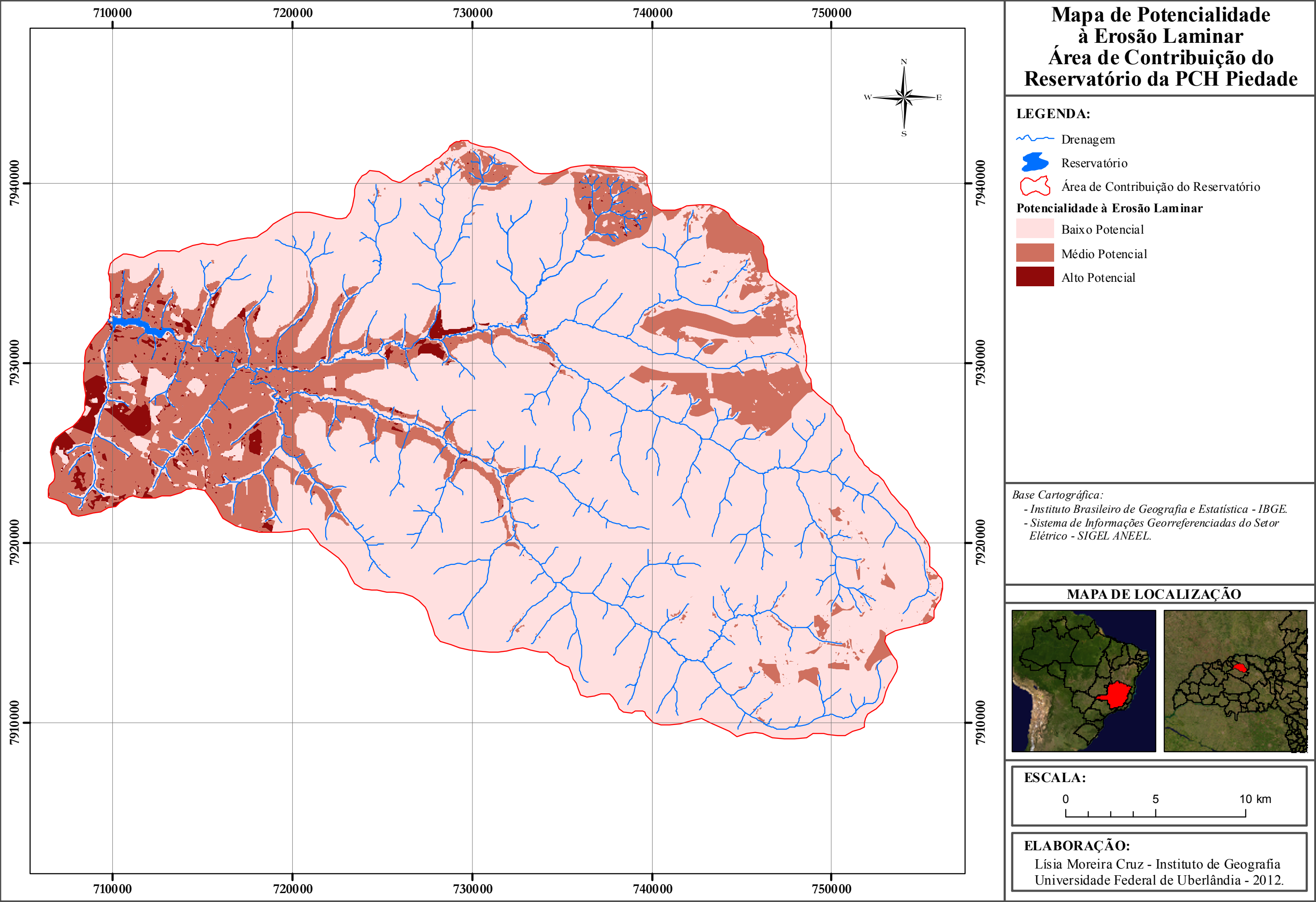
Tabela 7: Distribuição da Potencialidade à erosão laminar

Classe	Potencialidade à erosão laminar	Porcentagem
I	Alto Potencial	1,92%
II	Médio Potencial	20,30%
III	Baixo Potencial	77,78%

Fonte: Produzido pelo autor.

Além dos fatores citados acima foram feitas considerações sobre a densidade de drenagem, que, como já foi mencionado, reflete a capacidade do terreno em absorver as águas pluviais. Desse modo considera-se que quanto maior a densidade de drenagem menor será a permissibilidade do terreno. Para realizar tá procedimento foi feita divisão da ACR Piedade em seis bacias hidrográficas com os rios de no mínimo 4ª ordem. Desse modo foram obtidas as seguintes bacias: Córrego Capão D'anta, Ribeirão Bebedouro, Ribeirão Pouso Alegre, Córrego Barra Grande, Córrego Andorinhas e Rio Piedade.

Figura 27: Mapa de Potencialidade à Erosão Laminar - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.



O índice de densidade de drenagem de bacias hidrográficas varia de 0,5 km/km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas. (VILLELA e MATTOS, 1975). Nessa perspectiva a área de estudo demonstrou densidade pobre, com índices baixos que variam de 0,513 Km/Km² a 1,057 Km/Km² (Tabela 8) (Figura 28). Sendo assim conclui-se que há uma boa permeabilidade no solo, não sendo este um fator que influencia na ampliação do assoreamento nos cursos d'água.

Tabela 8: Distribuição da área ocupada por bacia

Bacia hidrográfica	Classe	Densidade (km/km²)	Porcentagem
Córrego Barra Grande	II	0,828	4,18%
Córrego Capão D'anta	II	0,513	10,10%
Córrego das Andorinhas	II	1,057	5,69%
Ribeirão Bebedouro	II	0,644	37,46%
Ribeirão Pouso Alegre	II	0,649	19,16%
Rio Piedade	II	0,671	23,40%
-	-	Média - 0,727	-

Fonte: Produzido pelo autor.

A distribuição dos diferentes graus de Potencialidade ao Assoreamento em relação ao mapa de potencialidade à erosão laminar não ocorreram modificações (Tabela 9), pois a densidade de drenagem foi inferior a 3,5Km/Km² em toda a ACR Piedade não interferindo no resultado (Figura 29).

Tabela 9: Distribuição da Potencialidade de contribuição ao assoreamento.

Classe	Potencialidade de contribuição ao assoreamento	Porcentagem
I	Alto Potencial	1,92%
II	Médio Potencial	20,30%
III	Baixo Potencial	77,78%

Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 28: Mapa de Densidade de Drenagem - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.

