



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS



Instituto de Geociências
Departamento de Geografia

Monografia de conclusão de curso de graduação

Geomorfologia Antropogênica: Alterações na evolução dos canais de primeira ordem na Bacia do Córrego da Aroeira – SP, decorrentes da construção da barragem de Água Vermelha.

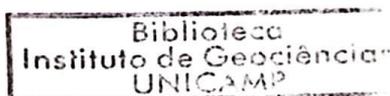
Marcelo Batista Levanteza

Orientador: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

2008/17132

Campinas - São Paulo.
Julho de 2008

TCC/UNICAMP
L575g



3677/IG



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS**



**Instituto de Geociências
Departamento de Geografia**

Marcelo Batista Levanteza

Geomorfologia Antropogênica: Alterações na evolução dos canais de primeira ordem na Bacia do Córrego da Aroeira – SP, decorrentes da construção da barragem de Água Vermelha.

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Departamento de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de bacharel em Geografia, sob a orientação do Prof. Dr. Archimedes Perez Filho.

**Campinas - São Paulo.
Julho de 2008.**

empl

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
N.º CHAMADA ICG/VM/empl
2595g
V. _____ EX. _____
TOMBO BCI/ 3637
TOMBO IG/ _____
PROC. 16-129-2008
C OK!
PRF' 24 11 102
131 08 108
441 753



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS



**Instituto de Geociências
Departamento de Geografia**

AUTOR: MARCELO BATISTA LEVANTEZA

***GEOMORFOLOGIA ANTROPOGÊNICA: ALTERAÇÕES NA
EVOLUÇÃO DOS CANAIS DE PRIMEIRA ORDEM NA BACIA
DO CÓRREGO DA AROEIRA – SP, DECORRENTES DA
CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DE ÁGUA VERMELHA.***

ORIENTADOR: Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Aprovada em: ___/___/_____

Examinador:

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho

Campinas, __ de _____ de 2008.

Dedico a Thaiza e Vítor, pela compreensão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, por ter me concedido a vida e a partir dela conceder-me o discernimento e o livre arbítrio, guiando meus passos para que eu pudesse trilhar os caminhos que escolhi, dando-me as forças necessárias para estudar, trabalhar e tentar entender ao menos em parte as grandiosidades de sua criação, o planeta Terra.

Em especial à minha esposa Thaiza Aparecida de Oliveira Levanteza, que foi de crucial importância para que eu voltasse a estudar aos 28 anos de idade e assim trilhar o caminho da minha verdadeira vocação, sempre me apoiando e mantendo seu amor apesar das muitas ausências de minha parte por conta de horas de estudo e trabalhos de campo em lugares distantes.

Não posso esquecer de meu filho Vitor Oliveira Levanteza, que muitas vezes me animou com suas brincadeiras em momentos de preocupação, a quem também agradeço de forma destacada, pois em conjunto com minha esposa formam a base de minha família e assim constituem o pilar de sustentação de minha vida.

Também a meus pais, José Carlos Levanteza e Vânia Aparecida Batista Levanteza, por simplesmente existirem, e também por que deram – me, além da vida, a base da educação e do amor, sendo para mim um grande exemplo de honestidade e virtudes, aos quais sempre procuro seguir e copiar experiências para a vida.

Ao meu orientador Dr. Archimedes Perez Filho, por acreditar em minha capacidade e saber entender minhas limitações, questionamentos e necessidades, e ser sempre uma pessoa amável, simpática, compreensiva e aberta a novas possibilidades de ensino e pesquisa, e transmissor de grande confiança para os alunos.

Ao professor Salvador Carpi Júnior, que foi de especial auxílio em vários momentos na elaboração deste trabalho, ao Cristiano Capellani Quaresma e ao Raul Reis Amorim, que me deram dicas preciosas sobre Sistemas de Informações Geográficas e sempre foram muito simpáticos e solícitos.

Aos funcionários do Instituto de Geociências da Unicamp (IGE) e em especial aos do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) que sempre estiveram à disposição para suprir minhas necessidades por conta de trabalho e ajudaram significativamente em muitos momentos, e também pela simpatia sempre presente.

A todos os colegas do curso de Graduação em Geografia, turma 2003, em especial aos amigos David Vieira, Luis Gustavo Calliman Gouveia, Allan Silas Calux, Giuliano Maiolini e Gilberto Bulgraen Junior, especiais companheiros de estudo e com quem consegui também uma grande amizade e interesses pessoais em comum.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS



**Instituto de Geociências
Departamento de Geografia**

Geomorfologia Antropogênica: Alterações na evolução dos canais de primeira ordem na Bacia do Córrego da Aroeira – SP, decorrentes da construção da barragem de Água Vermelha.

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO

Marcelo Batista Levanteza

RESUMO

O estudo das bacias hidrográficas, sua análise e morfometria associadas às possíveis alterações por conta da ação antrópica têm configurado um campo de estudo amplo para a Geomorfologia. Neste trabalho, o equilíbrio dinâmico das bacias e sua posição como geossistemas são trabalhados a partir da análise morfométrica, com a utilização de índices como a Densidade Hidrográfica e Densidade de Drenagem para caracterizar uma bacia hidrográfica em dois períodos distintos, antes (1971) e depois (2008) da implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, e assim medir as diferenças na constituição da rede de drenagem em dois contextos diferenciados pela atuação de obras de engenharia (ação antrópica), a partir da quantidade de canais de primeira ordem e do comprimento dos mesmos, utilizando-se de Sistema de Informação Geográfica, verificando e analisando as diferenças nos dois períodos acima citados, a partir de amostragem circular, com a produção de mapas temáticos e tabelas. Como apoio, temos a caracterização geral da bacia, a partir de geologia, geomorfologia, pedologia e declividade da área.

Palavras – chave:

Bacia hidrográfica, geossistema, equilíbrio dinâmico, morfometria fluvial, ação antrópica, amostras circulares.

SUMÁRIO

1. CONTEXTO DA MONOGRAFIA.....	1
2. INTRODUÇÃO.....	2
3. HIPÓTESE.....	3
4. OBJETIVOS.....	3
4.1 Objetivo Geral e Justificativa.....	3
4.2 Objetivos específicos.....	4
5. BASES TEÓRICAS.....	4
5.1 Abordagem Sistêmica.....	4
5.2 Teoria do Equilíbrio dinâmico.....	6
5.3 Geossistemas.....	7
5.4 Bacia hidrográfica, hierarquia e morfometria fluvial.....	10
5.5 Ação antrópica nas Bacias.....	13
5.6 Justificando a teorização.....	15
6. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
6.1 O Município de Mira Estrela - SP.....	16
6.2 Usina Hidrelétrica de Água Vermelha.....	20
6.3 Bacia do Córrego da Aroeira.....	21
6.3.1 Aspectos físicos da área.....	23
6.3.2 Alguns aspectos de uso e ocupação atuais.....	26
7. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
7.1 Proposta metodológica.....	29
7.2 Material cartográfico e fotográfico.....	30
7.3 Apoio computacional.....	31
7.4 Amostras Circulares.....	31
8. PROCEDIMENTOS.....	32
8.1 Córrego da Aroeira em 1971.....	32
8.1.1 Delimitação da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971.....	32
8.1.2 Cálculo Manual da Área, Drenagem e Hierarquização da Bacia em 1971.....	34
8.1.3 Declividade e Hipsometria relacionadas à drenagem de 1971.....	38
8.1.4 Densidade Hidrográfica em 1971.....	41
8.1.5 Densidade de Drenagem em 1971.....	44
8.2 Córrego da Aroeira em 2008.....	46
8.2.1 Delimitação da Bacia do Córrego da Aroeira em 2008.....	46
8.2.2 Drenagem e Hierarquização da bacia em 2008.....	48
8.2.3 Declividade e Hipsometria relacionadas à drenagem de 2008.....	51
8.2.4 Densidade Hidrográfica em 2008.....	54
8.2.5 Densidade de Drenagem em 2008.....	57
9. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
9.1 Alterações referentes ao nível de base local.....	59
9.2 Alterações nos Índices Morfométricos.....	61
9.2.1 Alterações na Densidade Hidrográfica (Dh).....	61
9.2.2 Alterações na Densidade de Drenagem (Dd).....	63
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema.....	8
Figura 2. Estruturação do geossistema e do sistema sócio econômico.....	9
Figura 3. Estrutura conceitual da organização espacial e sua relação com disciplinas subsidiárias.....	9
Figura 4: Mapa de Localização do município de Mira Estrela – SP.....	17
Figura 5: Mapa da Região Administrativa de São José do Rio Preto.....	18
Figura 6: Mapa da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (URGH15).....	19
Figura 7: Foto da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha e mapa de sua localização.....	20
Figura 8: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira Mira Estrela-SP.....	22
Figura 9: Indicação de localização da área urbana do município de Mira Estrela-SP em comparação à Bacia do Córrego da Aroeira.....	27
Figura 10: Mosaico de fotografias aéreas e drenagem da bacia em estudo (1971).....	33
Figura 11: Mapa da Drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971.....	35
Figura 12: Mapa da Hierarquia fluvial do Córrego da Aroeira em 1971.....	37
Figura 13: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira/SP em 1971 - Mapa de declividade.....	39
Figura 14: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira/SP em 1971 – Mapa hipsométrico..	40
Figura 15: Bacia do Córrego da Aroeira em 1971 e aplicação de amostras circulares.....	42
Figura 16: Mosaico de fotografias aéreas e drenagem da bacia em estudo (2008).....	47
Figura 17: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira – SP: rede de drenagem em 2008.....	49
Figura 18: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira-SP: hierarquia fluvial em 2008.....	50
Figura 19: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 – Mapa de Declividade.....	52
Figura 20: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 – Mapa hipsométrico.....	53
Figura 21: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 e aplicação de amostras circulares....	55
Figura 22: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira: Comparativo entre as drenagens de 1971(I) e 2008(II) relacionado à hipsometria.....	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Densidade Hidrográfica da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela / SP em 1971.....	43
Tabela 2: Densidade de Drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela-SP em 1971.....	45
Tabela 3: Densidade Hidrográfica da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela / SP em 2008.....	56
Tabela 4: Densidade de Drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela-SP em 2008.....	58
Tabela 5: Comparativo da Densidade Hidrográfica (Dh) na bacia nos anos de 1971 e 2008.....	62
Tabela 6: Comparativo Percentual de Alterações na Densidade Hidrográfica (Dh) 1971 – 2008 (amostras válidas).....	62
Tabela 7: Comparativo da Densidade de Drenagem (Dd) na bacia nos anos de 1971 e 2008.....	64
Tabela 8: Comparativo Percentual de Alterações na Densidade de Drenagem (Dd) 1971 – 2008 (amostras válidas).....	64

1. CONTEXTO DA MONOGRAFIA

A partir de 2003, quando iniciei o curso de Geografia na Unicamp, muitos de meus questionamentos sobre o comportamento do relevo, sua evolução e os processos que levam à esculturação das formas e assim configuram a paisagem foram sendo respondidos, mas uma questão perdurava: o que a ação humana, ou antrópica, tem a colaborar com tudo isso? A princípio parecia ser pouco, mas a partir do segundo semestre de 2006, quando cursei a disciplina Geomorfologia Climática e Litorânea, ministrada pelo Professor Dr. Archimedes Perez Filho, e este apresentou alguns conceitos sobre uma subárea da Ciência Geomorfológica, a Geomorfologia Antropogênica, um campo aberto para pesquisas e novas constatações a respeito de como o ser humano pode influenciar no comportamento e esculturação das paisagens, como integrante de um sistema complexo que se estabelece a partir da conjunção entre vários fatores, como sociedade, economia, clima, solos, geologia e biota. Uma outra área de interesse de minha parte era a fotointerpretação e o estudo comparativo de configuração espacial de regiões e bacias de drenagem no passado e no presente, através de análise de fotos aéreas e imagens orbitais atuais.

Deste modo, estes fatores se uniram e o interesse de minha parte foi aumentando e a partir de 2007 iniciei os trabalhos de monografia neste campo de estudo, a partir de um projeto em andamento no Instituto de Geociências, criado e coordenado pelo Professor Archimedes sobre o tema Geomorfologia Antropogênica que focava alterações nos canais de primeira ordem e outros parâmetros em bacias hidrográficas possivelmente provocadas pela construção de usinas hidrelétricas, através de comparações de antes e depois da implantação das usinas. Assim, configurou-se a possibilidade de estudar o tema mais a fundo e conseqüentemente foi definida uma área para estudo, a bacia do Córrego da Aroeira, situada no município de Mira Estrela – SP. Acreditamos que este estudo possa contribuir para o melhor entendimento dos processos que atuam sobre as formas de relevo, associados à ação humana, podendo desta maneira direcionar ações tanto da comunidade científica quanto do poder público para estudar e mitigar possíveis danos, e auxiliar na elaboração de direcionamentos sobre organização espacial, visto que a construção de usinas hidrelétricas tem sido um dos grandes atos de ação humana que influencia de

forma destacada na configuração espacial e pode alterar configurações geomorfológicas, e por consequência alterar a dinâmica de um sistema geomorfológico como a bacia de drenagem.

2. INTRODUÇÃO

O estudo das bacias hidrográficas, sua contextualização como unidade de estudo do ambiente e sua dinâmica relacionada à evolução geomorfológica e às alterações provocadas pela ação humana tem sido de interesse em diversas pesquisas atuais, visto que suas interações e processos, por estarem diretamente relacionadas a necessidades do uso, ocupação e planejamento das terras, suscitam sempre de necessidades em estudos e análises acuradas.

Deste modo, por tratar-se a bacia hidrográfica de um sistema complexo e aberto, em contato direto com a ação antrópica, muitas transformações são decorrentes das mesmas gerando mudanças sensíveis e significativas, que devem ser mais bem estudadas, especialmente pela área de estudo denominada Geomorfologia Antropogênica. Esta área de estudo torna-se de grande interesse no contexto atual por possibilitar novos conhecimentos aplicados à formulação de políticas públicas.

O tema principal a ser desenvolvido, Geomorfologia Antropogênica, subárea da Ciência Geomorfológica, surgiu da necessidade de se estudar a evolução e dinâmica dos processos e formas de relevo relacionadas à ação antrópica. Neste contexto, Geomorfologia Antropogênica aplicada à dinâmica das Bacias Hidrográficas configura-se como o tema específico, e procuraremos assim mostrar durante a explanação dos demais itens constituintes deste trabalho. Desta forma inicialmente mostraremos a hipótese a ser trabalhada e explicitaremos os objetivos do trabalho, e a seguir faremos uma revisão bibliográfica sobre alguns itens que consideramos imprescindíveis para o embasamento e constituição do trabalho, caracterizando-os como a base teórico-metodológica: Abordagem Sistêmica em Geomorfologia, Teoria do Equilíbrio Dinâmico, Geossistemas, Bacias Hidrográficas como unidade de análise, Morfometria Fluvial e a Ação Antrópica nos Geossistemas.