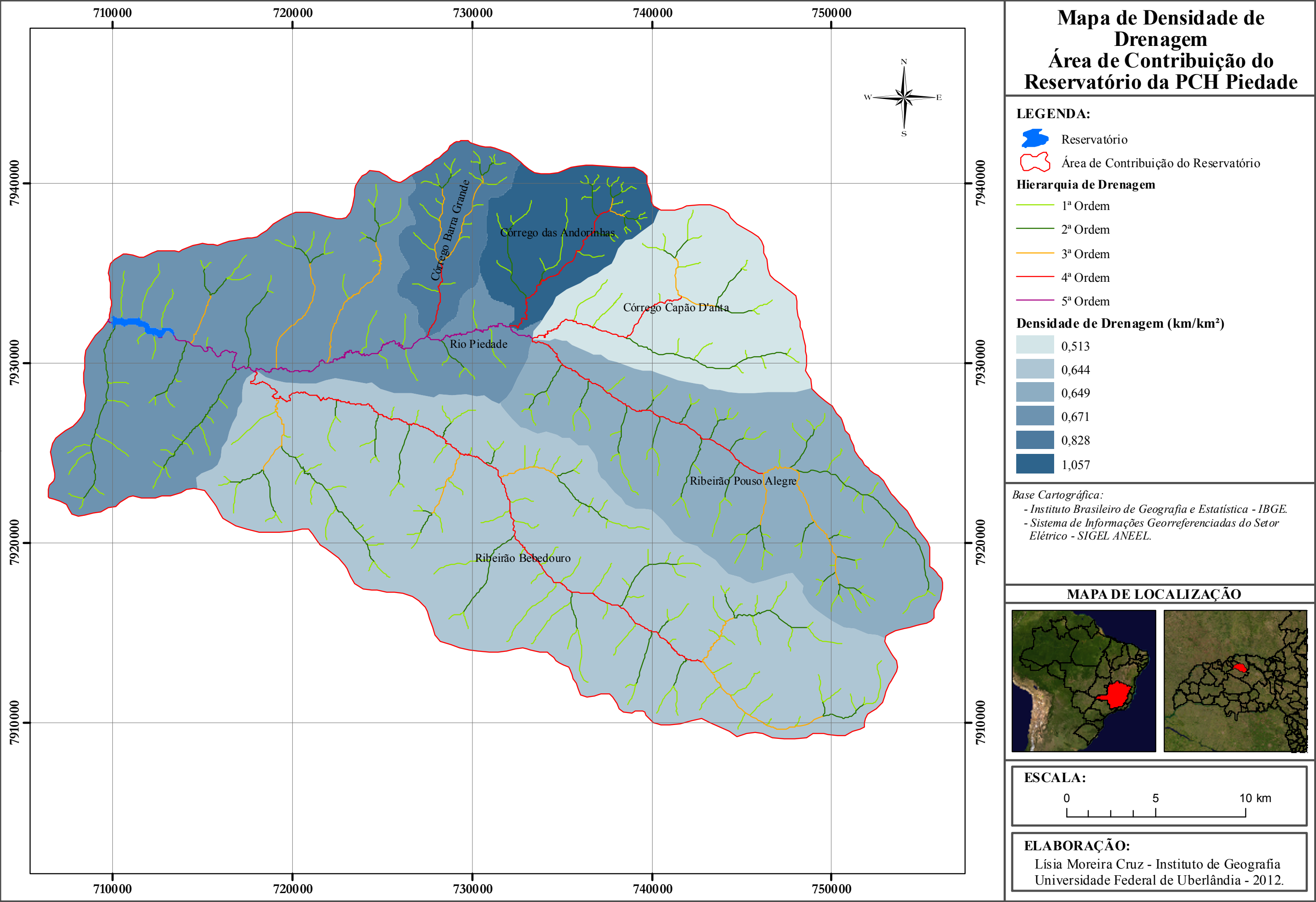
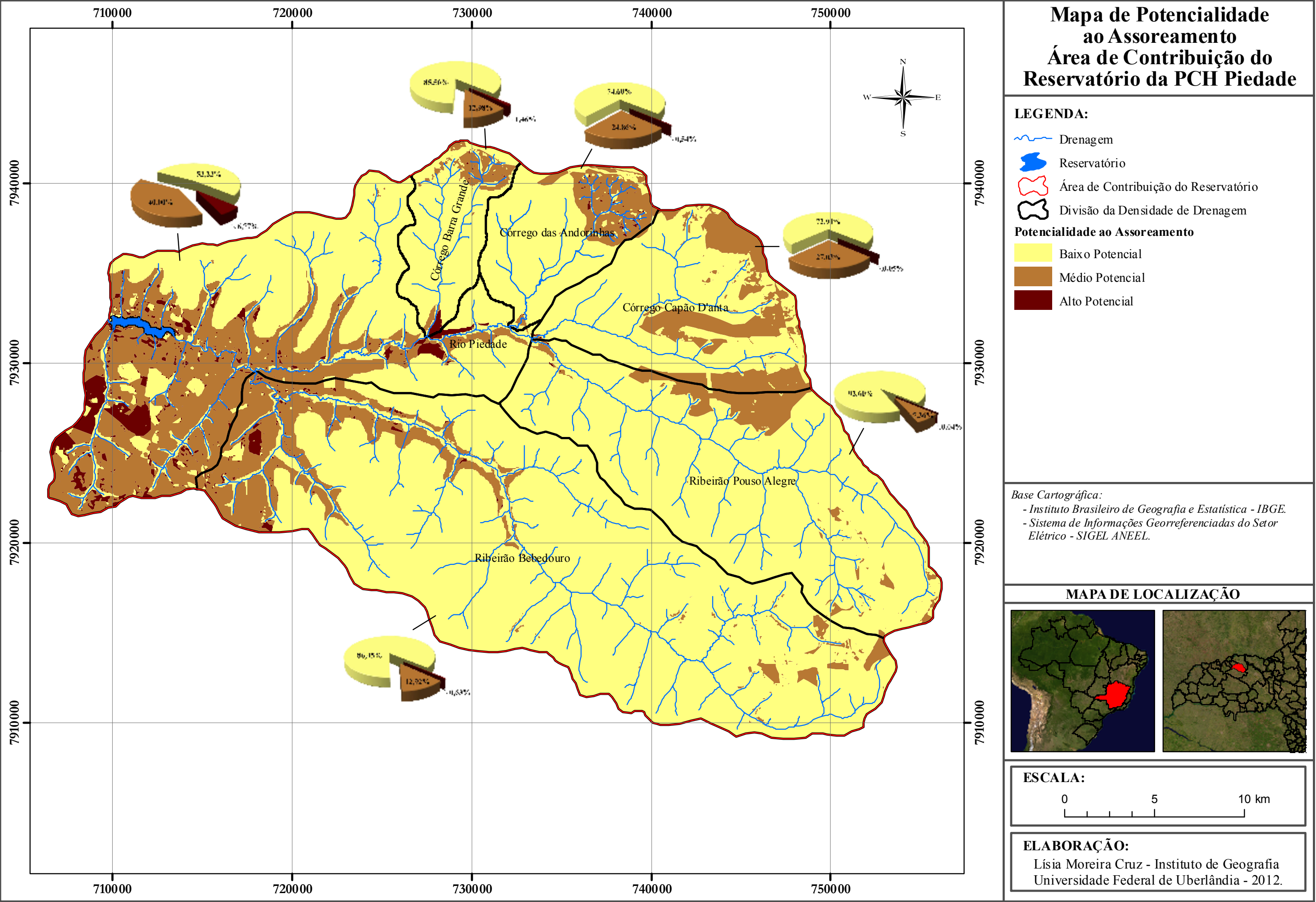
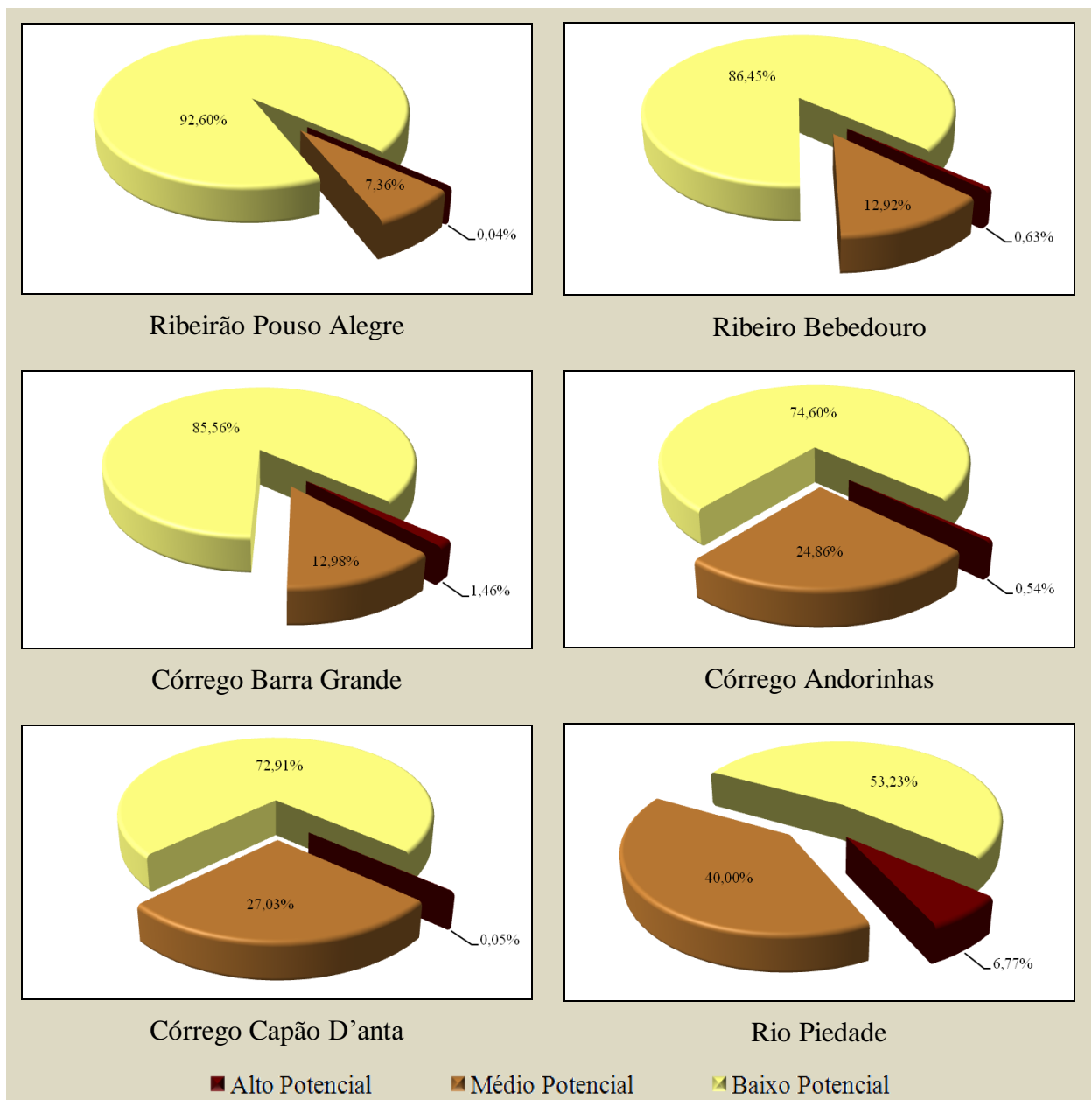


Figura 29: Mapa de Potencialidade ao Assoreamento - Área de Contribuição do Reservatório da PCH Piedade.



Diante da observação do mapa final de Potencialidade ao Assoreamento e comparando-se aos demais mapas, a maior probabilidade de remoção de materiais da superfície do terreno se dá pela ação do fluxo d'água linear, responsabilizando-se principalmente os usos agrícolas amplamente praticados na região e a cobertura morfopedológica. Este processo, responsável pelo aumento progressivo de remoção da carga sedimentar, poderá provocar o assoreamento de reservatórios instalados nos canais de drenagem, além de possibilitar à inutilização agrícola do solo. (Figura 30).

Figura 30: Potencial assoreamento de acordo com a divisão das bacias hidrográficas da ACR da PCH Piedade.



Fonte: Produzido pelo autor.

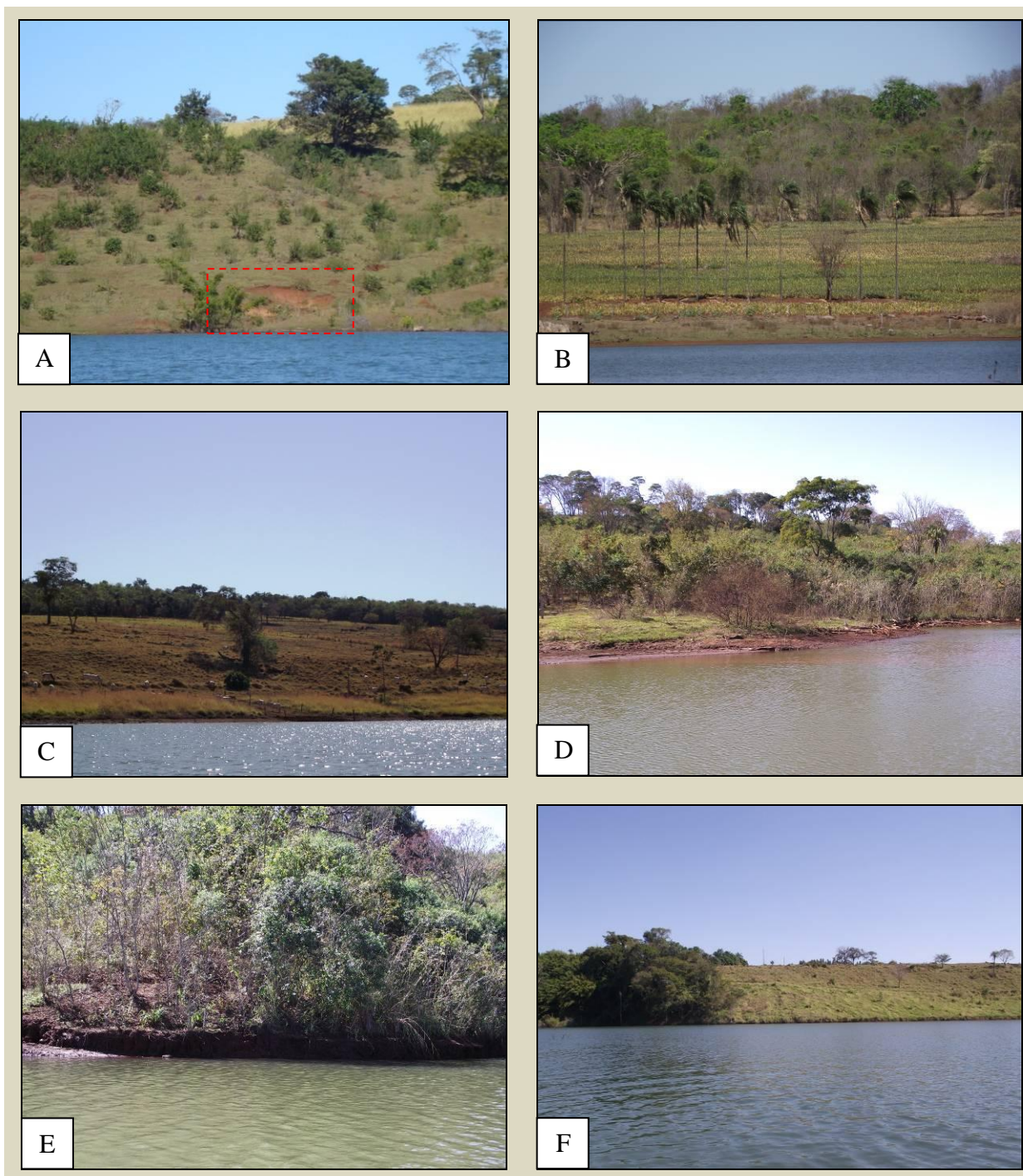
De acordo com a divisão das bacias na ACR todas apresentaram predominância de baixo potencial, no entanto as proporções foram diferentes potencialidades à geração de sedimentos:

- Bacia do Ribeirão Pouso Alegre: apresentou baixa contribuição com 92,6% de sua área com baixo potencial.
- Bacia do Ribeirão Bebedouro: apesar de 86,4% da área ter baixo potencial de contribuição de sedimentos, ele possui uma grande extensão e os 13,56% correspondente ao médio e alto potencial se concentra mais próximo a confluência com o Rio Piedade.
- Bacia do Córrego Barra Grande: tem 86,56% de baixo potencial, o médio e alto potencial se concentraram nas cabeceiras, influenciado principalmente pela declividade mais acentuada nesses locais.
- Bacia do Córrego Andorinhas: possui 74,6% de sua área com baixo potencial e assim como na Bacia do Córrego Barra Grande o médio e alto potencial se concentraram nas cabeceiras.
- Bacia do Córrego Capão D'anta: apresenta 72,91% com baixo potencial e quase todo restante da área tem médio potencial.
- A Bacia do Rio Piedade: apresentou 46,77% de sua área com médio e alto potencial. Revelando a área circundante do Rio Piedade com maior potencialidade à geração de sedimentos influenciada pelos fatores de cobertura pedogenética, declividade e uso e ocupação da terra.