3. HIPÓTESE

A construção de grandes barragens para fins hidroelétricos podé alterar o nível de base dos rios promovendo alterações na dinâmica de erosão dos mesmos na bacia durante o decorrer do tempo, causando o aumento na quantidade e no comprimento dos canais de primeira ordem, alterando na bacia em análise os valores tanto da Densidade Hidrográfica (Dh) quanto da Densidade de Drenagem (Dd).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral e Justificativa

A partir da hipótese inicial proposta por Perez Filho, sobre Geomorfologia Antropogênica associada ao estudo de bacias hidrográficas e a implantação de barragens para fins hidroelétricos, vamos tentar aplicá-la no estudo da área e de sua dinâmica geomorfológica, especialmente no que tange à bacia hidrográfica do Córrego da Aroeira (Mira Estrela – SP), e possíveis alterações na quantidade e comprimento dos canais de primeira ordem num período de tempo determinado, no caso deste trabalho comparando 1971 e 2008, o principal objetivo é estabelecer relações entre os processos e configurações geomorfológicas presentes em uma bacia hidrográfica e a atuação humana no decorrer dos anos, a partir da implantação de uma barragem, possibilitando assim a produção de novos conhecimentos que podem ser aplicados em atuações do poder público, no sentido de planejamento do uso das terras e dos recursos hídricos da região em estudo, e também podendo extrapolar esses resultados para outras regiões do país.

Assim, a justificativa principal é contribuir com a ampliação de conhecimentos para que a Geomorfologia em geral e em especial a Geomorfologia Antropogênica, vinculadas à abordagem sistêmica, continuem a direcionar e estabelecer procedimentos e atuações no âmbito do poder público e do planejamento territorial e da gestão dos recursos hídricos.

4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho, vinculados aos gerais e que irão dar suporte à consolidação da hipótese anteriormente descrita são os seguintes:

- Análise morfométrica (areal) da bacia através do estabelecimento da Densidade Hidrográfica (Dh), a partir da quantificação dos canais de primeira ordem, por meio do emprego da aplicação da técnica de amostras circulares, e da Densidade de Drenagem (Dd), através da medição dos componentes fluviais de primeira ordem, comparando os valores nos períodos 1971 e 2008;
- Caracterização geral da bacia em estudo através de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade e hipsometria da área.

5. BASES TEÓRICAS

5.1 Abordagem Sistêmica

Para o início de nosso estudo, considerando a necessidade de análise de uma bacia hidrográfica de forma ampla e integradora sob vários aspectos, e também comparativa a partir de duas temporalidades distintas, a **abordagem sistêmica**, que busca a compreensão do **todo** de forma a integrar aspectos físicos e sócio-econômicos da região a ser estudada, pois a partir da concepção de sistema mostrada por Morin (1977 apud Briguenti 2005, p.6) “... *como unidade global organizada de inter-relações entre elementos, ações e indivíduos*” onde sua organização “*de modo inter-relacional, liga elementos ou indivíduos que a partir daí, se tornam os componentes de um todo*” Morin (1977 apud Briguenti 2005, p.6), e seus “*elementos interconectados funcionam compondo uma complexa entidade integrada*” Christofolletti (1999 apud Briguenti 2005, p. 6). Ampliando a nossa visão e inserindo-a no trabalho e em seus objetivos, podemos mostrar que intervenções antrópicas têm como resultado transformações nos aspectos físicos dos sistemas, em especial sobre nosso escopo principal, que é a bacia hidrográfica.

Partindo destas definições sobre sistemas, podemos conectá-las aos estudos geomorfológicos, visto que os primeiros se adaptaram de forma positiva ao contexto de aplicação e desenvolvimento dos últimos. Assim sendo, ao se tratar as formas de relevo como esculpidas pela ação de determinados processos ou grupo de processos, e sendo estas o objeto de estudo da Geomorfologia (Christofolletti, 1980) podemos associar sistemas e geomorfologia de maneira intrínseca e deste ponto partir para outras análises mais acuradas incorporando outros conceitos.

Sobre a abordagem sistêmica, Berry (1964 apud Christofolletti 1999), mostra que *“o ponto de vista geográfico é espacial e que os conceitos e processos integrantes do geógrafo relacionam-se com as disposições e distribuições, com a integração espacial, com as interações e organizações espaciais e com processos espaciais”*.

O conceito de sistema como um conjunto dos elementos e das relações entre si e entre seus atributos e a Teoria dos Sistemas Gerais tem sido aplicada em estudos geomorfológicos para melhor focalizar as pesquisas e para delinear com maior exatidão o setor de estudo dessa ciência (Christofolletti, 1980). A Teoria dos Sistemas Gerais foi inicialmente introduzida na Geomorfologia por Strahler (1950, 1952) e daí passou a manter-se como pilar mestre das análises e pesquisas, vindo a abarcar outros conceitos e atuações.

Dentro do conceito de Sistema e suas divisões, aquele que melhor se relaciona com nosso objetivo seria o Sistema Aberto, como o descrito por Reiner e Spiegelman (1945 apud Chorley 1962, p.6), aquele que necessita de um suprimento de energia para sua manutenção e preservação, e é mantido através de constante suplementação e remoção de material e energia, de acordo com Von Bertalanffy (1952 apud Chorley 1962, p.6). Aqui já se estabelece uma relação entre sistema e bacia de drenagem.

5.2 Teoria do Equilíbrio dinâmico

Uma outra peça teórica importante em nosso estudo é a **Teoria do Equilíbrio Dinâmico**, proposta por Gilbert (1880 apud Christofolletti 1980, p. 168), e desenvolvida posteriormente por Hack (1957, 1960, 1965 apud Christofolletti, 1980) e Howard (1965 apud Christofolletti, 1980) que vem a corroborar e sustentar a nossa análise, pois a partir do conceito de equilíbrio nos sistemas geomorfológicos é que podemos entender como alterações provocadas nos mesmos, como por exemplo, nas bacias hidrográficas, através da ação antrópica, constituem diferentes contextos de formas e processos para configurar o relevo, e a própria dinâmica dos cursos d'água que formam a bacia, no decorrer de determinadas periodizações.

A referida teoria, segundo Christofolletti (1980, p. 168) considera que,

“O modelado terrestre atua como um sistema aberto, isto é, um sistema que mantém constante permuta de energia e matéria com os demais sistemas componentes de seu universo. A fim de que possam permanecer em funcionamento, necessitam de ininterrupta suplementação de energia e matéria, assim como funcionam através de constante remoção de tais fornecimentos”.

Desta forma, a troca de energia e matéria configura sempre um tipo de equilíbrio, mas um equilíbrio dinâmico, não estático, já que os processos podem ser diferenciados a partir de condições diferentes de solos, climas, e litologias em cada área a ser estudada, e também da ação de fatores sócio econômicos motivados por necessidades humanas, como é o caso da construção de usinas hidrelétricas. Este conjunto de processos gera diferentes estados de equilíbrio que atuam de forma diferenciada nas formas e na dinâmica das vertentes em associação à dinâmica fluvial, ocasionando em certos momentos, um contexto denominado **steady state**, que de acordo com Von Bertalanffy (1950; 1951 apud Chorley 1962, p.7) que seria um estado atingido pelo sistema onde a importação e exportação de material e energia são equacionadas por meio do ajustamento das formas ou geometria do sistema. E esse ajustamento a partir da dinâmica do material que entra e sai pode ser causado pela ação antrópica.

Também Gilbert (1880 apud Chorley 1962), mostra a aplicação do princípio do equilíbrio dinâmico a partir do auto ajustamento para a evolução das formas de relevo, destacando a tendência para o equilíbrio das ações, ou para o estabelecimento de um equilíbrio que podemos

considerar mutável, pois se adapta a diferentes situações provocadas seja por ações naturais ou antrópicas. Deste modo, a visão dos sistemas geomorfológicos como sistemas abertos e complexos ajuda a entender e aplicar o equilíbrio dinâmico em estudos como o que propusemos. O ajustamento dos sistemas abertos é conseguido, como diz Von Bertalanffy (1952 apud Chorley 1962, p.8) por conta da capacidade de auto regulação dos mesmos.

Um exemplo claro que podemos citar para corroborar nossa análise está em Mackhin (1948 apud Chorley 1962), onde discorre sobre a o caso de aplicação a um rio “graded”, ou em **steady state** como “*sendo um sistema em equilíbrio e o seu diagnóstico característico é que qualquer alteração em qualquer dos fatores controlantes causará deslocamento do equilíbrio numa direção que tenderá a absorver o efeito da alteração*”. Esta situação é de particular interesse em nosso estudo, pois é advinda de alterações que podem ser provocadas pela ação humana no sistema bacia hidrográfica, que se insere por conseqüência no todo maior que seria o geossistema, do qual trataremos também como base teórica de nosso trabalho.

5.3 Geossistemas

Aplicado ao conceito de sistema e da noção de equilíbrio dinâmico e extrapolando os limites destes, partindo do modelo de ecossistema (Figura 1) e ampliando esta visão para a inserção da sociedade e do território, surge a noção de **Geossistema**, que vem dar suporte à aplicação tanto da abordagem sistêmica e de como está em integração com a Geografia. Assim temos associado a esta análise a definição de Sotchava (1962 apud Christofolletti 1999, p.42) que “*salienta que geossistemas são sistemas abertos, dinâmicos, flexíveis e hierarquicamente organizados, com estágios de evolução temporal, numa mobilidade cada vez mais sob influência do homem. O elemento básico para a classificação é o espaço e tudo que nele está contido em integração funcional*”.

Segundo Rougerie e Beroutchachivili (1991 apud Troppmair 2000, p.9), o Geossistema é composto por três componentes, sendo os abióticos (litosfera, atmosfera e hidrosfera), os bióticos (flora e fauna), e os antrópicos (homem e suas atividades), sendo portanto

uma unidade complexa, um espaço amplo que se caracteriza por certa homogeneidade de seus componentes, estruturas, fluxos e relações que, integrados formam o ambiente físico onde há exploração biológica.

Por conseguinte, conforme a figura 2, ampliando a análise, temos a interação do solo, relevo, clima, vegetação e águas com o sistema sócio econômico formado pela agricultura, indústria, mineração e meio urbano, centralizando na população como controlador destes (Christofoletti, 1999, p.41).

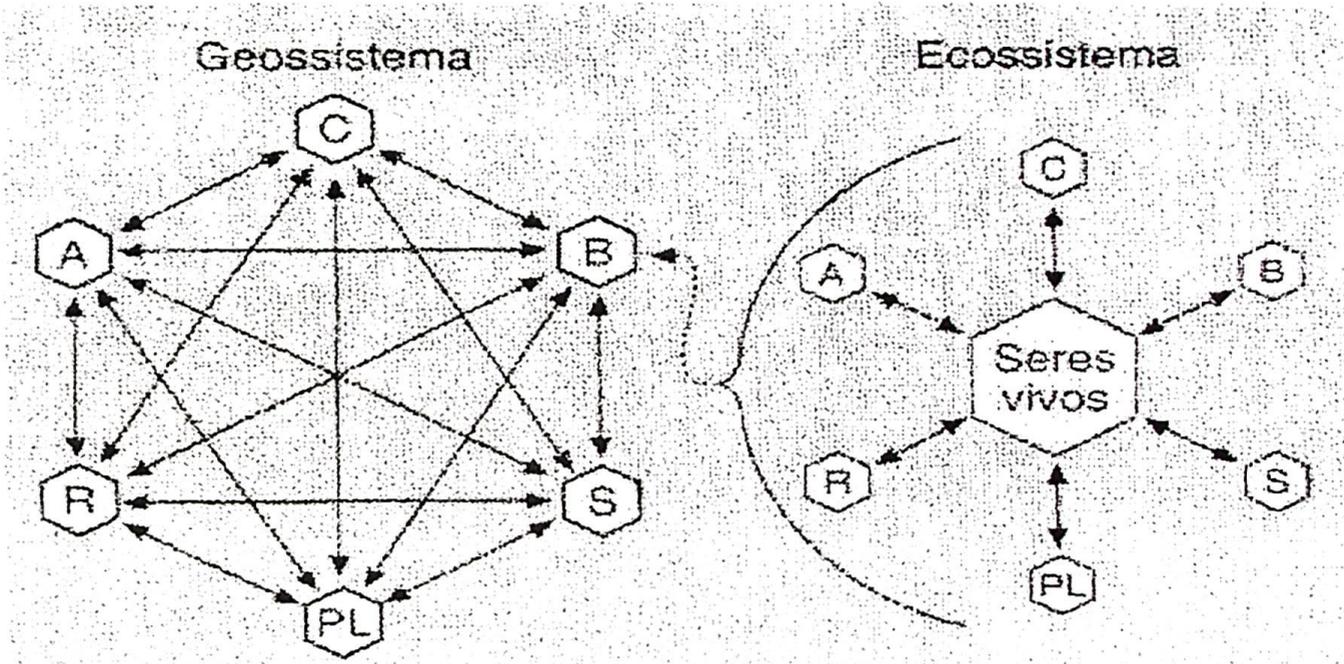


Figura 1. Esquemas estruturais de geossistema e ecossistema, conforme Preobrajenski. C=clima; A=água; R=relevo; B=biosfera; S=sociedade; PL=pedosfera e litosfera (Fonte: Christofoletti, 1999).

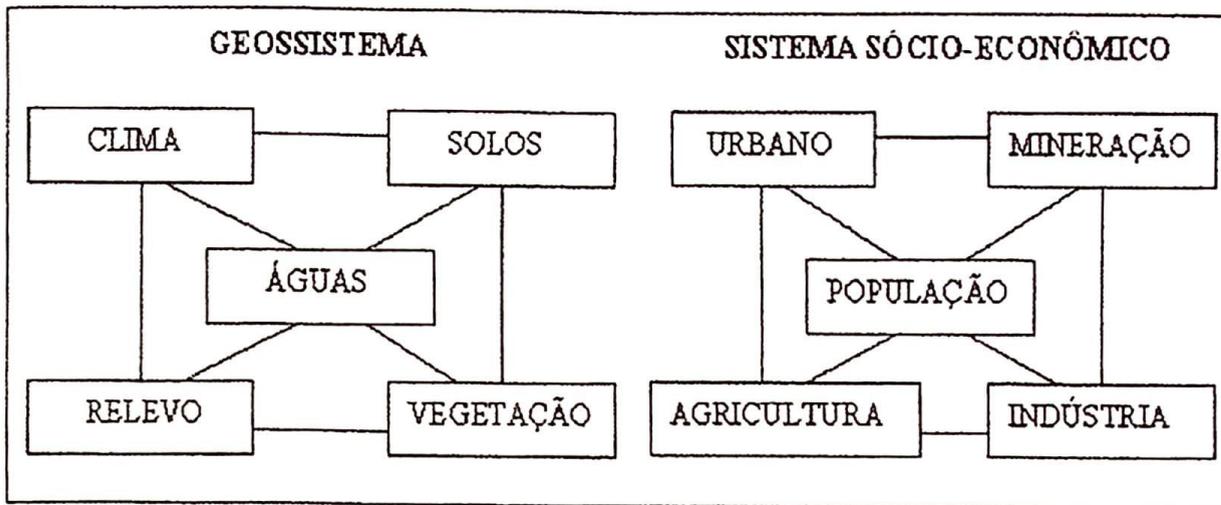


Figura 2. Estruturação do geossistema e do sistema sócio-econômico (Christofoletti 1999).

Desta forma, a partir desta dinâmica entre os diversos elementos e fatores atuantes na composição e funcionamento do geossistema, anteriormente mostrados, temos que se configura a Organização Espacial (Christofoletti, 1999, p.41) unificando geossistema e sistema sócio econômico (Figura 3). Esta organização pode ser alterada conforme a atuação de vários fatores que podem causar equilíbrios e desequilíbrios de acordo com os impactos provocados no geossistema pelo sistema sócio econômico e vice versa, visto que são partes importantes e associadas ao mesmo contexto organizacional.



Figura 3. Estrutura conceitual da organização espacial e envolvimento com disciplinas subsidiárias (Christofoletti, 1999).

Desta feita, nos últimos anos os estudos baseados no geossistema têm crescido em importância e aplicações, procurando conservação, uso racional e o desenvolvimento do espaço de forma a beneficiar a sociedade como um todo, procurando auxiliar o planejamento e a tomada de decisões por parte dos poderes públicos.

5.4 Bacia hidrográfica, hierarquia e morfometria fluvial.

E a partir destes conceitos e definições anteriores, e inserindo com destaque na base teórica e metodológica deste trabalho chegamos a outro elemento de crucial importância em nosso trabalho, que é a **bacia hidrográfica e sua análise**. Christofolletti (1980, p.106) define bacia de drenagem como um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, determinando assim a área drenada por um determinado rio ou sistema fluvial.

A Bacia Hidrográfica vem sendo caracterizada e estudada como um Sistema aberto e complexo, pois recebe influências de outras bacias e de outros elementos do sistema geomorfológico, como clima, litologia e configuração do solo, e assim sofrendo as todas diretrizes associadas ao Equilíbrio Dinâmico, como vimos na teorização anterior sobre este.

De acordo com Christofolletti (1980), a dinâmica das bacias *“envolve vários subsistemas, como por exemplo, o sistema vertente, sistemas dos canais fluviais e as planícies de inundação, ocorrendo trocas constantes de matéria e energia, tanto recebendo quanto perdendo”*.

A partir da inserção como sistemas, também podem inseri-la no contexto dos Geossistemas, pois além de ser influenciada pelos fatores físicos destacados anteriormente, é constantemente cercada e modificada por fatores sócio econômicos, como o uso e ocupação das terras e vertentes para diversos fins, por exemplo.

Deste modo, podemos considerar a bacia hidrográfica como referência espacial destacada em vários estudos e projetos, não apenas em função de suas características físicas, mas também pela sua importância atual no que tange à legislação ambiental e por conseqüência no planejamento ambiental e territorial. Não se pode esquecer de outro aspecto importante, que é a visão do conceito de bacia hidrográfica como referência em diferentes atores e processos sociais e

econômicos, como transposição de rios, construção de barragens e reservatórios (nosso caso especial), alteração de cidades (realocação de territórios), dentre outros.

Conseqüentemente, com destaque ao nosso objeto de estudo deste trabalho, a implantação de barragens e usinas hidrelétricas, que se configura num grande objeto de impacto, caracterizando desta forma a bacia hidrográfica como um geossistema pleno, e também como unidade de análise, gestão e planejamento territorial e ambiental, podemos a partir desta caracterização expor os índices para o estudo da mesma, inserindo as definições de Hierarquia Fluvial, e os elementos da análise morfométrica para as bacias que são importantes em nosso estudo, a Densidade Hidrográfica e a Densidade de Drenagem.

A hierarquia fluvial consiste, segundo Christofolletti (1980, p. 106), no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. A classificação mais utilizada e que será aplicada nesta monografia é a proposta por Strahler (1952 apud Christofolletti 1974, p. 107), e que define os canais menores sem tributários, como os de primeira ordem, desde a nascente até a confluência; os canais de Segunda ordem aparecem da união de dois canais de primeira ordem e só recebem canais de primeira ordem; canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber canais de segunda ou primeira ordens; os de quarta ordem aparecem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber canais tributários de primeira, segunda e terceira ordens, e assim se processando sucessivamente.

Associada a este modo de classificação, temos a **análise morfométrica de bacias de drenagem**. De acordo com Christofolletti (1969, p. 36) “*Estudos envolvendo análise da rede hidrográfica podem levar à compreensão e à elucidação de numerosas questões geomorfológicas, pois os cursos d'água constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre*”. Dentro do escopo da morfometria fluvial, temos três grandes divisões para os estudos que são a análise altitudinal, análise linear e análise areal de bacias hidrográficas (Christofolletti, 1969). Nosso destaque irá para os dois últimos, que têm elementos que precisamos definir melhor, pois serão base para o desenvolvimento das análises durante o decorrer do trabalho.

Primeiramente, temos a **análise linear das bacias** (Christofolletti, 1969, p. 45), no qual utilizaremos a ordenação dos canais, relacionado com a hierarquização das bacias, em nosso

caso a ordenação proposta por Strahler, visto com detalhes no parágrafo anterior. Outros dois índices serão destacados, constantes da **análise areal das bacias** (Christofoletti, 1969, p. 38-41), e por fazerem parte de nosso estudo, temos que explicá-los mais detalhadamente, que são a densidade hidrográfica e a densidade de drenagem.

A **Densidade Hidrográfica (Dh)** foi primeiramente definida por Horton (1945 apud Christofoletti 1974, p.115), sendo “*a relação existente entre o número de rios ou cursos de água e a área da bacia hidrográfica, e sua finalidade é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão*” como a de uma bacia hidrográfica, como no nosso caso de estudo.

O cálculo da densidade hidrográfica é importante, segundo Christofoletti (1980, p. 115), pois representa o comportamento hidrográfico de determinada área através da capacidade de gerar novos cursos de água, que é uma possível atribuição da ação humana por meio da implantação de barragens, que é o escopo principal desta pesquisa. Esta análise se torna assim de importância destacada.

O outro parâmetro definido por Horton (1945 apud Christofoletti 1980, p.115), e também de destaque em nossa proposta, sendo necessário expor mais detalhadamente, é a **Densidade de Drenagem (Dd)**, que é um índice que correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Esta análise é importante, pois a partir dela pode-se verificar também prováveis influências da ação antrópica nas bacias, a partir do aumento do comprimento total dos canais dentro da bacia, que pode ser oriundo da implantação de usinas hidrelétricas, visto que pode ocorrer uma alteração no nível de base a partir da configuração de grandes obras de engenharia como é o caso das usinas hidrelétricas.

A densidade de drenagem, como afirma Strahler (1954 apud Christofoletti 1981, p.3) é aceita como uma das variáveis mais importantes no estudo morfométrico das bacias de drenagem, “*pois demonstra o grau de dissecação topográfica em paisagens elaborada pela ação fluvial*”. Ainda segundo Christofoletti (1981, p. 3), a densidade de drenagem apresenta funções de importância destacada, como, por exemplo, atuar como resposta a controles efetuados pelo clima, vegetação, litologia e outros atores físicos e também fatores antrópicos, além de influenciar no escoamento e no transporte de sedimentos. Desta forma, associando a estas alterações e controles descritos acima, a densidade de drenagem pode trabalhar como parâmetro para verificação de

alterações que possam ocorrer por conta de modificações ocasionadas no fornecimento de matéria e energia que passam pelo sistema (Christofoletti, 1981). Encarando desta maneira, pode assim ser um índice que responda com sensibilidade adequada a mudanças nas bacias de drenagem, especialmente aquelas de origem antrópica, em nosso trabalho.

5.5 Ação antrópica nas Bacias

Como complemento aos itens anteriores das bases teóricas desta monografia, achamos relevante uma breve explanação sobre a ação antrópica nas bacias hidrográficas, visto que este processo vem se avolumando a partir das últimas décadas, especialmente no que tange à construção de usinas hidrelétricas, que se configura como parte prioritária deste trabalho.

Uma posição de destaque nesta discussão vem de Ross (2003, p. 14), que nos diz que como *“toda causa tem seu efeito correspondente, todo benefício que o homem extrai da natureza certamente tem seus malefícios. Deste modo, parte-se do princípio de que toda ação humana no ambiente natural ou alterado causa algum impacto em diferentes níveis[...]”*. Com certeza podemos incluir neste caso acima a análise principal de nosso trabalho, que são as ações antrópicas, o geossistema, as bacias hidrográficas e sua análise e o equilíbrio dinâmico dos sistemas geomorfológicos, pois todos se encaixam neste contexto analítico.

Os projetos e implantação sejam de rodovias, ferrovias, indústrias, mineração, e outros, como as usinas hidrelétricas, são desta forma atividades que interferem sobremaneira no contexto dos **sistemas ambientais**, como definimos desta forma a bacia hidrográfica.

No campo de análise sobre a dinâmica fluvial, de acordo com Cunha (2001, p. 235), há um equilíbrio entre os rios e o seu fluxo, ocorrendo um balanço entre vários fatores, como sedimentação, erosão e transporte, mantendo certa proporção. Porém, este quadro pode ser alterado a partir da ação humana, seja pela alteração da dinâmica do uso das terras, como agricultura ou urbanização, e também a partir da construção de barragens, usinas hidrelétricas ou reservatórios. Podemos afirmar que nos últimos três séculos, notadamente a partir da segunda metade do século XX, a ação antrópica nas bacias de drenagem tem aumentado de forma

significativa, gerando uma cadeia de efeitos com diversas reações que por vezes tornam o quadro de dinâmica reinante na bacia irreversível (Cunha, 2001, p. 239).

Entrando no campo analítico mais específico da construção de barragens, vários contextos de alteração podem ocorrer, tanto a montante como a jusante do ponto represado, como diz Cunha (2001, p. 240), ao discorrer sobre influências nos rios a partir da construção de barragens, focando no trecho a montante, analisa que *“No trecho a montante da barragem, o nível de base local é levantado, alterando a forma do canal e a capacidade de transporte sólido [...] estendendo-se gradualmente para montante, ao longo dos perfis dos rios”*.

Além deste enfoque mais específico, temos também dois mais gerais, mas que devem ser descritos de forma a auxiliar na compreensão e ilustrar melhor as situações ocorrentes, que são, segundo Park e Knighton (1981, 1984 apud Cunha, 2001) modificações que ocorrem **diretamente** no canal fluvial para controle de vazão, armazenamento ou desvio de águas, e para alteração da forma do canal a partir de obras de engenharia, como no caso a implantação de barragens e usinas hidrelétricas, e outras obras para conter enchentes e promover extração mineral, como cascalho, areia e argila.

O outro grupo de alterações estabelece mudanças **indiretas** que acontecem a partir de ações humanas oriundas de fora da área do canal, mas que atuam na modificação da descarga e da carga que ocupa o rio. Estas ações se configuram a partir de desmatamento, agricultura e urbanização, prioritariamente.

Desta forma, a partir da demonstração teórica, exemplificando sobre as ações antrópicas dentro dos geossistemas, notadamente nas bacias de drenagem a partir da execução de projetos de usinas hidrelétricas, nos leva a conhecer melhor e chamar atenção da real necessidade de análise e estabelecimento de métodos científicos para mensurar a intervenção antrópica e assim direcionar ações de controle ambiental e organização espacial, a partir da afirmação da posição, que vem sendo constantemente corroborada, **do homem como agente geomorfológico**.

5.6 Justificando a teorização

Destacamos assim alguns aspectos teóricos que nortearam a elaboração da pesquisa a partir de uma breve revisão da literatura sobre alguns conceitos e processos de pesquisa que são parte intrínseca de nossa proposta de trabalho. Assim, a revisão de assuntos como a Teoria dos Sistemas Gerais, a Teoria do Equilíbrio Dinâmico, a definição de Geossistema, de Bacia Hidrográfica e das metodologias de análise morfométrica sobre a mesma e o papel da primeira como unidade de análise e gestão e a caracterização do homem como ator na geomorfologia e como integrante dos sistemas e seus processos, tem assim a intenção de facilitar o entendimento e a importância desta monografia.

6. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

6.1 O Município de Mira Estrela - SP

O município de Mira Estrela possui uma área de 217 Km² e está localizado na região Noroeste do Estado de São Paulo, nas coordenadas aproximadas 19°57' de latitude sul e 50°08' de longitude oeste, a uma altitude de 420 metros, possuindo população de 2.576 habitantes (IBGE, 2007).

Mira Estrela possui como limites territoriais:

- Ao norte o Estado de Minas Gerais (Iturama e São Francisco de Sales).
- Ao sul Macedônia;
- Ao leste Cardoso;
- Ao oeste Indiaporã.