Desse modo o entorno do reservatório apresenta diversas situações que tendem a intensificar a geração de sedimentos como demonstra as imagens a seguir (Figura 31).

Figura 31: Imagens das margens do reservatório.

(A) – pastagem com presença de voçoroca; (B) – plantio de soja; (C) – pastagem; (D) e (E) mata ciliar e solapamentos; (E) mata ciliar e pastagem.



Fonte: Produzido pelo autor.

As margens do reservatório não estão protegidas por vegetação que impeça a chegada direta de sedimentos ao lago. As imagens apontam a ocorrência de uma voçoroca, pastagens nas

quais há áreas de dessedentação de bovinos, cortes no relevo que provocam solapamentos, além da declividade mais acentuada.

5.2. Estudo do Assoreamento da PCH Piedade

O estudo do assoreamento do reservatório da PCH Piedade foi realizado por meio da obtenção de dados de sedimentos em suspensão, sólidos totais dissolvidos, coletas do sedimento de fundo e de dados batimétricos. Desse modo, foram realizadas campanhas em duas etapas: de junho a agosto de 2010 e de dezembro de 2010 a fevereiro de 2011 para assim obter informações do período de estiagem e chuvoso. A tabela a seguir traz os dados obtidos a partir da água coletada, abordando sedimentos em suspensão e os sólidos totais dissolvidos que refletem a carga de sedimentos dissolvidos (Tabela 10).

Tabela 10: Dados obtidos em coletas de água nas diferentes estações do ano durante o período de monitoramento.

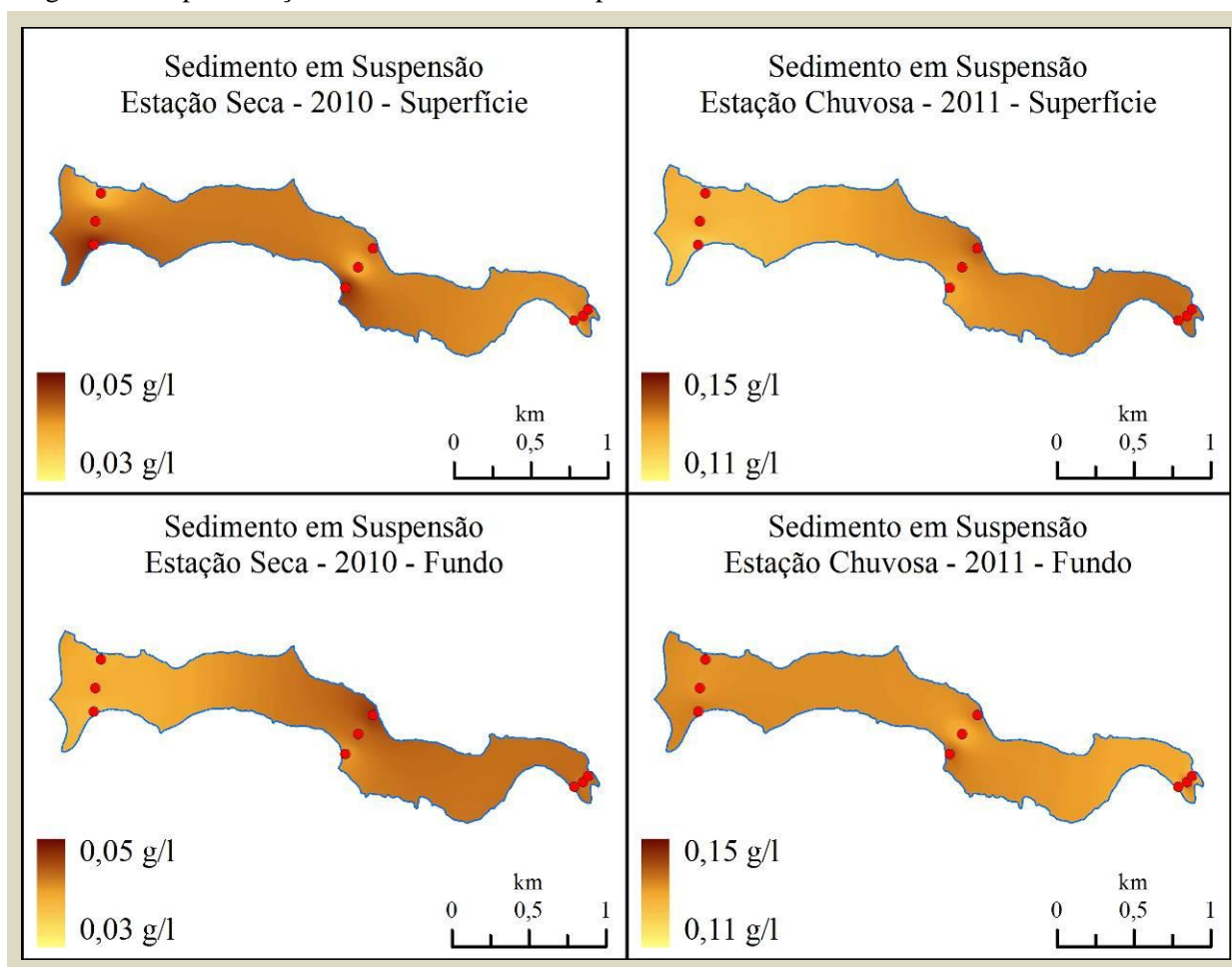
Ponto	Sedimentos Suspensos (mg/L) Estação seca 2010	Sedimentos Suspensos (mg/L) Estação chuvosa 2010/2011	Diferença entre estação chuvosa e estação seca	Sólidos totais dissolvidos (ppt) Estação seca 2010	Sólidos totais dissolvidos (ppt) Estação chuvosa 2010/2011	Diferença entre estação chuvosa e estação seca
P1A	48,0	119,9	0,0719	0,2030	0,1780	-0,0250
P1B	37,4	135,0	0,0976	0,2030	0,1780	-0,0250
P2A	43,0	128,2	0,0852	0,2020	0,2690	0,0670
P2B	39,6	131,7	0,0921	0,2020	0,1860	-0,0160
P3A	37,5	126,3	0,0888	0,2030	0,1870	-0,0160
P3B	38,5	132,0	0,0935	0,2020	0,1830	-0,0190
P4A	47,3	129,1	0,0818	0,2020	0,1810	-0,0210
P4B	40,7	137,1	0,0964	0,2010	0,1820	-0,0190
P5A	38,6	132,2	0,0936	0,1980	0,2290	0,0310
P5B	43,5	127,2	0,0837	0,2000	0,1730	-0,0270
P6A	42,6	138,2	0,0956	0,1990	0,1720	-0,0270
P6B	46,7	134,4	0,0877	0,2000	0,1780	-0,0220
P7A	38,2	136,8	0,0986	0,2000	0,1940	-0,0060
P7B	44,2	124,0	0,0798	0,2020	0,1930	-0,0090
P8A	44,2	138,1	0,0939	0,2020	0,1990	-0,0030
P8B	41,7	141,0	0,0993	0,1980	0,1970	-0,0010
P9A	41,3	134,6	0,0933	0,1970	0,1980	0,0010
9B	44,2	123,6	0,0794	0,1970	0,1940	-0,0030
P10	38,1	132,0	0,0939	0,2070	0,2250	0,0180
P11	44,2	136,2	0,0920	0,2060	0,1950	-0,0110
Média	42,0	131,9	0,0899	0,2012	0,1946	-0,0066

Fonte: Produzido pelo autor.

Os dados de sedimentos em suspensão foram organizados quanto à profundidade e também em relação ao período em que foram coletados. Sendo que os dados de sedimentos em suspensão da estação foram padronizados quanto à profundidade variando na estação seca de 37,4 a 48,0 mg/L e da chuvosa 119,9 a 141,0 mg/L (Figura 32). O mesmo procedimento foi adotado quanto aos STD que na estação seca variaram de 0,1970 a 0,2060 ppt e na chuvosa