A figura 4 mostra a localização de Mira Estrela no Estado de São Paulo:

Localização Geográfica do Município de Mira Estrela no Estado de São Paulo

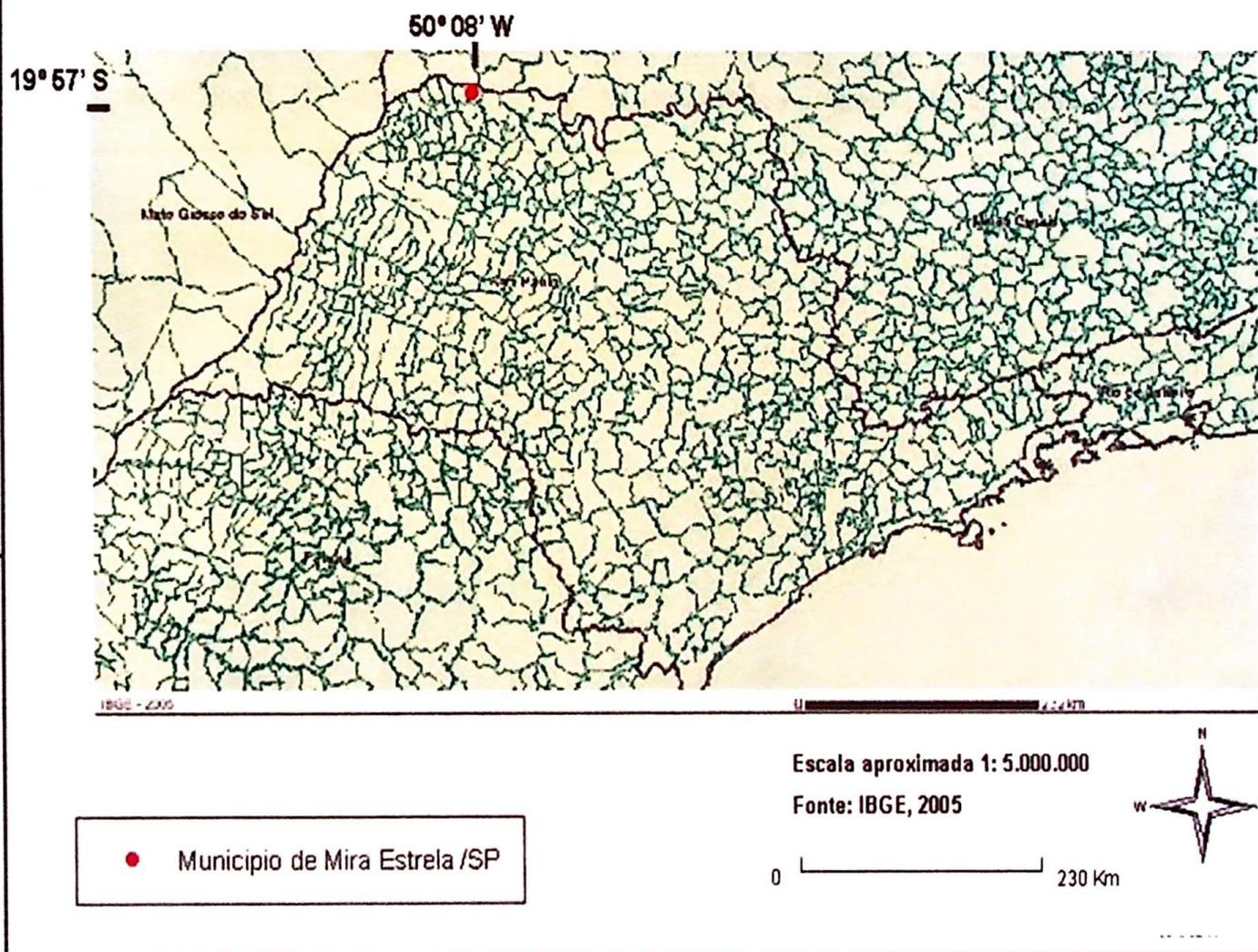


Figura 4: Localização do município de Mira Estrela – SP (Escala aproximada 1:5.000.000).

Para efeito de planejamento estadual, Mira Estrela integra Região Administrativa de São José do Rio Preto (Figura 5 Ilustrativa), e dentro desta, localiza-se na região de governo de Fernandópolis, composta de 11 municípios: Fernandópolis, Guarani D'Oeste, Indiaporã, Populina, Turmalina, Macedônia, Estrela D'Oeste, Pedranópolis, São João das Duas Pontes, Meridiano e **Mira Estrela**. A região de governo de Fernandópolis abrange uma área de 3.115 Km² e a área de Mira Estrela ocupa 6,71% do total da região, sendo a oitava colocada em extensão territorial.



Figura 5: Mapa da Região Administrativa de São José do Rio Preto. Fonte: IGC, 2003.

Com relação ao gerenciamento de recursos hídricos, Mira Estrela localiza-se na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (URGHI 15), como mostra a ilustração da Figura 6:

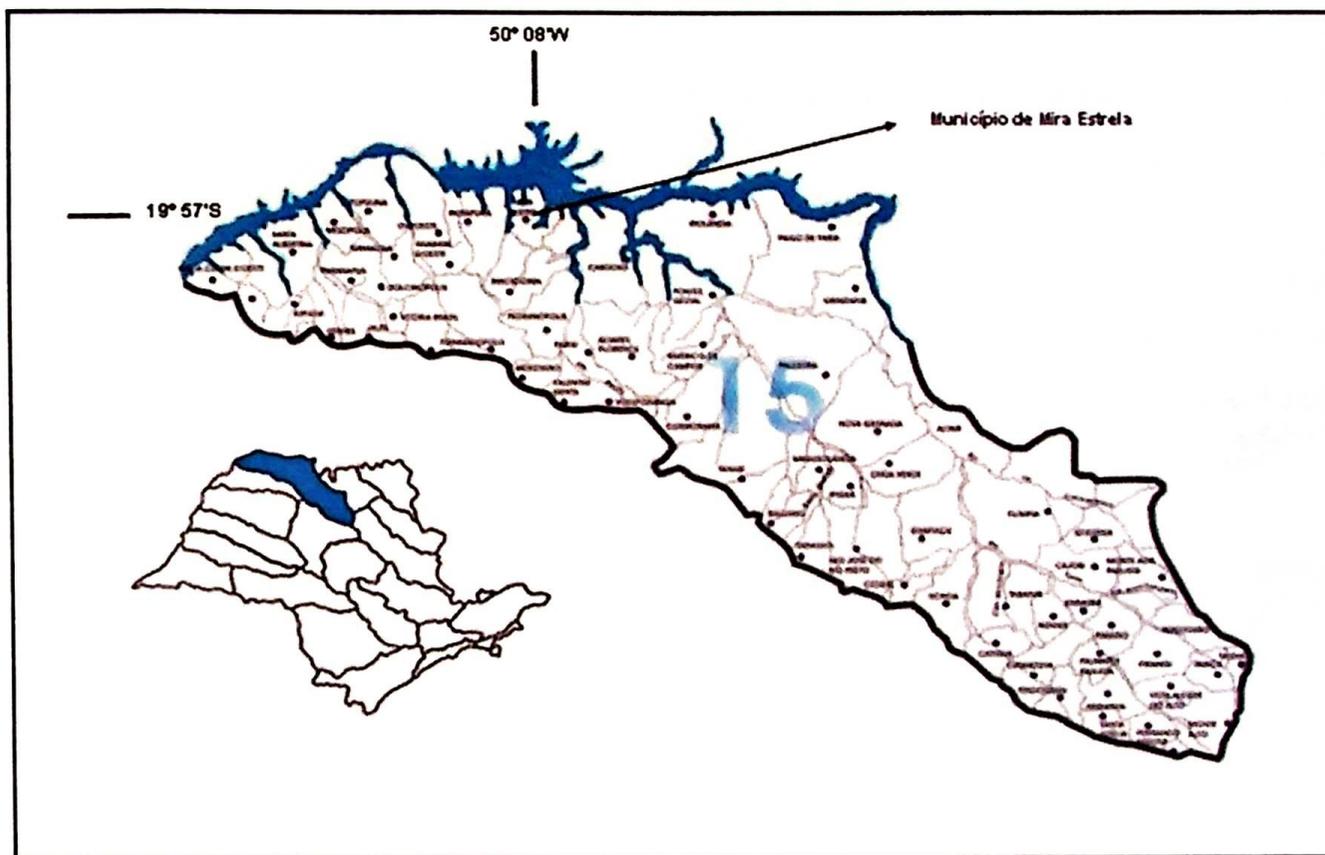


Figura 6: Mapa da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 15 (URGHI 15). Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo/Grande (CBH-TG).

Esta Unidade de Gerenciamento localiza-se na região Noroeste do Estado de São Paulo. Possui uma área de aproximadamente 15.925 km² (IPT/2004 apud CBH-TG, 2004), abrangendo 75 municípios, sendo 64 com sede na UGRHI, e 11 com sede em outras UGRHIs. A população dos 64 municípios com sede na UGRHI é de aproximadamente 1.117.250 habitantes (IBGE, 2000).

O município de Mira Estrela tem como principais cursos d'água, além do Rio Grande, cujo represamento formou o lago da Usina de Água Vermelha, o Ribeirão Pádua Diniz, o Córrego Taquari e o Córrego da Aroeira.

6.2 Usina Hidrelétrica de Água Vermelha

Para uma melhor caracterização da área e ligação com o objetivo de estudo desta monografia, que é a mensuração de possíveis alterações antrópicas em uma bacia hidrográfica, faz-se necessária uma breve caracterização e descrição do objeto que pode causar estas modificações, que é a referida usina, que a partir de sua implantação teve influência destacada na configuração das bacias hidrográficas do município de Mira Estrela e dos demais constituintes da região. A figura 7 mostra a barragem e a usina e no canto inferior direito tem-se localização da mesma.

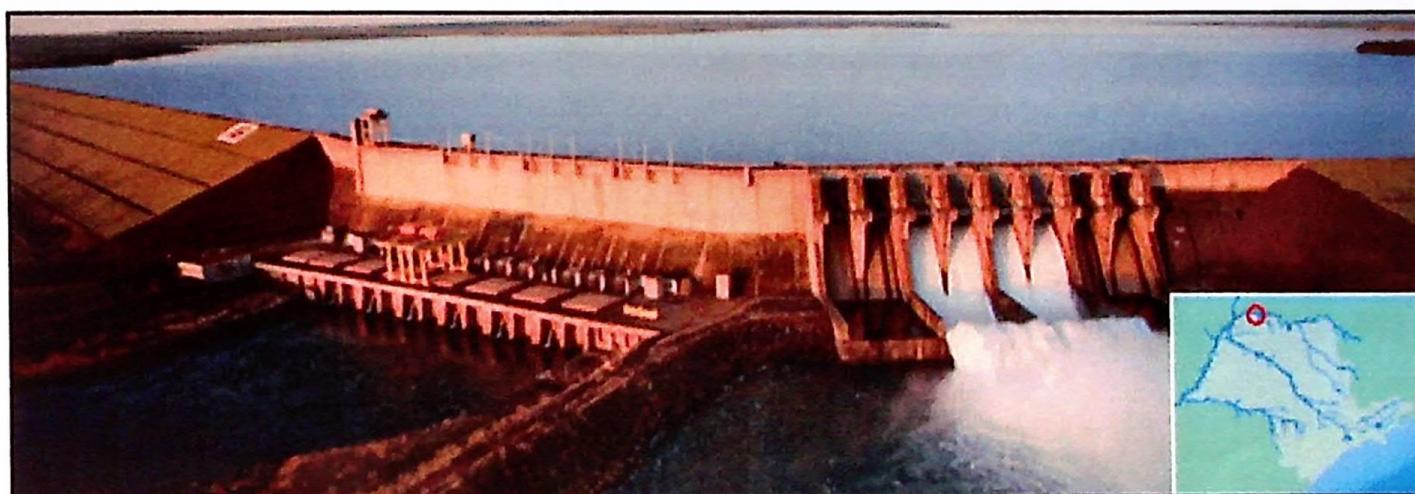


Figura 7: Foto da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha e mapa de sua localização. Fonte: www.aestiete.com.br

A usina Água Vermelha, com 1.396,20 MegaWatts de potência instalada, está localizada no Rio Grande, a 80 km da confluência com o Rio Paranaíba, e tem sua produção de energia destinada à região Sudeste. O local onde a usina foi construída denominava-se Cachoeira dos Índios e era formado também por várias quedas com nomes curiosos tais como: "Tombo das Andorinhas", "Caldeirão do Inferno", "Tombo dos Dourados", "Tombo das Três Pedras", Tombo da Fumaça "e" Véu de Noivas "(AES Tietê, 2008).

A montante desta cachoeira há vários afluentes que contribuíram para aumentar o volume de água do rio Grande, entre eles o córrego "Água Vermelha" e, em função do deságüe deste afluente ser de água barrenta (terra vermelha), proveniente de erosões, surgiu o nome "Água Vermelha".

As obras da usina foram iniciadas em 1973 e foram marcadas pelo emprego de avançadas técnicas de engenharia, e o início das operações deu-se em 22 de agosto de 1978. A barragem tem 3970 metros de extensão e a área útil do reservatório é de 647 km² possuindo um volume útil de água acumulado de cerca de 11 milhões de m³ (AES Tietê, 2008).

6.3 Bacia do Córrego da Aroeira

A bacia do Córrego da Aroeira, área de estudo deste trabalho, está situada entre as coordenadas 19° 52' e 19° 58' de latitude sul e 50° 06' e 50° 09' de longitude oeste, estando em sua totalidade localizada no município de Mira Estrela. A figura 8 apresenta a localização da bacia em estudo (interior da área delimitada pela linha em vermelho).

**Delimitação da Bacia Hidrográfica
do Córrego da Aroeira/SP**

50° 08' W

Reservatório da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha

Bacia Hidrográfica Córrego da Aroeira

Área urbana do município de Mira Estrela/SP

19° 57' S

19° 57' S

50° 08' W



Fonte: Embrapa, 2004

0 6 Km

Figura 8: Delimitação da Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira Mira Estrela-SP. Adaptada de Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004.

A bacia do Córrego da Aroeira possui uma área aproximada de 38 quilômetros quadrados, sendo que esta medição foi feita a partir da folha topográfica do município em escala 1:50.000 (IGG, 1965). Este processo está descrito em detalhes na seção 7 (Materiais e Métodos) desta monografia.

6.3.1 Aspectos físicos da área

A partir da análise dos mapas geológico, pedológico e geomorfológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 organizamos a caracterização dos aspectos físicos da bacia do Córrego da Aroeira e por consequência do município de Mira Estrela, visto que a referida bacia é pequena em área e assim este contexto engloba também o restante do município. A caracterização foi feita procurando estabelecer uma seqüência que foi desenvolvida a partir do levantamento básico de aspectos geológicos, passando pela descrição climática e pedológica, para a seguir mostrar a caracterização geomorfológica da área de estudo, como resultado da interação de fatores como geologia e clima, dentre outros. Como elemento importante, descreveremos também o tipo de drenagem dominante (escoamento e padrão de drenagem), a partir da caracterização geológica.

Esta ordem é de relevância, pois reflete as atuações tanto de formação estrutural quanto processuais dos diferentes componentes físicos do geossistema na configuração final da paisagem que nos propusemos a estudar, estabelecendo uma tentativa de análise integrada.

Inicialmente, a respeito da caracterização geológica da bacia, a partir das análises do IPT (1981), inserida na Bacia do Paraná, com origem no período Mesozóico, temos que a quase a totalidade da área encontra-se no Grupo Bauru, e dentro deste tem-se a Formação Adamantina (Ka), compondo assim a região com depósitos fluviais com predominância de arenitos finos e muito finos, podendo apresentar também cimentação e nódulos carbonáticos com lentes de siltitos arenosos e argilitos. A estratificação é na maioria plano – paralela e cruzada em pequeno e médio porte.

Nas margens do reservatório da Usina de Água Vermelha, ao noroeste e nordeste da bacia, embora não componham a área de nosso estudo, encontram-se também, de acordo com o mapeamento geológico (IPT, 1981), rochas vulcânicas do Grupo São Bento, Formação Serra Geral (JKsg), sendo estas um pouco mais antigas que as do Grupo Bauru, sendo originárias de derrames

basálticos, que posteriormente foram recobertos pelos sedimentos do Grupo Bauru e Formação Adamantina, e nestes pontos isolados da região aparecem em alguns locais, em especial às margens do lago da usina.

Quanto à caracterização climática da região, esta se caracteriza como clima tropical megatérmico, quase mesotérmico e sub-úmido. Possui duas estações bem distintas. O verão (novembro a março), além de muito quente com média das máximas diárias cerca de 31°C e sujeito a registros de 40°C, é também muito chuvoso, apresentando grandes excedentes de água (500 mm. em média), embora esteja muito sujeito ao fenômeno do “veranico”. O inverno (maio a agosto), além de razoavelmente frio (média das mínimas de 12 a 14°C e ocorrência de geadas pouco intensas, é muito seco, registrando, geralmente grandes déficits de água nos solos).

Como terceiro momento de nossa análise dos aspectos físicos, temos a caracterização pedológica da área da Bacia do Córrego da Aroeira e extrapolando para a área do município de Mira Estrela, temos a partir do mapa elaborado pelo IAC e Embrapa Solos em 1999, que na região em estudo constituem-se na grande maioria os Argissolos Vermelho – Amarelos (PVA 105), Eutróficos e Distróficos, com horizonte A moderado, textura média, em relevos suaves ondulados, conforme veremos na caracterização geomorfológica posteriormente.

Nas áreas próximas às margens do lago da usina, encontramos Latossolos Vermelhos (LV) englobando Latossolos Roxos e Latossolos Vermelho – Escuros, de caracterização Eutroférica e Distroférica, a partir de relevo plano e suave ondulado. Também podem ser encontrados nesta região Nitossolos Vermelhos Eutroféricos em relevo suave ondulado, como horizonte A moderado e chernozêmico com textura argilosa.

Desta forma, a partir da descrição geológica, climática e pedológica, visto que estas em conjunto determinam a caracterização geomorfológica, podemos caracterizar geomorfologicamente a área em estudo que engloba tanto a bacia do Córrego da Aroeira em especial, quanto a área do município de Mira Estrela, que conforme tratamos anteriormente, não pode ser desvinculada do contexto por ser uma região de pequena extensão territorial.

De acordo com Ross e Moroz (1996), temos que a região em estudo está inserida na Unidade Morfoestrutural denominada Bacia Sedimentar do Paraná, e subordinada a esta insere-se também na Unidade Morfoescultural número 13, o Planalto Centro Ocidental. Com relação às formas de relevo mais específicas, temos que a área se caracteriza pela composição de relevo em

denudação e formas de topos tabulares planos (Dt12) e colinas amplas e baixas como forma de relevo dominante. Esta caracterização, a partir da Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo existente no mapa geomorfológico (IPT, 1997), comporta um entalhamento dos vales fluviais muito fraco (menor que 20 metros de diferença altimétrica topo - leito), e uma dimensão interfluvial grande, variando entre 1750 e 3750 metros. A altimetria varia entre 300 e 600m e as declividades dominantes são entre 10 e 20%.

A partir da configuração acima mostrada, Ross e Moroz (op. cit.) caracterizam a área, com relação aos níveis de fragilidade potencial, como de Baixo Nível, pois é composta de formas com dissecação baixa, vales pouco entalhados e baixa densidade de drenagem, caracterizando um potencial erosivo baixo.

Como último elemento dos aspectos físicos, temos a caracterização da rede de drenagem, tanto no que diz respeito ao tipo de escoamento, quanto ao padrão de drenagem. A Bacia do Córrego da Aroeira estabelece escoamento tipo *exorréico* (Christofolletti, 1974), que se caracteriza pelo escoamento contínuo para o Rio Grande e deste para o Rio Paraná e posterior ao Oceano Atlântico, desembocando no nível marinho.

Com relação ao padrão de drenagem, podemos caracterizar a bacia em estudo como *dendrítica ou arborescente*, de acordo com Christofolletti (1980), pois o desenvolvimento se estabelece semelhantemente à “(...) *configuração de uma árvore. Utilizando-se dessa imagem, a corrente principal corresponde ao tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas*”. As confluências sempre se configuram em ângulos agudos de graduações variadas. Este padrão que compõe a região de estudo, ainda conforme Christofolletti (1980) desenvolve-se em substrato rochoso de resistência uniforme, ou em rochas sedimentares horizontais, sendo estes dois casos predominantes na área do município de Mira Estrela, conforme verificamos na caracterização geológica anteriormente mostrada.

6.3.2 Alguns aspectos de uso e ocupação atuais

A partir do mapeamento efetuado pela Embrapa (2004) utilizando imagens orbitais Landsat - TM e ETM, de órbita 222 ponto 074 em 12/08/01 foi feita a análise básica a fim de determinar uma generalização para os principais aspectos referentes ao uso e ocupação da terra atuais, no município de Mira Estrela e conseqüentemente na área da Bacia do Córrego da Aroeira, como podemos observar na Figura 9:

**Delimitação da Bacia Hidrográfica
do Córrego da Aroeira/SP**

50° 08' W

Reservatório da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha

Bacia Hidrográfica Córrego da Aroeira

Área urbana do município de Mira Estrela/SP

19° 57' S

19° 57' S

50° 08' W



Fonte: Embrapa, 2004

0 ————— 6 Km

Figura 9: Indicação de localização da área urbana do município de Mira Estrela-SP em comparação à Bacia do Córrego da Aroeira.
Adaptada de Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004.

De acordo com os modelos de interpretação proposta no mesmo trabalho citado anteriormente, podemos verificar na área de estudo de nossa monografia, delimitada nas figuras 8 e 9, que predomina a coloração rosa e vermelho, o que significa uma grande porcentagem, em torno de oitenta por cento, de áreas que sofreram desmatamentos e posteriormente se configuraram em solos preparados para plantio, culturas em estágio precoce de desenvolvimento e pecuária. Os dados do DAEE (2006) referentes à caracterização econômica das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (URGHIs) demonstram que a URGHI 15, onde se insere a área em estudo, possui cerca de noventa por cento de sua economia voltada para a agropecuária.

Podemos também observar alguns polígonos de coloração verde claro na área da bacia em estudo, que segundo a interpretação proposta pela Embrapa trata-se de culturas intensificadas, áreas irrigadas e pastagens de alta produtividade. Essa coloração indica uma grande atividade fotossintética. Podemos observar também alguns pequenos remanescentes florestais, que aparecem como “ilhas verdes” em alguns pontos do entorno da bacia do Córrego da Aroeira. A área urbanizada concentra-se praticamente apenas no entorno da sede do município de Mira Estrela.

7. MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 Proposta metodológica

A partir da discussão teórica efetuada e dos objetivos propostos anteriormente e da caracterização da área a ser estudada, a metodologia para a análise dos dados na bacia e obtenção dos resultados finais deste trabalho passa, sob o paradigma sistêmico, pela **delimitação do Geossistema** a ser investigado, que é a Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira, considerando sua **estrutura** (geologia, solos, declividade e geomorfologia) e associando a esta os **processos** que são desenvolvidos nela pelo sistema sócio-econômico, no caso a ação antrópica oriunda da implantação de uma usina hidrelétrica.

Estes processos que promoveram alterações na rede de drenagem do referido curso d'água no decorrer de uma periodização, que vai de antes da implantação da Usina de Água Vermelha, que se deu entre os anos de 1973 e 1978, até os dias atuais, quando se configura um contexto diferente nos aspectos concernentes à rede de drenagem da bacia em estudo, gerando uma nova complexidade ambiental.

Deste modo, para realizar com sucesso a mensuração das alterações que se apresentaram e explicitar como a ação antrópica se deu e poder relacioná-la ao comportamento da drenagem como um todo, se fez necessária uma comparação dos contextos da área referentes à morfometria fluvial (Densidade Hidrográfica e Densidade de Drenagem), tanto período de tempo anterior à construção da Barragem de Água Vermelha quanto contexto temporal atual, ao decorrer cerca de trinta anos onde a ação humana trabalhou e reconfigurou a região.

A escolha da bacia hidrográfica como unidade de análise e comparação visa dar mais propriedade ao estudo dos Geossistemas e sua associação com a ação antrópica, a partir da delimitação e caracterização da bacia e da aplicação de índices como os propostos no parágrafo anterior, que são meios importantes para avaliar a ação do homem na caracterização e nas condições ambientais do meio que nos propusemos a estudar.

7.2 Material cartográfico e fotográfico

Para o trabalho proposto foram necessários inicialmente, para estabelecer a caracterização geológica, geomorfológica e pedológica da bacia do Córrego da Aroeira, conforme consta no item 6.3.1 anterior, os mapas:

- 1 - Mapa Geológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1981.
- 2 - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1997.
- 3 - Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. Campinas: IAC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

Para a caracterização do uso atual da terra, descrita no item 6.3.2 anterior, foram utilizadas imagens orbitais disponíveis no site da Embrapa Monitoramento por Satélite (2004) utilizando imagens orbitais Landsat - TM e ETM, de órbita 222 ponto 074 em 12/08/01.

Posteriormente, para delimitação da bacia e caracterização no período anterior à implantação da Usina de Água Vermelha foi feita pesquisa no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e selecionadas 16 fotografias aéreas, que foram digitalizadas em formato TIFF, da área em estudo datadas do ano de 1971, na escala aproximada 1:25.000.

Também foi obtida a carta topográfica escala 1: 50.000 do município de Mira Estrela – SP, de nomenclatura SE-22-Z-C-V-4 (IGG-SP, 1965), sendo esta em projeção UTM com equidistância das curvas de nível em 10 metros. A referida carta, como as fotografias aéreas, foi digitalizada em formato TIFF, para as análises a serem explicitadas no item 8, onde tratamos dos procedimentos.

Para as análises com foco no período atual da região de estudo, foram utilizadas imagens do software Google Earth, obtidas em 05/06/2008, na escala 1:25.000 totalizando três imagens do ano de 2008 da área de estudo.

7.3 Apoio computacional

Foi utilizado microcomputador e o Software ArcGis®, em especial seus programas constituintes ArcMap®, ArcCatalog® e ArcScene® com vistas à efetuar na prática as análises propostas e produção de mapeamento temático específico. Também foi utilizado o software Google Earth® versão 4.3 para obtenção das imagens atuais da área.

7.4 Amostras Circulares

Para a determinação de índices como os propostos neste trabalho, que são a Densidade Hidrográfica (Dh) e a Densidade de Drenagem (Dd), e efetuar comparações dos contextos anteriores e posteriores à implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, se fez necessária a aplicação da metodologia de amostragem circular.

Esta metodologia tem se mostrado eficaz no trabalho com fotografias aéreas e imagens orbitais, como é o caso deste trabalho, pois a partir destes podemos, com a aplicação deste tipo de amostragem, determinar como precisão e homogeneidade tanto alterações na quantidade de canais de primeira ordem quanto alterações no comprimento destes, pois se trata de áreas fixas e rigorosamente determinadas onde as comparações temporais podem encontrar mais sucesso.

De acordo com Rossi (1999) o estudo da amostragem circular proporciona uma melhor descrição e demarcação dos componentes fluviais a serem estudados, melhorando tanto a compreensão dos padrões de drenagem quanto as relações do comprimento e quantidade dos canais com aspectos pedológicos e geológicos da área em estudo, por tratar-se de amostras determinadas em coordenadas geográficas constantes e que assim podem ser aplicadas em diferentes épocas, como no caso da proposta desta monografia, que compara uma bacia antes e após o estabelecimento de uma usina hidrelétrica.

A sistematização a partir de amostras circulares, ainda conforme Rossi (1999) pode caracterizar-se como instrumento relevante no estudo de recursos naturais, como é o caso das bacias hidrográficas, em especial nas regiões distantes ou de difícil acesso, onde não se pode ou se têm dificuldades em realizar levantamentos de campo. Associado a isso, a amostragem circular

também pode auxiliar, no caso de trabalhos de campo, na delimitação das áreas de estudo e, por conseguinte maior precisão em levantamentos pedológicos e geológicos, nas associações destes à rede de drenagem e sua evolução, tornando-se assim ferramenta de grande valia para os estudos morfométricos das bacias hidrográficas, como é o caso deste trabalho.

Para a aplicação prática em nossa área de estudo, o Córrego da Aroeira, foram utilizadas 12 amostras circulares de 2,5 quilômetros quadrados de área, sendo que a descrição deste processo encontra-se nos itens seguintes referentes ao cálculo dos índices morfométricos propostos.

8. Procedimentos

8.1 Córrego da Aroeira em 1971

8.1.1 Delimitação da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971

Para esta parte do trabalho, que teve como foco a delimitação da bacia, traçado de rede de drenagem e cálculo dos índices morfométricos referentes ao contexto anterior à implantação da usina hidrelétrica de Água Vermelha, foi inicialmente utilizada a carta topográfica SE-22-Z-C-V-4 (IGG-SP, 1965), escala 1:50.000 datada de 1965 digitalizada em formato TIFF, que foi inserida no software ArcMap® e georreferenciada utilizando as ferramentas **Define Projection** e **Georeferencing**, sendo primeiramente a carta adaptada à projeção UTM, Datum Córrego Alegre, zona 22 .

Após este processo, foram escolhidas quatro fotografias aéreas de 1971 na escala 1:25.000 fornecidas pelo IAC dentre as dezesseis originais, que abarcavam a totalidade da Bacia do Córrego da Aroeira e estas também foram georreferenciadas estabelecendo um mosaico. Posteriormente, foram criados *Shape Files* tipo “Polyline” denominados “**Drenagem em 1971**” e outros tipo “Polygon” denominados “**Delimitação da bacia**” e “**Rio Grande em 1971**”, e estes foram estabelecidos sobre a carta e o mosaico acima dela, e então foram traçadas, a partir do mosaico de fotos, a drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971, e área da bacia, utilizando a ferramenta **Editor**, produzindo o mapa da **Figura 10** que podemos verificar a seguir.