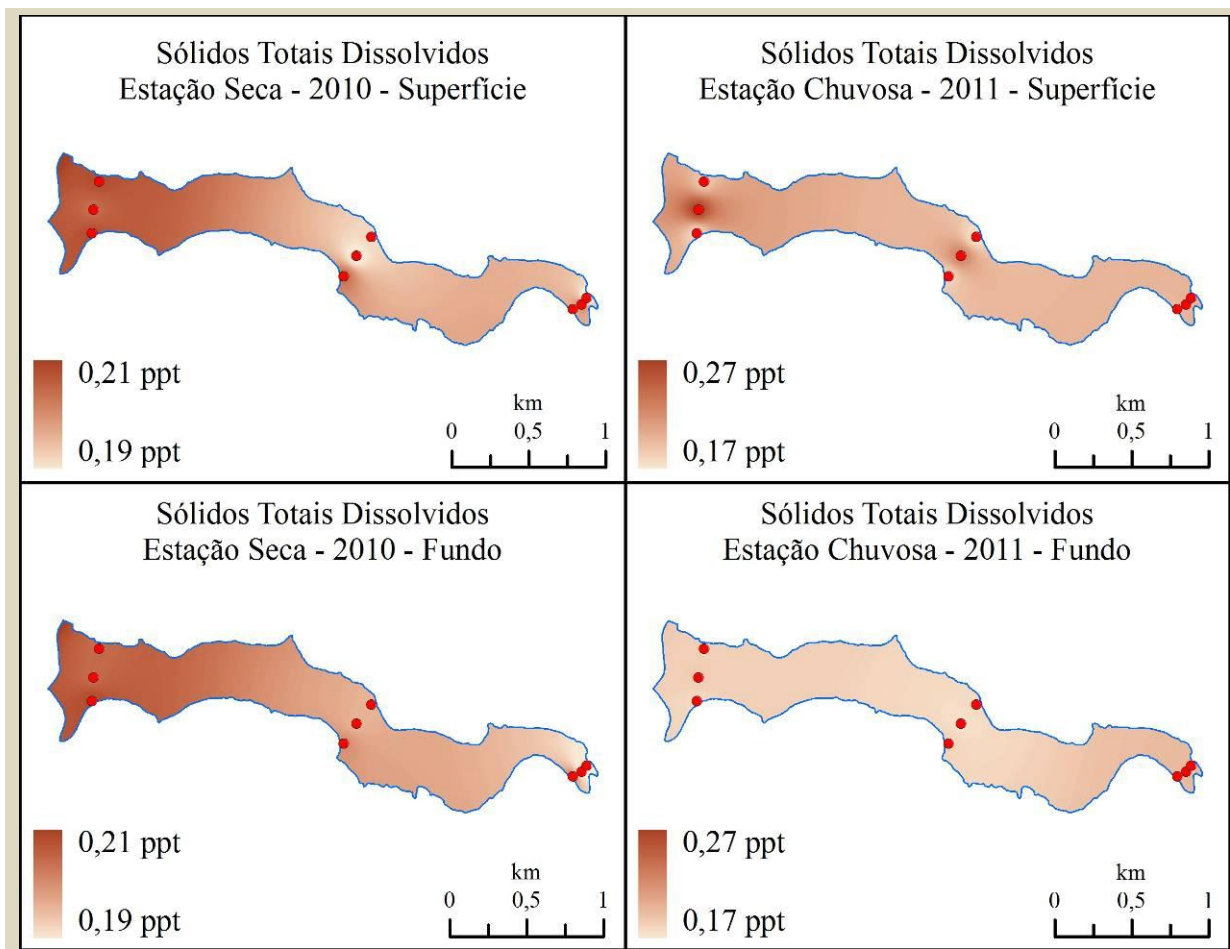
0,1720 a 0,2690 ppt (Figura 33). Para representação dos sedimentos em suspensão e sólidos totais dissolvidos foi feito o processamento dos dados no software ArcGIS, utilizando a ferramenta - Inverse Distance Weighted (IDW) – que é um método de interpolação que estima os valores das células pela média dos valores dos pontos de dados de exemplo no local de cada célula de processamento. Quanto mais próximo de um ponto é o centro da célula a ser estimado, mais influência, ou em peso, tem no processo de cálculo da média. Desse modo, quanto mais intensa a cor maior a quantidade de sedimentos em suspensão ou o valor dos sólidos dissolvidos.

Figura 32: Representação dos sedimentos em suspensão no reservatório da PCH Piedade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33: Representação dos sólidos totais dissolvidos no reservatório da PCH Piedade.

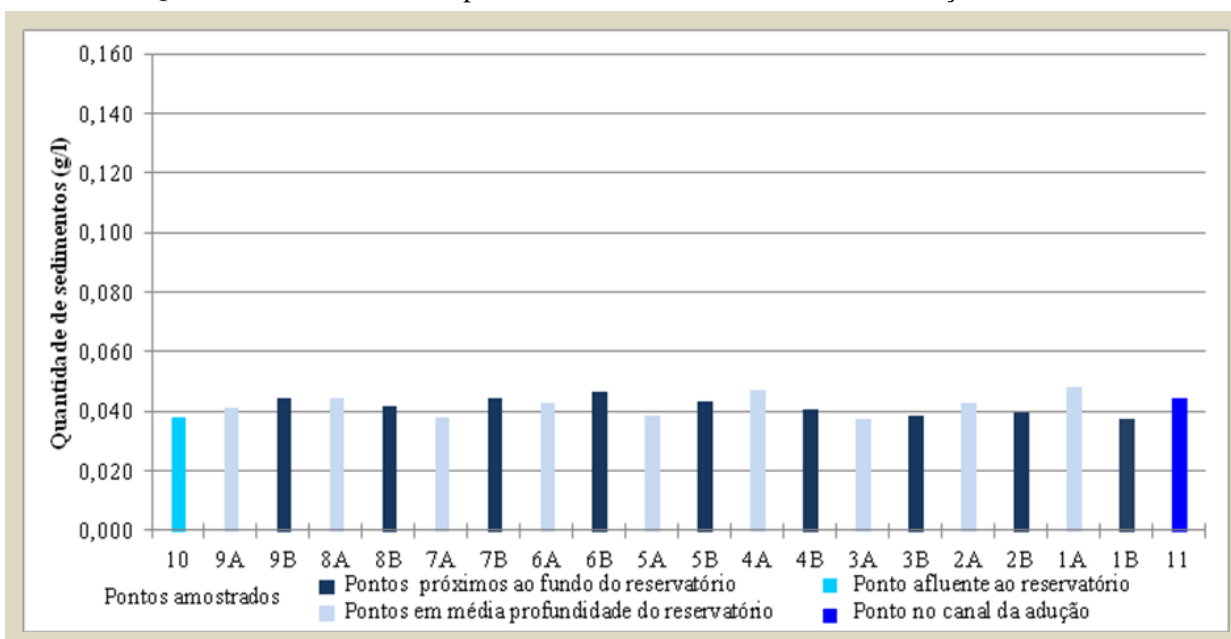


Fonte: Elaborado pelo autor.

A comparação entre os dados foi feita de acordo com cada estação, uma vez que a comparação entre as estações seca e chuvosa resultou em ilustrações com valores muito discrepantes o que dificultou a análise. Ou seja, as comparações foram realizadas entre as amostras da estação seca e em seguida entre as amostras da estação chuvosa.

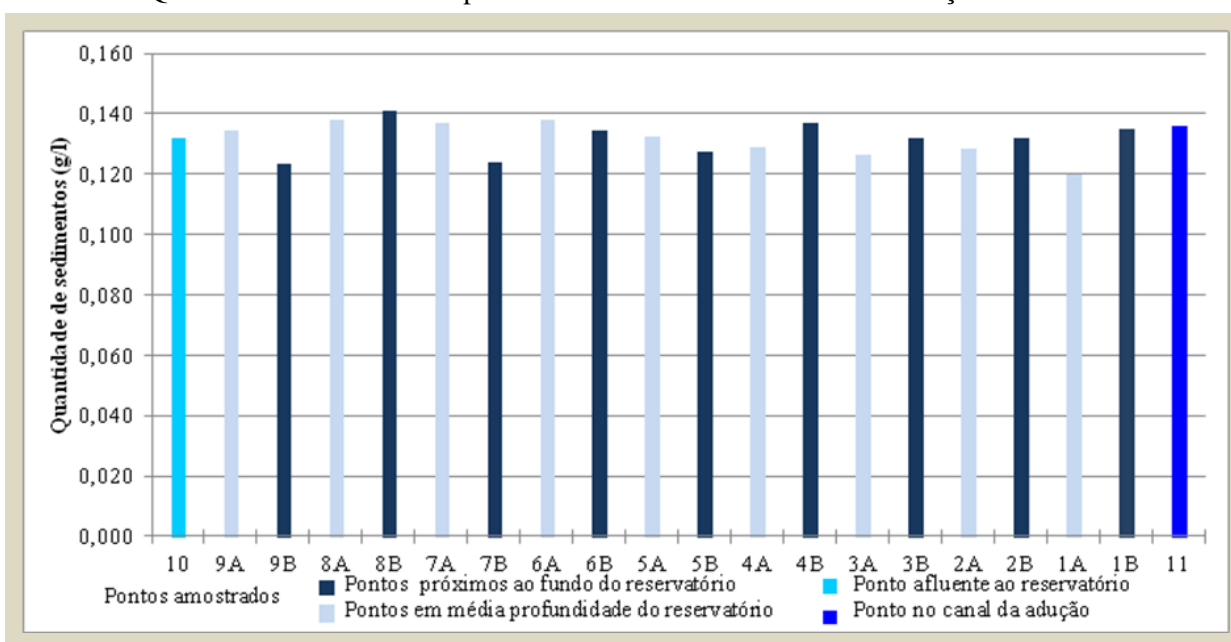
Desse modo, os gráficos a seguir foram organizados para que fosse possível a comparação entre as amostras coletadas nas estações seca e chuvosa (Gráfico 1 e Gráfico 2). A ordem dos pontos foi estabelecida de acordo com as suas disposições de montante à jusante, sendo o primeiro ponto no Rio Piedade antes de desaguar no reservatório, os seguintes dentro do reservatório, e o último ponto no canal de adução.

Gráfico 1: Quantidade de sedimentos por litro em cada amostra coletada – estação seca.



Fonte: Produzido pelo autor.

Gráfico 2: Quantidade de sedimentos por litro em cada amostra coletada – estação chuvosa.



Fonte: Produzido pelo autor.

Os dados de sedimento em suspensão apontaram que em cinco, dos nove pontos amostrados em duas profundidades, as amostras coletadas próximas ao fundo do reservatório têm a maior presença de sedimentos. Outro fator observado foi que em quase todos os pontos ocorre a inversão em relação a maior quantidade de sedimentos, ou seja, no ponto que há maior

quantidade de sedimentos na estação seca no fundo, na chuvosa a maior quantidade de sedimento em suspensão é maior nas médias profundidades. Comparando os valores de sedimentos em suspensão, no âmbito geral, a quantidade é consideravelmente maior na estação chuvosa.

Os sólidos totais dissolvidos apresentaram-se em maior quantidade na estação seca em relação à estação chuvosa. Nas amostras P5 na estação seca e P2 e P8 na estação chuvosa apresentaram variação comparando as amostras de fundo e as de média profundidade, as demais amostras não apresentaram grande variação. Outra observação é quanto à variação STD entre as amostras na mesma estação. Na estação seca a diferença entre STD é de 0,0970 e na estação chuvosa é 0,0100.

Os dados de vazão do rio Piedade foram obtidos na Agência Nacional de Águas – ANA apontam a média nos períodos de coleta em torno de 11,604 m³/s. A partir dessas informações é possível obter descarga sólida em suspensão (Q_{ss}):

$$Q_{ss} = 86400 \times Q \times C$$

Onde:

Q = descarga líquida em m³/s (vazão)

C = concentração em mg/L

86400 = segundos totais em 24 horas

- Dados da medição - estação seca (2010/2011):

Sedimentos por litro: 42,0 mg/L

Vazão média: 11,604 m³/s

$$Q_{ss} = 86400 \times 11,604 \times 42,0$$

$$Q_{ss} = 42.108.595,2 \text{ mg/dia}$$

$$Q_{ss} = \mathbf{42,108 \text{ kg/dia}}$$

- Dados da medição - estação chuvosa (2010/2011):

Sedimentos por litro: 132,3 mg/L

Vazão média: 11,604 m³/s

$Q_{ss} = 86400 \times 11,604 \times 132,3$

$Q_{ss} = 132.644.074,88$ mg/dia

$Q_{ss} = \mathbf{132,644}$ kg/dia

De acordo com a ANA média das estações pluviométricas presentes na ACR Piedade, a quantidade de foi de apenas 2,9 mm no período de agosto de 2010. Os dados de pluviosidade no mês de janeiro de 2011 constituíram em 209,7 mm. Em consonância esses a descarga sólida em suspensão passou de 42,108 kg/dia na estação seca para 132,644 kg/dia na estação chuvosa, um aumento bastante significativo.

Assim, as informações da descarga sólida em suspensão obtidas e da pluviosidade nesse período, revelam a interferência do escoamento superficial na geração de sedimentos no reservatório, sendo possível apontar uma relação entre a quantidade de chuvas e os sedimentos suspensos no reservatório da PCH Piedade.

Simultaneamente às avaliações das coletas de água, foram feitas as análises dos sedimentos de fundo. No intuito de obter dados qualitativos para comparação com as amostras da estação seca e chuvosa, foram realizadas análises granulométricas de amostras da porção superior do leito do reservatório. Seguem as tabelas com os dados de granulometria dos sedimentos de fundo (Tabela 11 e Tabela 12).

Tabela 11: Dados granulométricos referentes ao período de seca 2010.

Granulometria					
Ponto	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia grossa (%)	Total areia (%)
P1	46,3	24,0	17,4	12,3	29,7
P2	56,7	20,3	13,8	9,2	23,0
P3	42,9	43,3	8,0	5,8	13,8
P4	79,7	0,7	6,7	12,9	19,6
P5	55,5	27,3	6,2	11,0	17,2
P6	27,6	45,9	10,5	16,0	26,5
P7	9,6	2,4	80,5	7,5	88,0
P8	31,0	27,9	32,0	9,1	41,1
P9	28,8	10,4	50,0	10,8	60,8

Fonte: Produzido pelo autor.

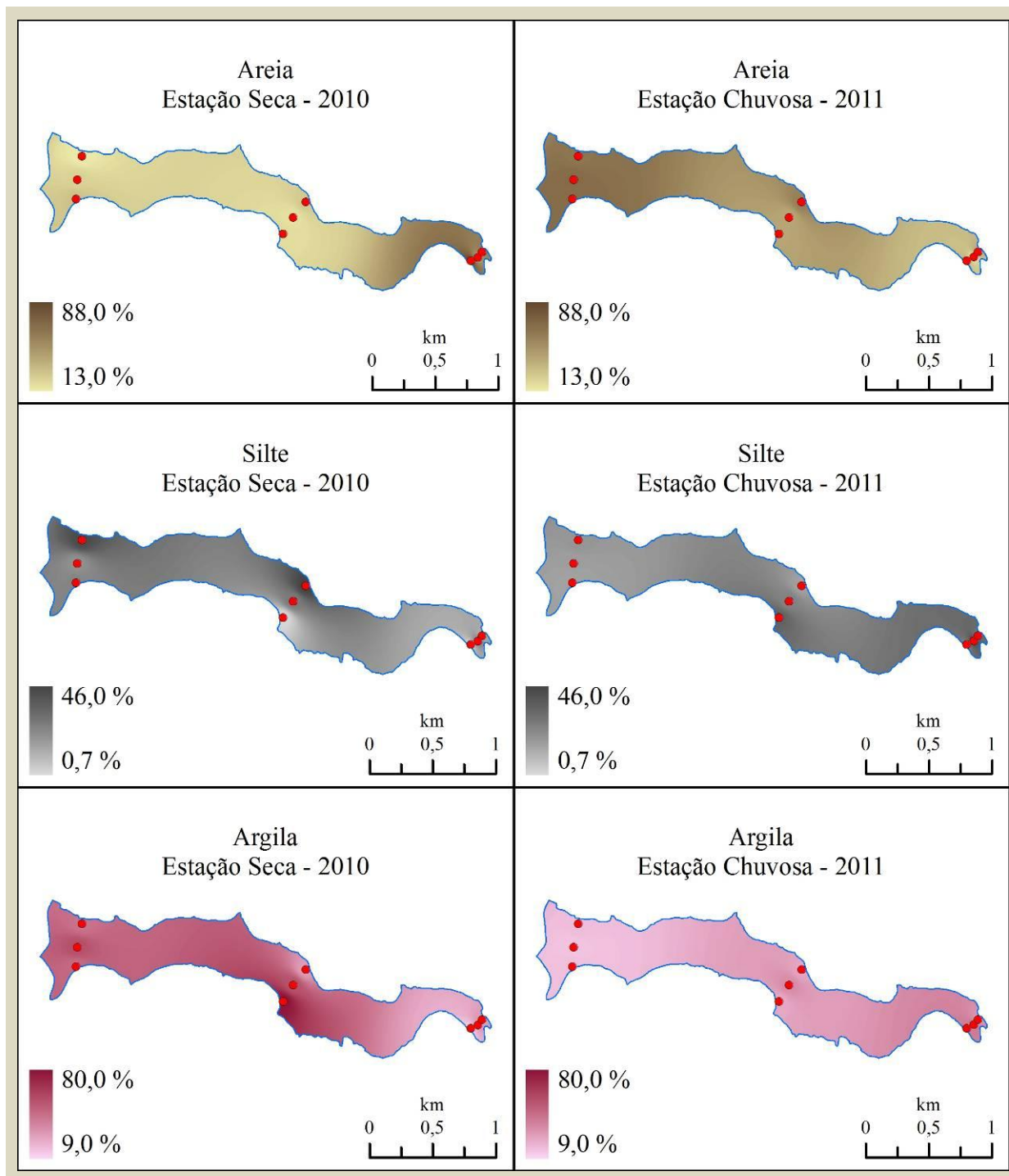
Tabela 12: Dados granulométricos referentes ao período chuvoso 2010/2011.

Granulometria					
Ponto	Argila (%)	Silte (%)	Areia fina (%)	Areia grossa (%)	Total areia (%)
P1	16,7	15,3	31,1	36,9	68
P2	14,9	16,5	32,3	36,3	68,6
P3	17,5	19,2	34,5	28,8	63,3
P4	23,9	34,8	27,3	14	41,3
P5	34,1	24,8	24,5	16,6	41,1
P6	24,9	15,8	35,3	24	59,3
P7	39,1	24,7	24,6	11,6	36,2
P8	42,3	43,2	5,3	9,2	14,5
P9	28,8	29,7	26,8	14,7	41,5

Fonte: Produzido pelo autor.

Assim como na análise dos sedimentos em suspensão e sólidos totais dissolvidos, foi feito o processamento dos dados granulométricos aplicando o método IDW, considerando as proporções de areia, silte e argila nas estações seca e chuvosa. Novamente quanto mais intensa a cor maior a proporção de cada granulometria (Figura 34).

Figura 34: Representação da proporção dos sedimentos de fundo do reservatório da PCH Piedade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com a análise dos dados percebeu-se na comparação entre as coletas realizadas no período de seca e de chuva uma alteração do material depositado no fundo do reservatório da PCH Piedade.

Nos pontos P1, P2 e P3, localizados próximos à barragem foi verificado o aumento nos grãos de areia em relação aos de silte e argila, que diminuíram sua proporção. Diante da distância em relação ao maior curso d'água que contribui para o reservatório – o Rio Piedade, a tendência é que a principal fonte desses sedimentos seja o Córrego do Valinho (Figura 35) que deságua próximo da barragem na margem esquerda.

No período das chuvas, com maior sobrecarga do córrego e maior erosão laminar, o transporte de sedimentos tende a se intensificar, mas sendo os grãos de areia são mais pesados, eles tendem a se depositar mais rapidamente em relação aos de silte e argila, que permanecem em suspensão por mais tempo.

No setor intermediário do reservatório, as variações foram identificadas da seguinte forma:

- No P4, verificou-se o aumento da presença de areia e principalmente silte e a diminuição de argila. Próximo desse ponto há uma voçoroca (Figura 36). O aumento da presença significativa de silte aponta para o transporte de sedimentos pode ser resultado da contribuição direta dos processos erosivos de vertente junto a margem esquerda do reservatório
- No P5 ocorreu um aumento de areia e o silte e a argila diminuíram, enquanto no P6 a diminuição da argila foi menor que a de silte proporcionalmente e a areia aumentou.
- Nos pontos próximos ao remanso do reservatório as amostras apresentaram o aumento da proporção de argila e silte e diminuição de areia.
- Na estação seca a amostra do P7 apresentou grande porcentagem de areia (88%), na estação chuvosa essa porcentagem diminuiu para 36,7%, aumento na quantidade de e silte. No P8 a argila aumentou pouco em relação à estação seca, o mesmo ocorreu com o silte. A maior diferença foi observada na quantidade de areia que diminuiu.
- No P9 a porcentagem de argila permaneceu a mesma, enquanto os valores de silte aumentou e silte argila diminuiu. Estes valores refletem o posicionamento mais a montante, onde o reservatório é diretamente influenciado pelo canal do Rio Piedade, que desagua e lança seus sedimentos no remanso do reservatório.

A distribuição dos sedimentos no reservatório é influenciada por diversos fatores, as considerações e apontamentos realizados são de um período curto, e uma análise mais aprofundada exigiria um período maior de coletas, bem como um número maior de pontos.

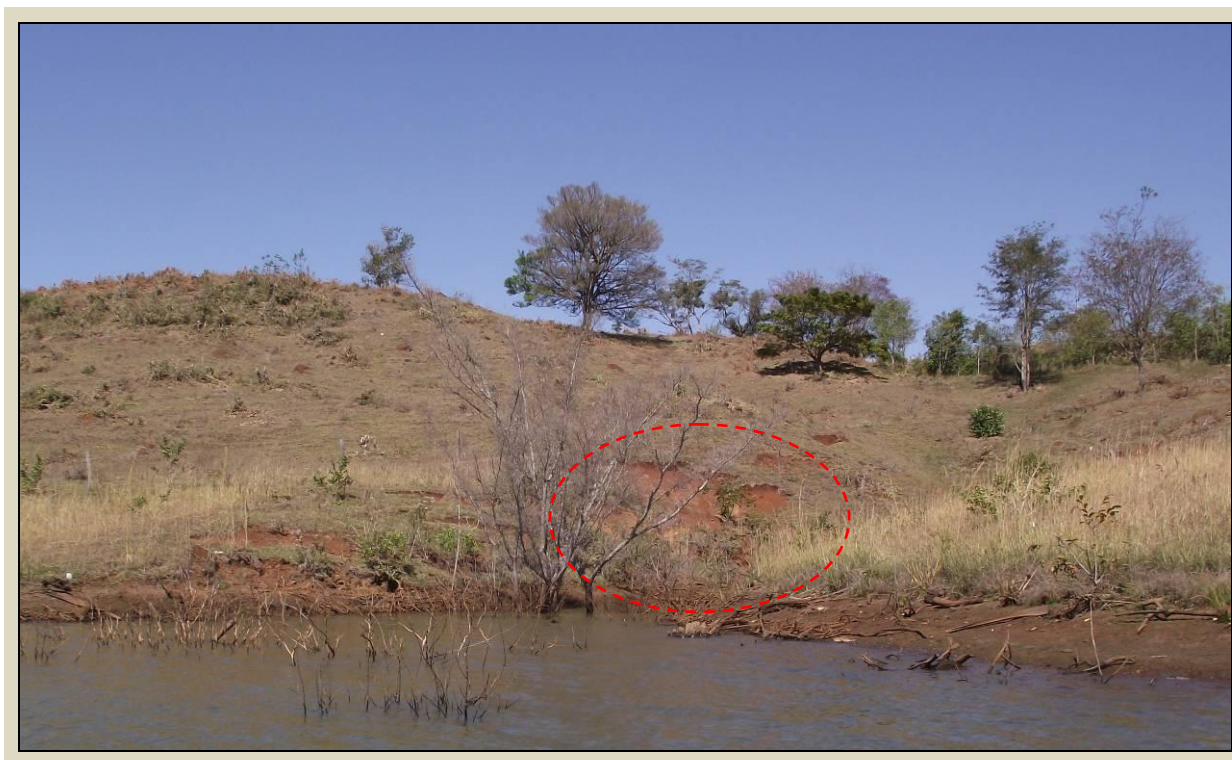
Além disso, alguns fatores como precisão da localização do ponto amostrado, data da última chuva, podem também alterar na precisão das informações.