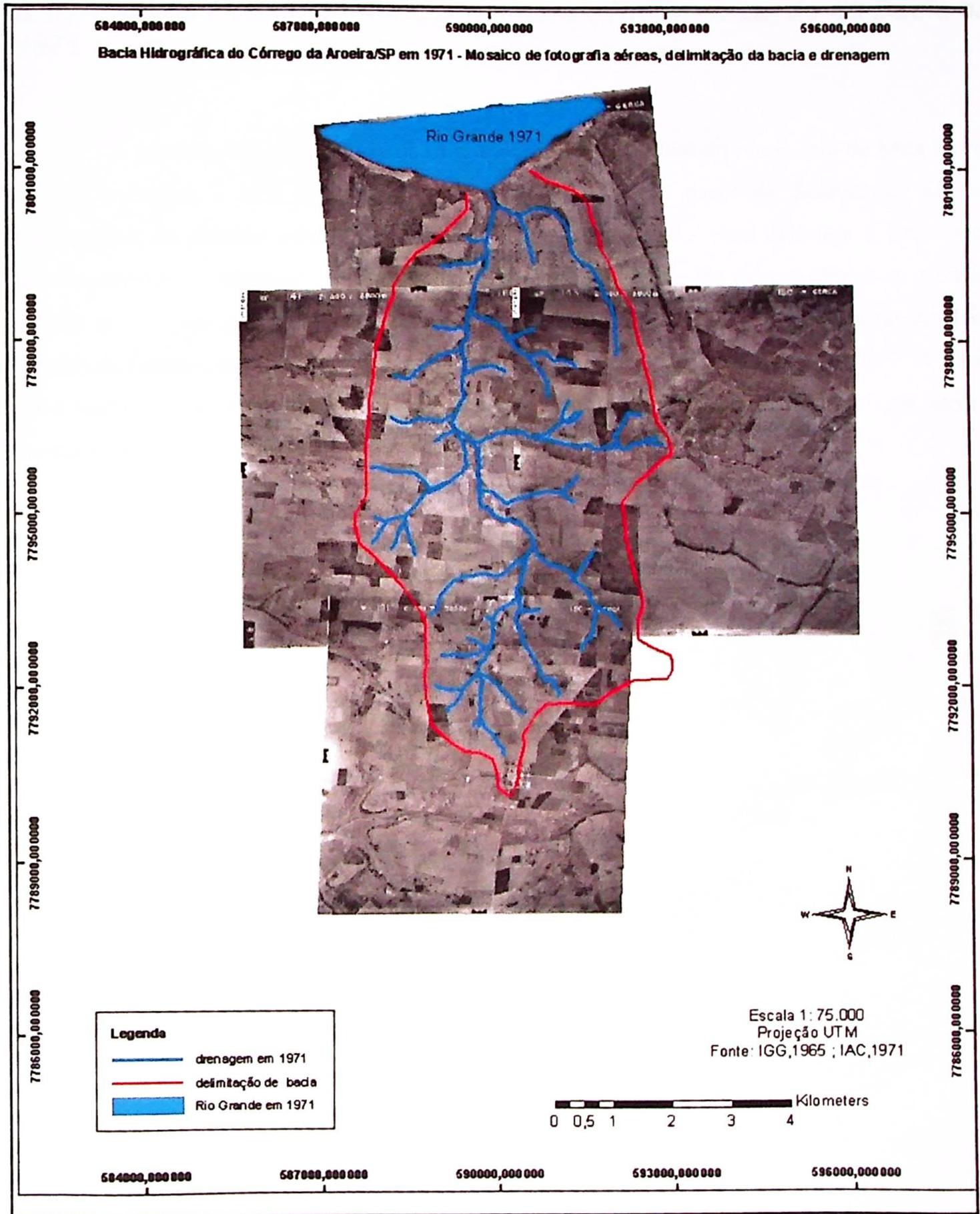


Figura 10: Mosaico de fotografias aéreas e drenagem da bacia em estudo (1971).

8.1.2 Cálculo Manual da Área, Drenagem e Hierarquização da Bacia em 1971

A partir do estudo e análise da carta topográfica 1: 50.000 do município de Mira Estrela-SP, foi calculada a área da bacia do Córrego da Aroeira, a partir da delimitação da bacia hidrográfica do referido curso d'água. Foi utilizado papel vegetal para delimitar a bacia e este posteriormente foi adaptado ao papel milimetrado para a medição da área, e obteve-se o total de 38, 36 quilômetros quadrados. O mesmo valor foi encontrado a partir do cálculo no ArcGis®, através da ferramenta "Calculate Geometry", a partir do *shape* "Delimitação da Bacia". A **Figura 11** a seguir mostra a configuração da drenagem e a área da bacia em 1971, obtidas a partir do mosaico de fotografias aéreas anteriormente visto.

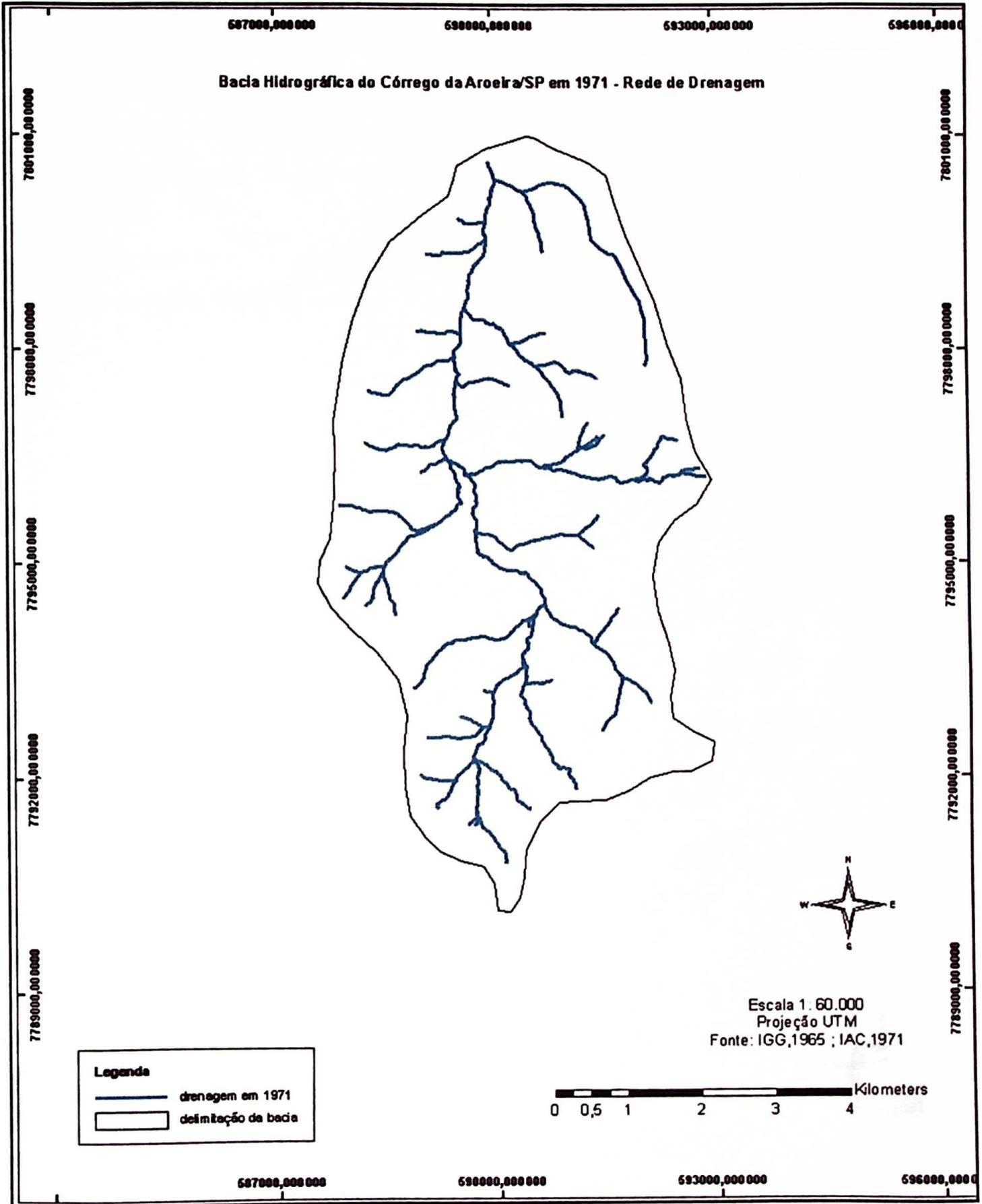


Figura 11: Mapa da drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971. Fonte: fotos aéreas do IAC.

Num segundo momento, a partir da reconstituição da drenagem a partir das fotografias aéreas de 1971 (IAC) em escala 1:25.000 foi contabilizado o número de canais e feita a ordenação a partir da metodologia proposta por Strahler (1952), gerando assim a hierarquia da bacia em questão. Utilizando o software ArcGis®, a partir da drenagem traçada de acordo com as fotografias em mosaico foram assim estabelecidos os canais de primeira, segunda e terceira ordens e também a hierarquia fluvial, conforme o mapa da **Figura 12**. Foram encontrados os seguintes resultados:

- Total de canais de primeira ordem no ano de 1971: **41**.
- Ordem da bacia: **Terceira ordem**.

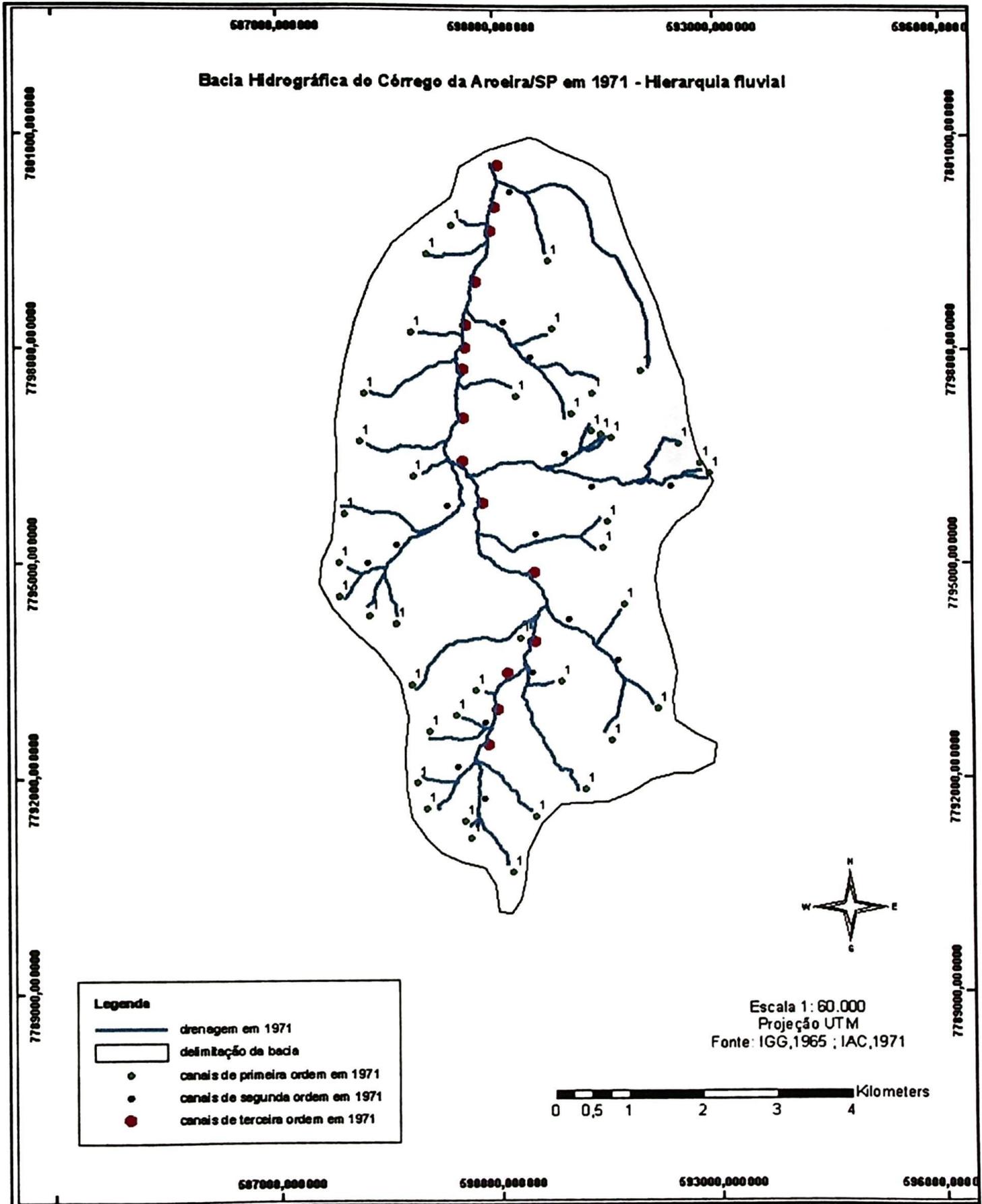


Figura 12: Mapa da Hierarquia fluvial do Córrego da Aroeira em 1971.

8.1.3 Declividade e Hipsometria relacionadas à drenagem de 1971

A partir das curvas de nível traçadas digitalmente, em um Shape denominado “curvas de nível”, aplicando a drenagem de 1971, foram elaboradas no ArcGis® a carta de declividade, com os intervalos de classes em inferior a 3% , 3 a 6 %, 6 a 12%, 12 a 20%, e acima de 20%, como mostra o mapa da **Figura 13** e também a carta hipsométrica, mostrada no mapa da **Figura 14** , ambos a seguir, utilizando a ferramenta **3D Analyst**.