Figura 35: Queda d'água formada pelo Córrego Valinho desaguando no reservatório da PCH Piedade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

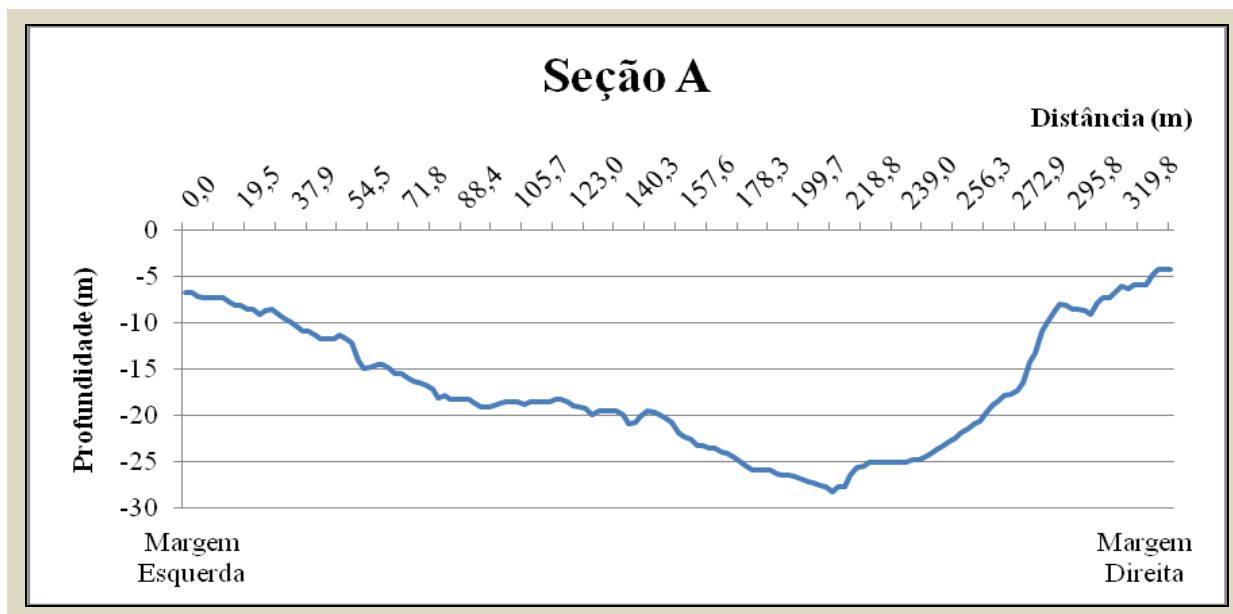
Figura 36: Voçoroca na margem esquerda do reservatório da PCH Piedade



Fonte: Elaborado pelo autor.

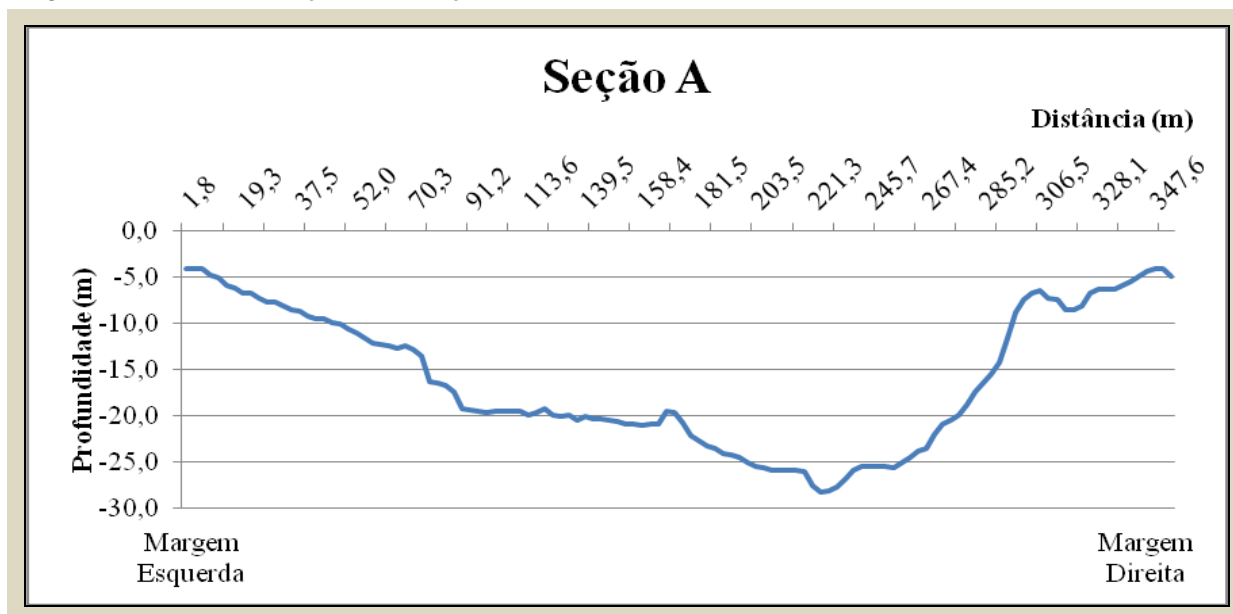
A seguir são apresentados os gráficos que demonstram o levantamento batimétrico das três seções de monitoramento do reservatório. Os dados batimétricos foram inseridos em gráficos individuais devido a dificuldade de se manter exatamente o mesmo trecho em cada levantamento em função das condições de navegação no lago. (Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41 e Figura 42).

Figura 37: Batimetria seção A – estação seca.



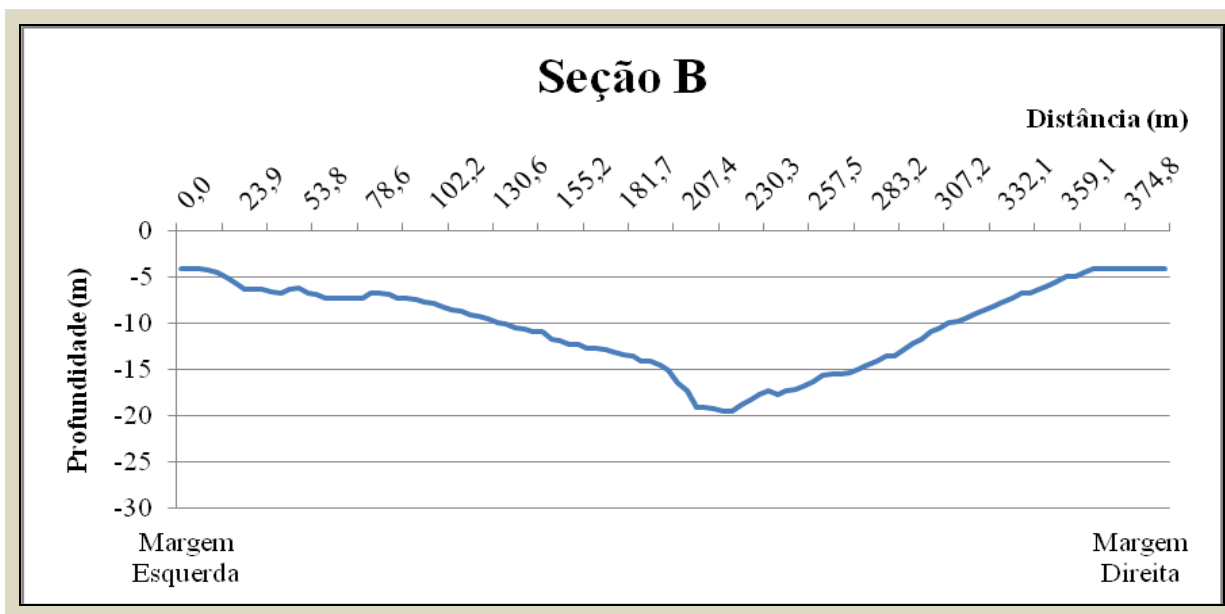
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 38: Batimetria seção A – estação chuvosa.



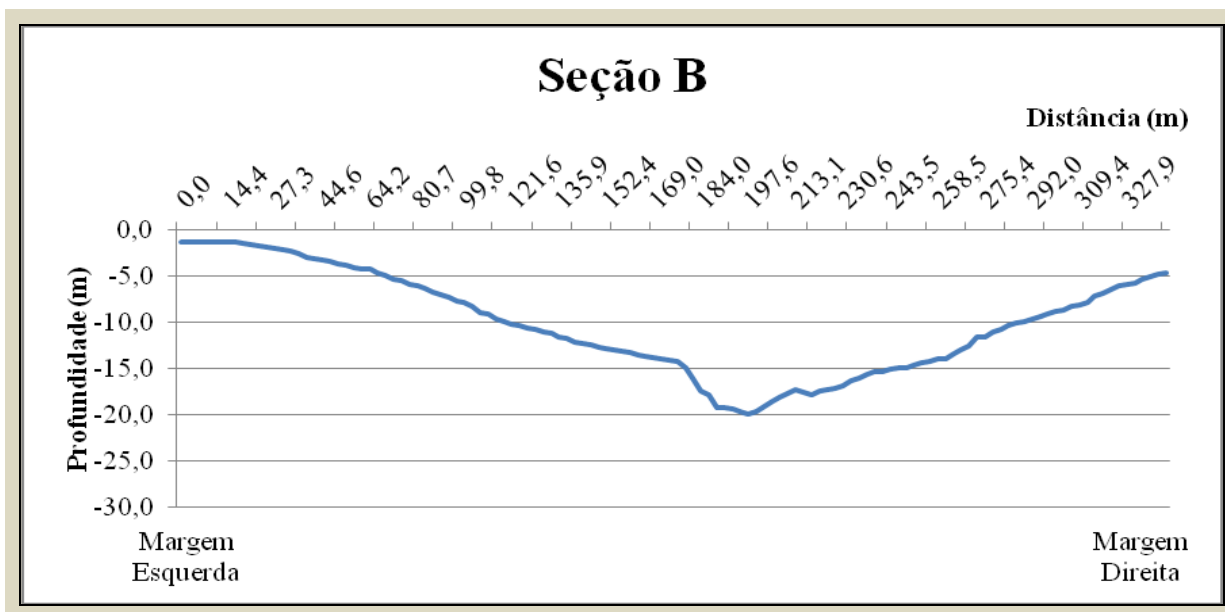
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 39: Batimetria seção A – estação seca.



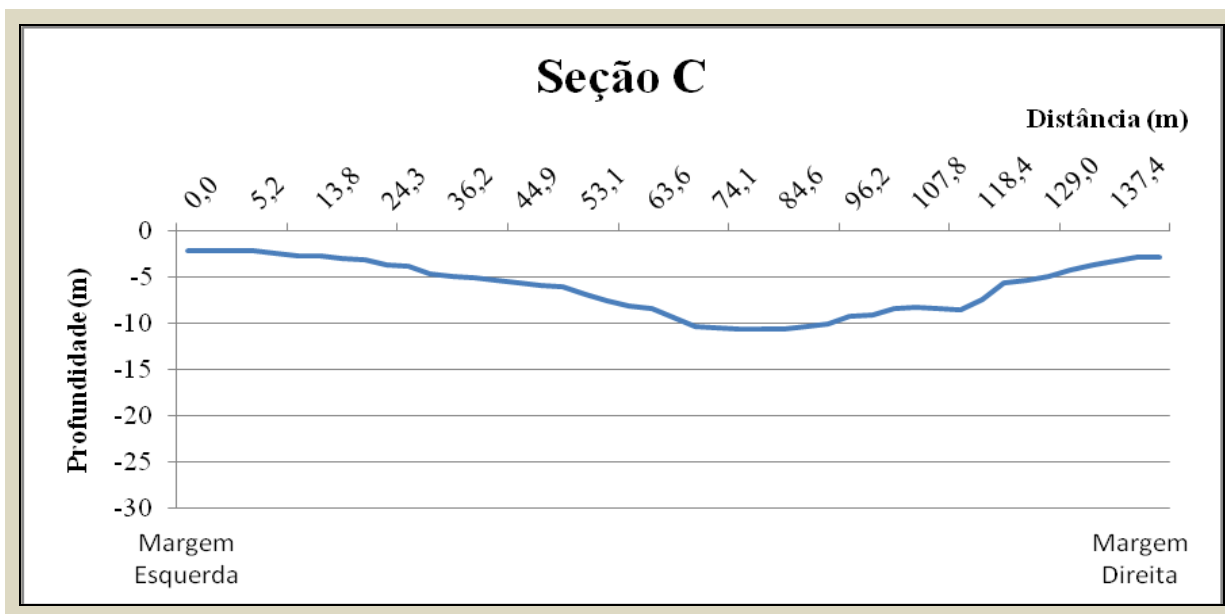
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 40: Batimetria seção A – estação chuvosa.



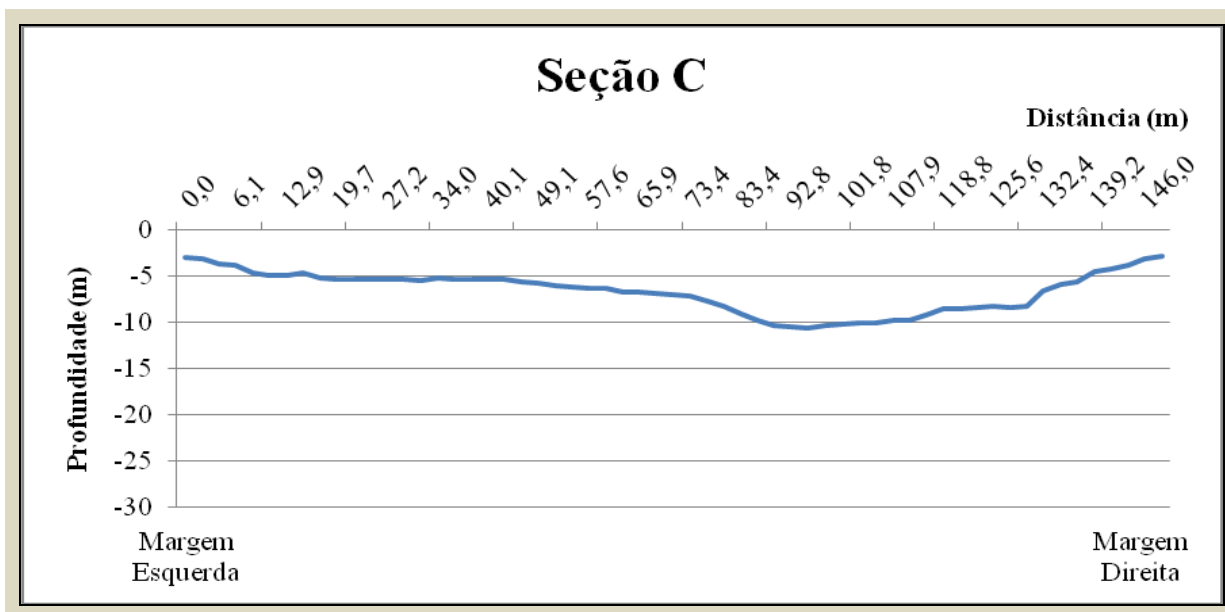
Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 41: Batimetria seção C – estação seca.



Fonte: Produzido pelo autor.

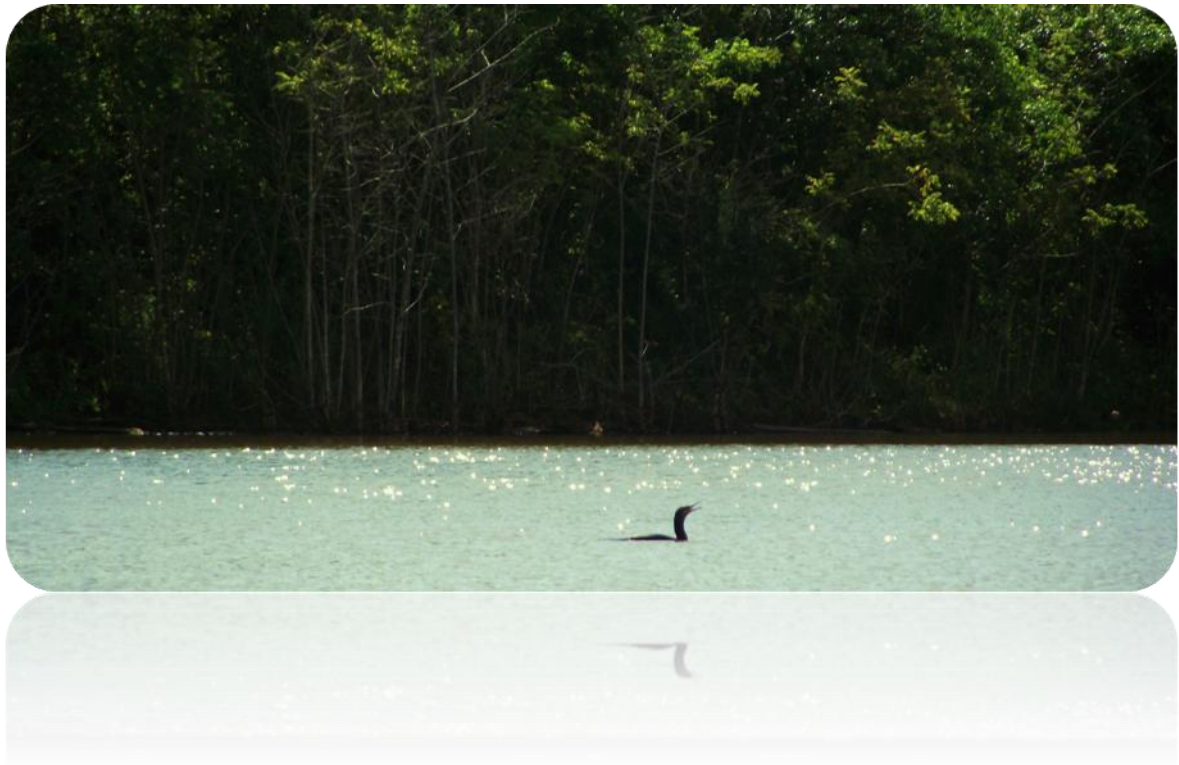
Figura 42: Batimetria seção A – estação chuvosa.



Fonte: Produzido pelo autor.

De acordo com as análises batimétricas, não foram identificadas variações significativas de profundidade do leito, fato que leva a estimar pequeno assoreamento nessa fase inicial de operação do reservatório. Verificou-se ainda grande dificuldade em definir exatamente o mesmo ponto para realização do levantamento batimétrico, uma vez que, o acúmulo de sedimentos ainda demonstra-se insignificante.

CAPÍTULO 6



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das potenciais áreas contribuintes ao assoreamento do reservatório da PCH Piedade, como base na metodologia adotada, demonstrou resultados satisfatórios diante dos objetivos propostos. Estes resultados serão de grande valia para estudos posteriores que poderão avaliar o assoreamento deste reservatório, permitindo uma melhor compreensão dos possíveis locais de aporte de sedimentos.

O mapeamento apontou para condições favoráveis ao controle do assoreamento quanto aos aspectos de declividade, que na maior parte da área é baixa, e a densidade de drenagem que traduz a capacidade de permeabilidade do solo.

Porém quanto à cobertura morfopedológica há uma predominância de baixa suscetibilidade à erosão laminar, mas é verificado na área próximo ao reservatório com cobertura extremamente suscetível à erosão laminar, sugerindo uma maior atenção. Interferindo diretamente no mapa de potencialidade à erosão laminar.

O uso e ocupação do solo são necessários uma atenção mais efetiva, pois a maior parte da área de estudo é ocupada por pastagens e culturas. Fator que juntamente com o tipo de cobertura morfopedológica contribui pra a potencial geração de sedimentos.

A análise dos dados coletados no âmbito do reservatório da PCH Piedade apontaram a descarga de sedimentos em uma quantidade mais elevada na estação chuvosa em relação a estação seca, apontando a interferência do escoamento superficial. A quantificação dos sólidos totais dissolvidos revelaram valores maiores na estação seca em relação a chuvosa.

Os sedimentos de fundo apresentaram mudanças significativas em suas proporções, nos pontos próximos à barragem e na região central do reservatório, houve um aumento da porcentagem de areia, e nos pontos próximos ao remanso, ocorreu a predominância de argila.

Os levantamentos batimétricos não revelaram alterações significativas na profundidade do reservatório, bem como não ficaram evidentes áreas de grande sedimentação.

Desse modo, os dados de batimetria, amostras de água e sedimentos de fundo, demonstraram-se favoráveis a manutenção da vida útil do reservatório. Porém o acompanhamento da evolução do processo da chegada de sedimentos ao lago deve ser continuado, uma vez que, o uso antrópico na região é intenso.

Assim, os resultados obtidos ressaltam necessidade de que a ocupação antrópica, desenvolvida na área de estudo, seja feita com as técnicas adequadas de conservação do solo, além de ações que possibilitem preservar ou recompor a vegetação de entorno dos canais de drenagem e do reservatório, para minimizar o carreamento de partículas sólidas pelo escoamento superficial e impedir solapamentos e escorregamentos das suas margens, procedimentos que contribuirão para diminuir o assoreamento do reservatório.