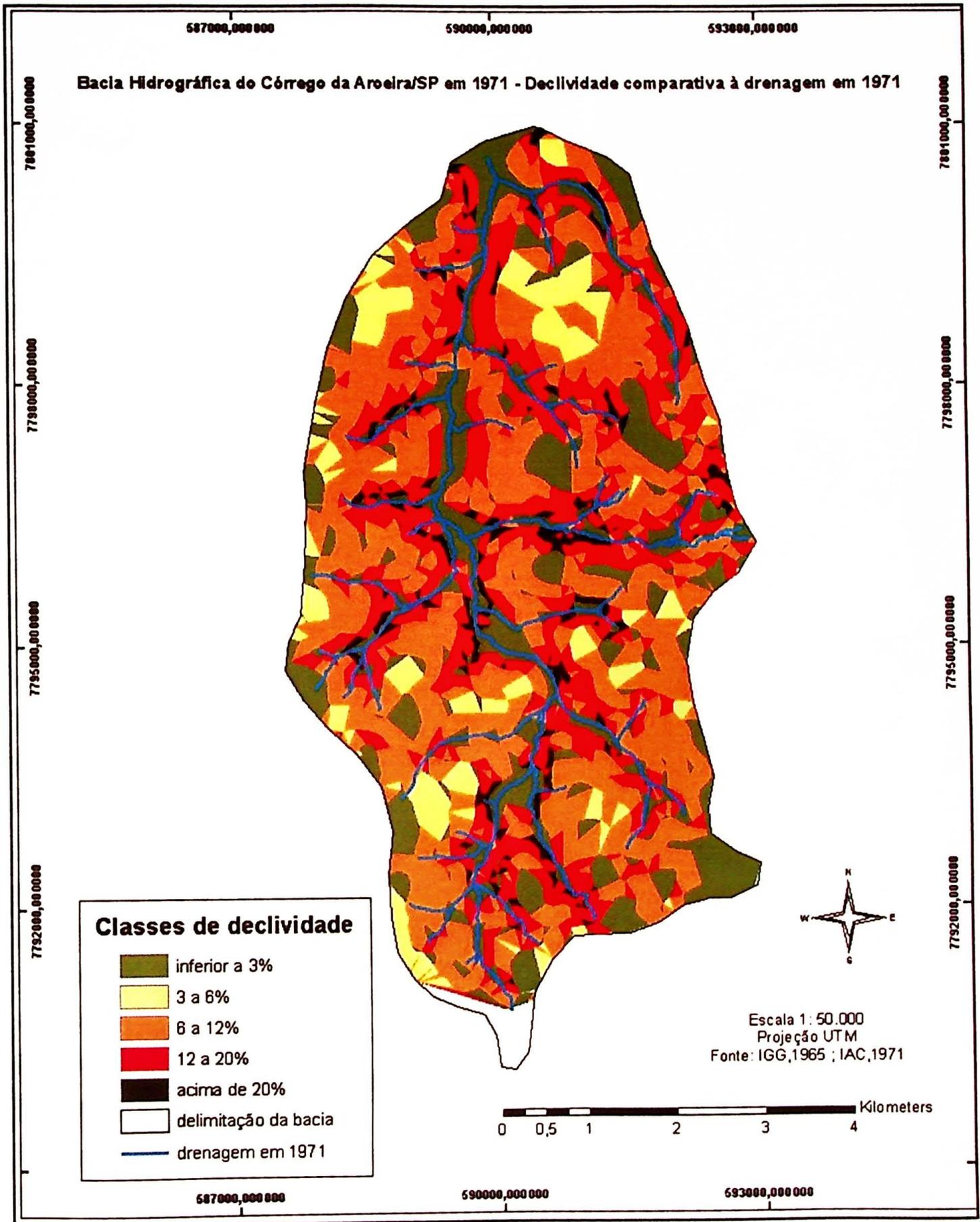


Figura 13: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira/SP em 1971 - Mapa de declividades.

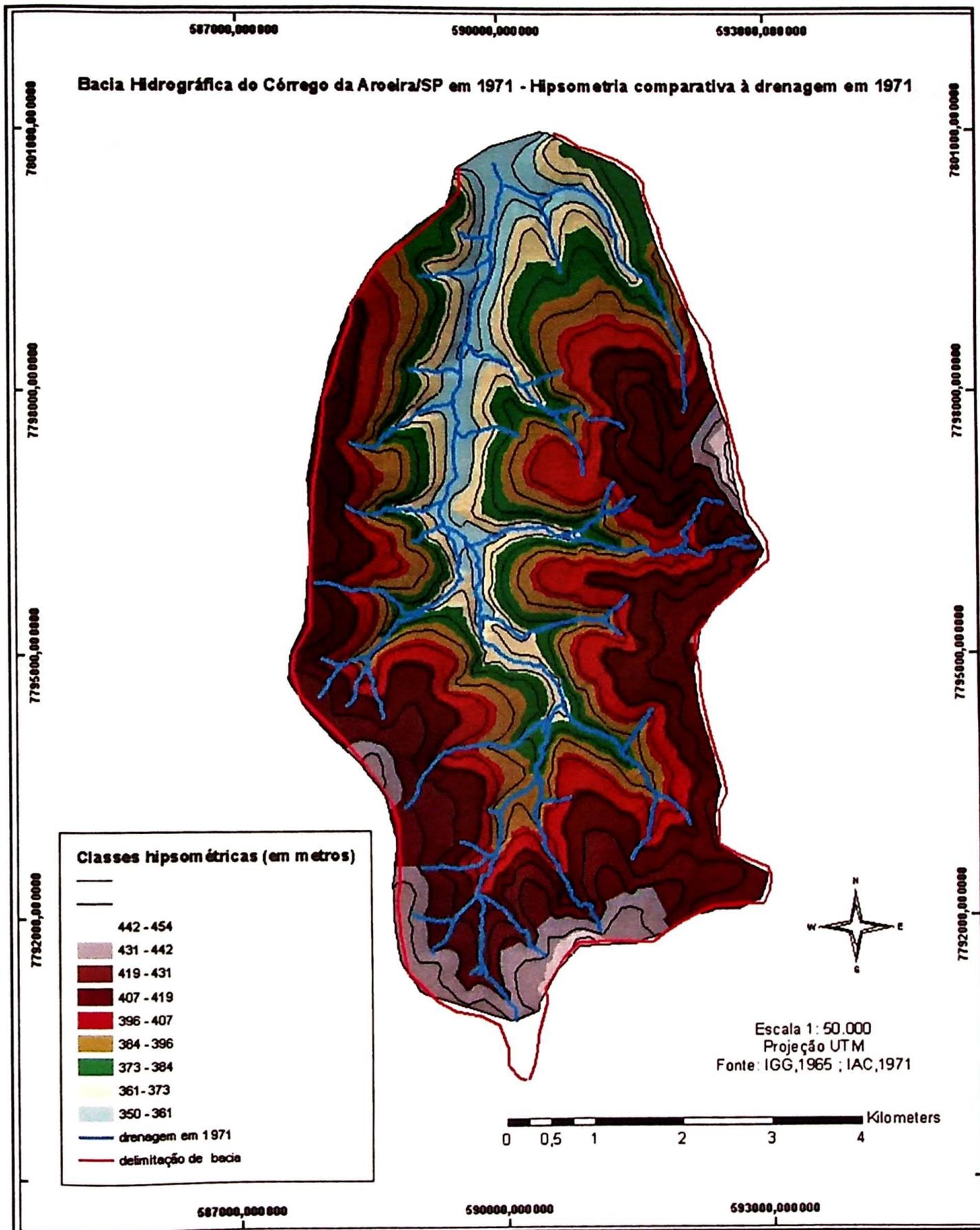


Figura 14: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira/SP em 1971 – Mapa hipsométrico.

8.1.4 Densidade Hidrográfica em 1971

Por fim, a partir do traçado da drenagem estabelecido anteriormente por sobre o mosaico, foi aplicada a amostragem circular referente a 1971 (anterior à implantação da usina), a partir da ferramenta “Buffer” do ArcGis®, obtendo 12 amostras circulares de 2,5 quilômetros quadrados de área, conforme mostra o mapa da **Figura 15**. Dentro da área de cada amostra, foi contabilizado o número de canais de primeira ordem e calculada a densidade hidrográfica (Dh), ou frequência de rios, a partir da expressão original definida por Horton (1945 apud Christofolletti 1980), onde temos:

$Dh = N / A$, onde **Dh** é a densidade hidrográfica ou frequência de rios; **N** é o número de canais de primeira ordem ou cursos d’água e **A** é a área da amostra circular.

Estes dados obtidos foram depois organizados na **Tabela 1** seguinte com a Densidade Hidrográfica (Dh) ou frequência de rios em 1971, data anterior à implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, por amostra.

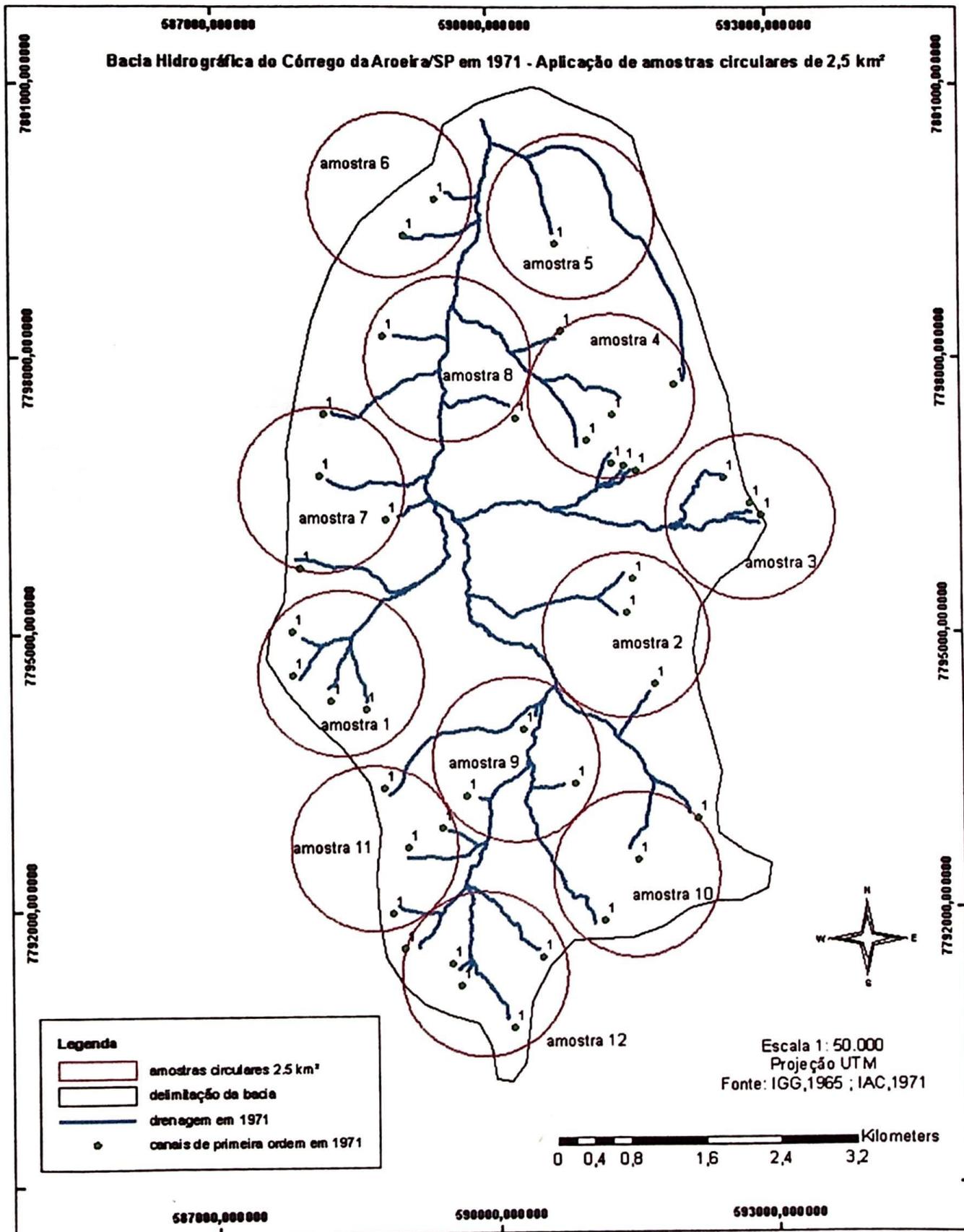


Figura 15: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 1971 e aplicação de amostras circulares.

Tabela 1: Densidade Hidrográfica da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela / SP em 1971.

Amostra	Área da amostra (Em Km²)	Quantidade de canais de primeira ordem	Densidade Hidrográfica (Dh)
1	2,5	4	1,6
2	2,5	3	1,2
3	2,5	3	1,2
4	2,5	7	2,8
5	2,5	1	0,4
6	2,5	2	0,8
7	2,5	4	1,6
8	2,5	2	0,8
9	2,5	3	1,2
10	2,5	3	1,2
11	2,5	4	1,6
12	2,5	5	2,0
Total de canais 1971	41		
Área da bacia(Km²)	38,36		
Dh total da Bacia em 1971	1,06		

Num segundo momento, a partir da totalidade de canais de primeira ordem presentes na bacia (total de 41) e da área total da mesma calculou-se a Densidade Hidrográfica (Dh) total da Bacia do Córrego da Aroeira em 1971, obtendo o valor total da Dh = 1,06.

8.1.5 Densidade de Drenagem em 1971

A partir da mesma amostragem circular anteriormente descrita e aplicada no cálculo da Densidade Hidrográfica, foi também calculada a densidade de Drenagem (Dd), a partir da definição de Horton (1945 apud Christofolletti 1980), como segue:

$Dd = L / A$, onde Dd significa a densidade de drenagem; L é o comprimento total dos canais de primeira ordem dentro de cada amostra circular e A é a área da amostra circular.

Desta forma, foi calculada a somatória do comprimento de todos os componentes fluviais de primeira ordem dentro de cada amostra circular de 1971 em estudo, utilizando a ferramenta do ArcGIS® “Calculate Geometry” estabelecendo os seguintes resultados na **tabela 2** a seguir:

Tabela 2: Densidade de Drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela-SP em 1971.

Amostra	Área da amostra (Em Km ²)	Comprimento dos canais de primeira ordem (em metros)	Densidade de Drenagem (Dd)
1	2,5	1944	0,77
2	2,5	1077	0,43
3	2,5	1757	0,70
4	2,5	2673	1,06
5	2,5	910	0,36
6	2,5	1008	0,40
7	2,5	1906	0,76
8	2,5	1446	0,57
9	2,5	666	0,26
10	2,5	1699	0,66
11	2,5	1278	0,51
12	2,5	2691	1,07
Comprimento dos canais 1ª ordem 1971(em m)	19055		
Área das amostras (Km²)	30		
Dd total das amostras 1971	0,63		

O cálculo da Densidade de Drenagem total da bacia (Tabela 2) baseou-se no comprimento dos canais de primeira ordem dentro da somatória da área total das amostras circulares, pois o comprimento dos demais componentes fluviais da bacia não foi calculado neste trabalho, visto que a análise se deu com ênfase na amostragem.