O controle do processo de assoreamento dos lagos das PCH's permite um melhor uso dos recursos naturais aumentando a vida útil do reservatório, evitando a restrição da quantidade de energia gerada e retardando a construção de novas barragens. Diante do exposto, o trabalho realizado poderá contribuir para que esse processo seja amenizado.

A pesquisa desenvolvida apresentou diversas dificuldades. As coletas em maior quantidade de pontos e também com maior frequência, em conjunto com o acompanhamento mais efetivo dos eventos climatológicos seriam de grande valia, favorecendo avaliações mais completas. Porém, esses procedimentos se tornaram inviáveis, devido à relativa dificuldade de acesso ao reservatório e dependência do uso de equipamentos e meios de transporte, nem sempre acessíveis.

Outro fator que dificultou a pesquisa é a questão da ausência de informações sobre a vazão do Rio Piedade, dado que seria de grande importância, mas que, no entanto, não é disponibilizado, e não foi possível obter equipamentos para tal.

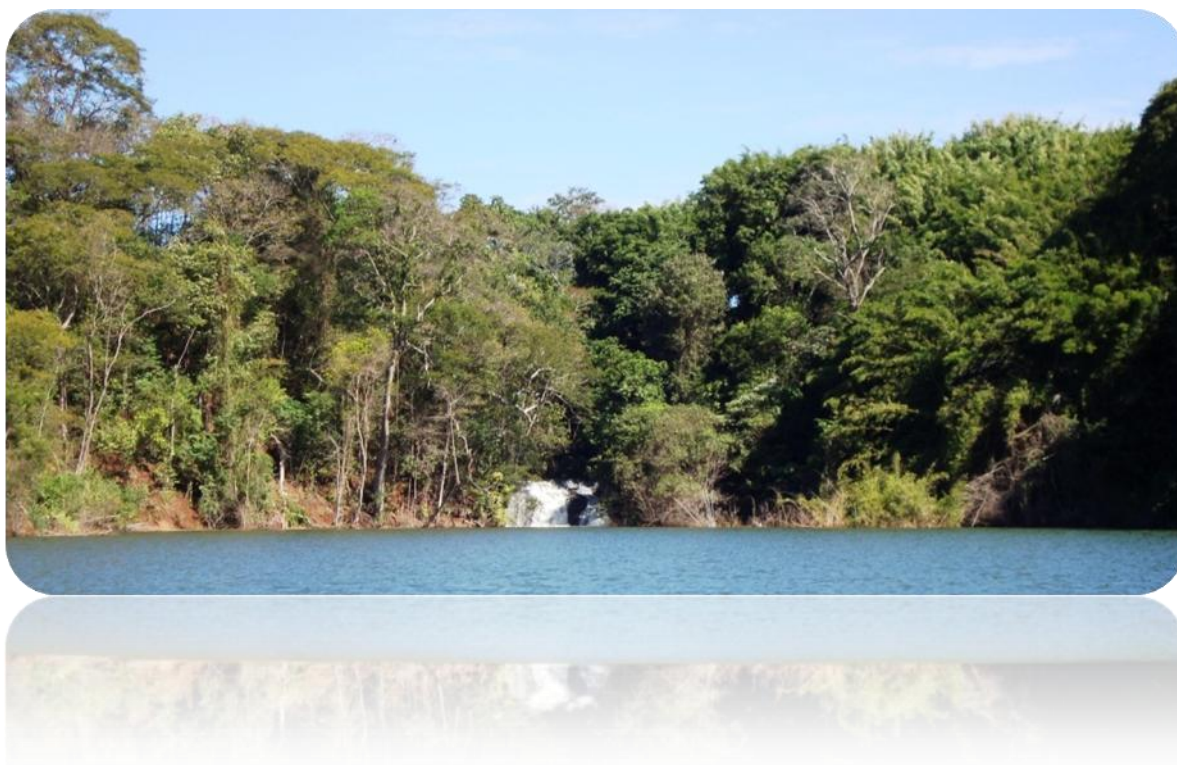
O reservatório foi construído recentemente, muito do que foi coletado ainda é influenciado pelas diversas alterações realizadas antes da inundação como o desmatamento, revolvimento do solo, construções e área de remanejamento e deposição de materiais.

As coletas foram realizadas em pontos, orientados por GPS, o que pressupõe que, apesar do esforço, haja dificuldade de obter os dados exatamente no mesmo ponto.

O processo de mapeamento, a princípio seria apenas uma informação complementar, mas no decorrer do trabalho, julgou-se importante o maior conhecimento da área de contribuição do reservatório, procedimento que demandou maior tempo do que o estimado.

O tema escolhido contou com a colaboração de alguns trabalhos, porém o tema ainda não é muito desenvolvido, na Geografia, principalmente no que se refere ao âmbito das PCH's, o que promove o interesse de pesquisar e aprofundar mais a respeito.

REFERÊNCIAS



REFERÊNCIAS

- ABDON, M. de M. **Os Impactos Ambientais no Meio Físico – Erosão e Assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em Decorrencia da Pecuária**. 2004. 322 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade ambiental, processos e relação**. II Encontro de Usuários de Informações Sociais, Econômicas e de Território, Rio de Janeiro, 2006.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução n.º 394, de 4 de dezembro de 1998. Estabelece os critérios para o enquadramento de empreendimentos hidrelétricos na condição de pequenas centrais hidrelétricas. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 7 dez. 1998 (b).
- AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario> >. Acesso em: maio de 2010.
- ANDRADE, J. S. de O. **Pequenas centrais hidrelétricas: análise das causas que impedem a rápida implantação de PCHs no Brasil**. 2006. 88f. Dissertação (mestrado) - Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador, Salvador, 2006.
- BACCARO, C.A.D. **Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de Cerrado - Uberlândia – MG**, 1990, 164 f. Tese (Doutorado em Geografia. Área de concentração Geografia Física). FFLCH/USP, São Paulo, 1990
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 4. São Paulo: Ícone, 1999.
- BOTELHO, R. G. M. e SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil 2004, (p. 153 -192).
- CABRAL, J. B. P. **Estudo do processo de assoreamento em reservatórios**. In: Caminhos de Geografia, 6, (14)62-69, fev. 2005
- CARVALHO, T.M. **Transporte de Carga Sedimentar no Médio Rio Araguaia entre os Rios Crixás-Açú e Javaés**. 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.2006.
- CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM e ELETROBRÁS. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ. 384p. 2008
- CAMPOS, R. Sobre transporte de sedimentos e assoreamento de reservatórios. In: **II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. ABRH, Fortaleza, 1994.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1994.

COELHO NETO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com a geomorfologia. *In*: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (organização). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo : Edgar Blucher, 1981.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Apresenta banco de dados geológicos**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: nov. 2011.

CRUZ, L. M.; **Levantamento das Áreas Potenciais ao Assoreamento do Reservatório da Pequena Central Hidrelétrica Piedade - Monte Alegre de Minas - MG**. 2010. 85p. Monografia. Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia. 2010.

CRUZ, L. M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. Abordagem Cartográfica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**. n. 62/04, 2010. (Noprelo)

ELETRORÁS/IPH. **Diagnóstico das condições sedimentológicas dos principais rios brasileiros**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1992, 100 p.

ELETRORÁS. **Informações sobre o setor elétrico**. Disponível em: www.ELETRORÁS.gov.br. Acesso em: 11/06/2006

EMBRAPA **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Sistema brasileiro de classificação de solo. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 2006. 306p.

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

GEOMINAS. **Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: < <http://www.geominas.mg.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2009.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. 472 p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, técnicas e aplicações**. 3ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

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. **Levantamento das Áreas Potenciais ao Assoreamento da Barragem Piraquara I**. Curitiba, 2008. 91 p Dissertação de mestrado – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHUARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12, 16 a 21 de abril 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2203-2210.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, 18:147-265, 1956.

LIMA, J. D. **Mudanças Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio Piedade - Triângulo Mineiro (MG)**. 2007. 174 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MARANESI, D. A. **Avaliação Geoambiental em Áreas de Cerrado no Triângulo Mineiro para Implantação de Pequenos Reservatórios Superficiais de Água: Aplicação na Folha de Tupaciguara, MG (1:100.000)**. 2002. 141 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e Áreas Adjacentes. **Revista Sociedade e Natureza**. Uberlândia, 1 (1): p. 9-16, junho 1989.

NISHIYAMA, L. BACCARO, C. A D. Aproveitamento dos Recursos Minerais nas Regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba - uma agressão ao meio natural. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 1 (1): 49-52, junho 1989.

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

OLIVEIRA, P. C. A. de. **Cenários ambientais e diagnose da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia-MG**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009. 142 p.

OLIVEIRA, P.; RODRIGUES, D.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo Analítico Hierárquico aplicado à Vulnerabilidade Natural a Erosão. **Revista Geociências**, São Paulo, UNESP, 28, abr. 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3600/2977>. Acesso em: jul. 2010.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais**. v. 31, Rio de Janeiro, Folha SE-22. Goiânia, 1983. 768p.

ROCHA, M. R. **Parâmetros Morfométricos e a Erosão Marginal na Bacia do Ribeirão Peixoto Prata, Minas Gerais**. 2001. 72 f. Trabalho final de graduação (Monografia) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2001, 72 p.

RODRIGUES, S. C. Mudanças Ambientais na Região do Cerrado. Análise das Causas e Efeitos da Ocupação e Uso do Solo Sobre o Relevo. O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, MG. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n.12, p 105-124, 2002.

RODRIGUES, S. C. **Análise Empírico-Experimental da Fragilidade Relevo-Solo no Cristalino do Planalto Paulistano: Sub-bacia do Reservatório Billings**. 1998. 268 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao Geoprocessamento - Sistemas de Informação Geográfica**. Uberlândia, Edição dos autores. 1996. 104p.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 2. ed., 1991. 85p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, 1992. p. 17-29.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991. Tradução e Revisão Técnica Wainer da Silveira e Silva.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation**. New York: Mcgraw-hill, 1980. 287 p.

SALOMÃO, F. X. de T. (1994) Controle e prevenção de processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, técnicas e aplicações**. 3ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007 p.229 a 267

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. Oficina dos Textos: São Paulo, 2004.

SILVA, Alexandre Marco; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos : RiMa, 2003.

SILVA, C. A. da; NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, INPE, 2009. p. 5435-5442.

SILVA, S. A. **Avaliação do assoreamento do lago Bonsucesso, Jataí-GO**. Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Dissertação de Mestrado em Geologia. Curitiba, 2007. 110p.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa a fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Revista GEOUSP – Espaços e Tempo**, São Paulo, n. 15, 2004, p. 39-49.

SUGUIU, Kentiro. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1973.

TAGLIANI, C. R. Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: XI SBRS, Belo Horizonte, MG, **Anais...** 2003. p. 1657-1664,

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M. & HARPER, J. L. 2006. **Fundamentos em ecologia**. 2ed. Porto Alegre: Artmed.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977.

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