8.2 Córrego da Aroeira em 2008

8.2.1 Delimitação da Bacia do Córrego da Aroeira em 2008

Para esta parte do trabalho, que teve como foco o traçado da rede de drenagem, hierarquia fluvial e cálculo dos índices morfométricos referentes ao contexto posterior à implantação da usina hidrelétrica de Água Vermelha, foi também utilizada a carta topográfica SE-22-Z-C-V-4 (IGG-SP, 1965), escala 1:50.000 datada de 1965 digitalizada em formato TIFF, que anteriormente inserida no software ArcMap® e georreferenciada utilizando as ferramentas **Define Projection e Georeferencing**, sendo primeiramente a carta adaptada à projeção UTM, Datum Córrego Alegre, zona 22 .

A partir da carta topográfica, foi utilizado o software **Google Earth®** e selecionadas três imagens atuais da área em questão e estas também foram georreferenciadas e posteriormente colocadas em um mosaico, e a partir deste foram criados *shapes*, sendo um do tipo “Polyline” denominado “Drenagem em 2008” e outros dois tipo “Polygon” chamado “**Área inundada pela represa**” e “**Lago da Usina Água Vermelha em 2008**”, sendo unidos à delimitação da bacia para configurar o mapa da **Figura 16**, estabelecendo o contexto atual da Bacia do Córrego da Aroeira, com a criação do lago da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, a atual configuração da drenagem e área da bacia inundada pela represa.

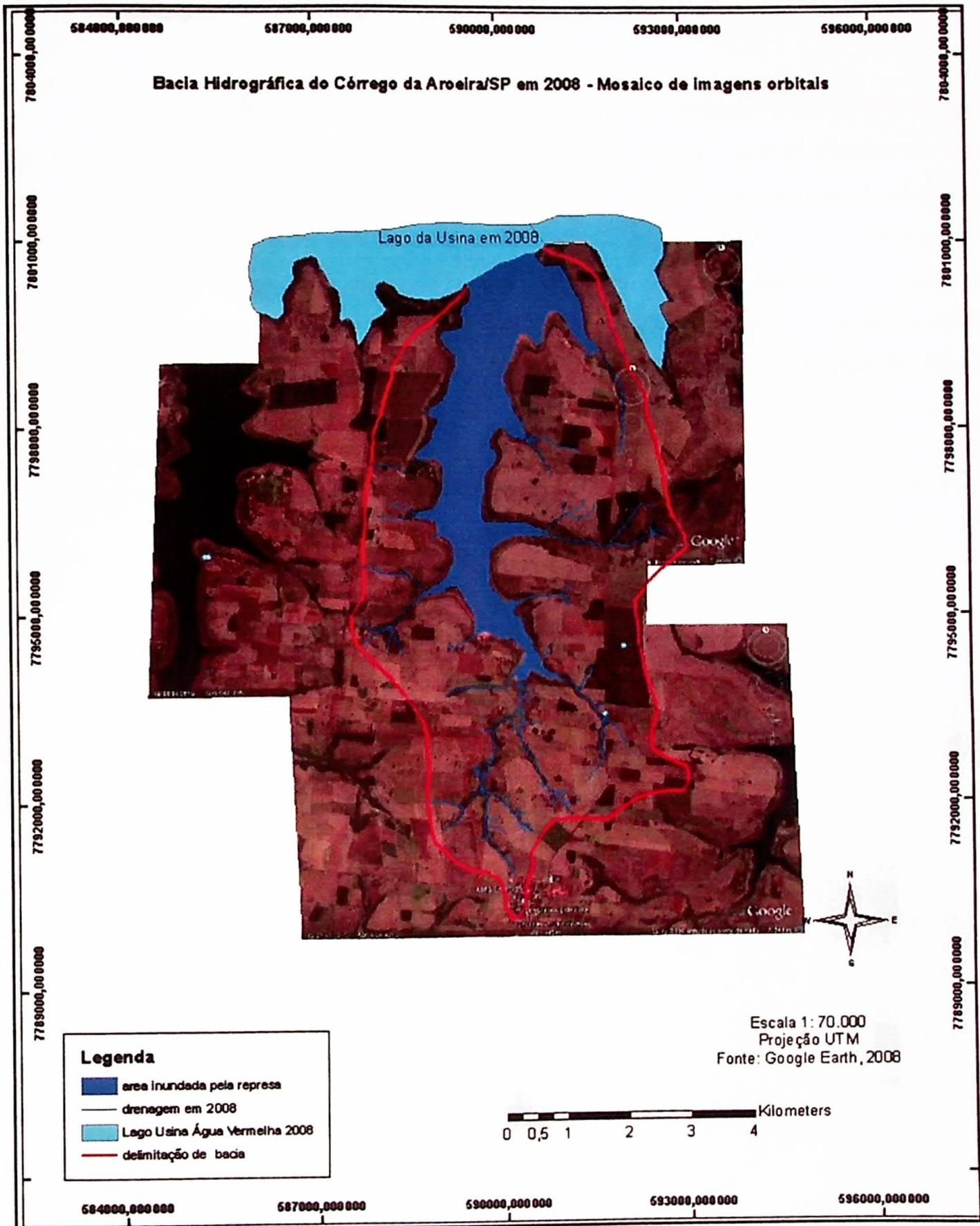


Figura 16: Mosaico de imagens orbitais e drenagem da bacia em estudo (2008).

8.2.2 Drenagem e Hierarquização da bacia em 2008

Num segundo momento, a partir da reconstituição da drenagem baseada nas imagens orbitais de 2008 em escala 1:25.000, primeiramente foi produzido o mapa da **Figura 17**, onde verificamos a rede de drenagem atual da bacia, criada a partir dos *shapes* referentes à drenagem, área da bacia e área inundada pela represa. Posteriormente, a partir destes, foi contabilizado o número de canais de primeira, segunda e terceira ordens e feita a ordenação a partir da metodologia proposta por Strahler (1952), gerando assim a hierarquia fluvial da bacia em 2008. Utilizando o software ArcGis®, foi montada a hierarquia gerando o mapa da **Figura 18**. Foram encontrados os seguintes resultados:

- Total de canais de primeira ordem no ano de 2008: 65.
- Ordem da bacia: Terceira ordem.

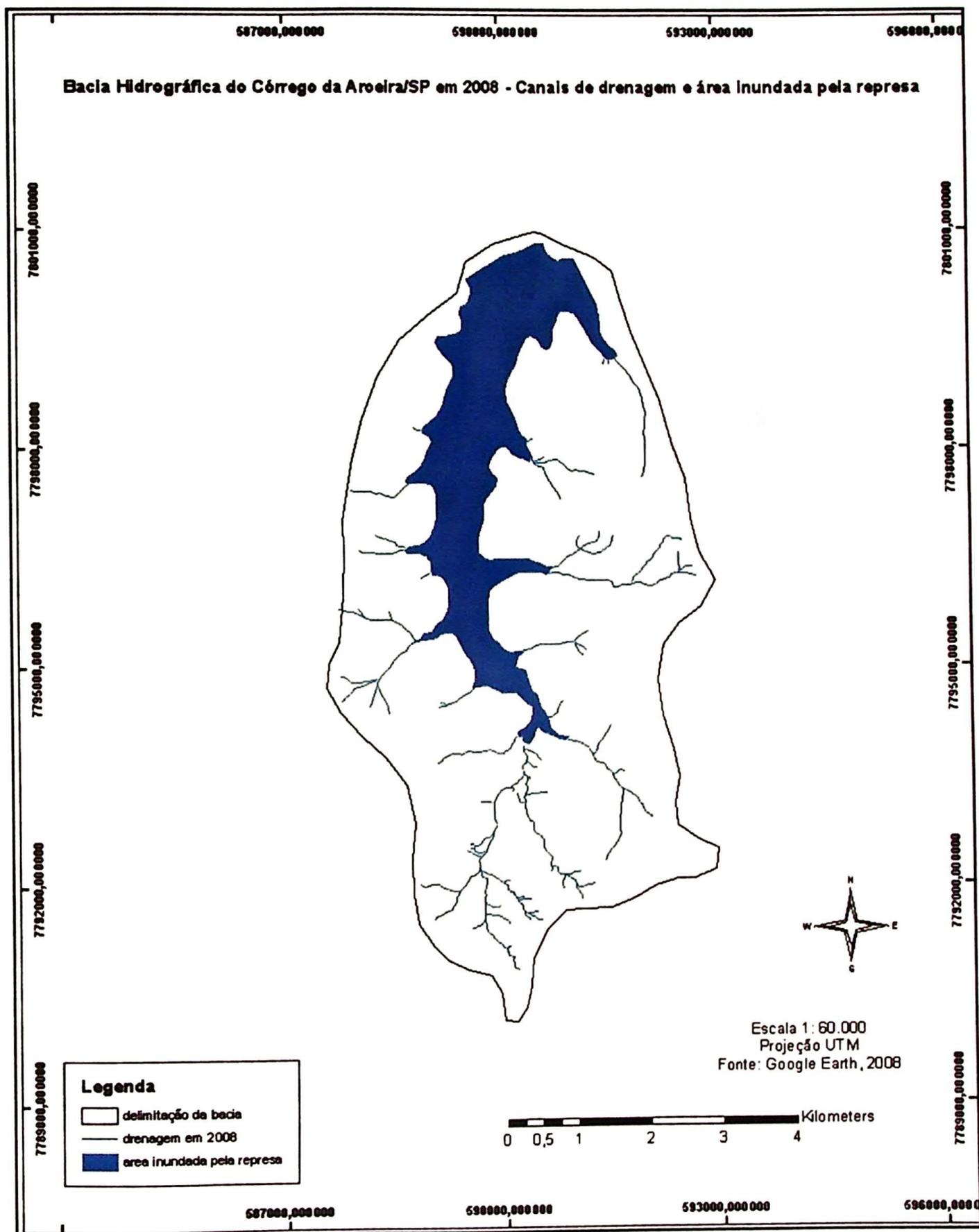


Figura 17: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira – SP: rede de drenagem em 2008.

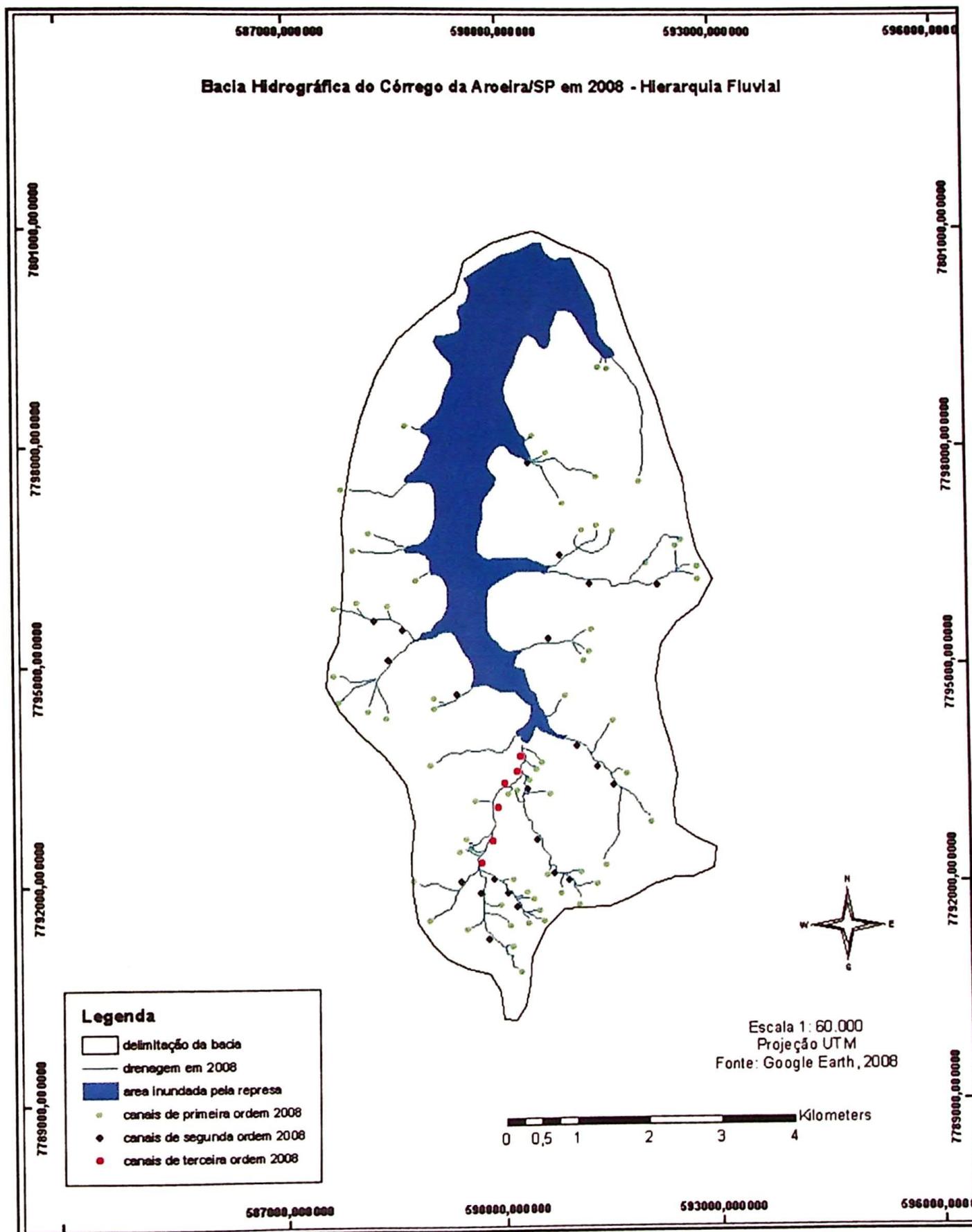


Figura 18: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira-SP: hierarquia fluvial em 2008

8.2.3 Declividade e Hipsometria relacionadas à drenagem de 2008

A partir das curvas de nível traçadas digitalmente como descrevemos no item 8.1.3, aplicando a drenagem de 2008, foram refeitas no contexto de 2008 a carta de declividade, com os intervalos de classes de em inferior a 3% , 3 a 6 %, 6 a 12%, 12 a 20% e acima de 20%, como mostra o mapa da **Figura 19** e também a carta hipsométrica, mostrada no mapa da **Figura 20**, ambas a seguir, utilizando a ferramenta **3D Analyst**.

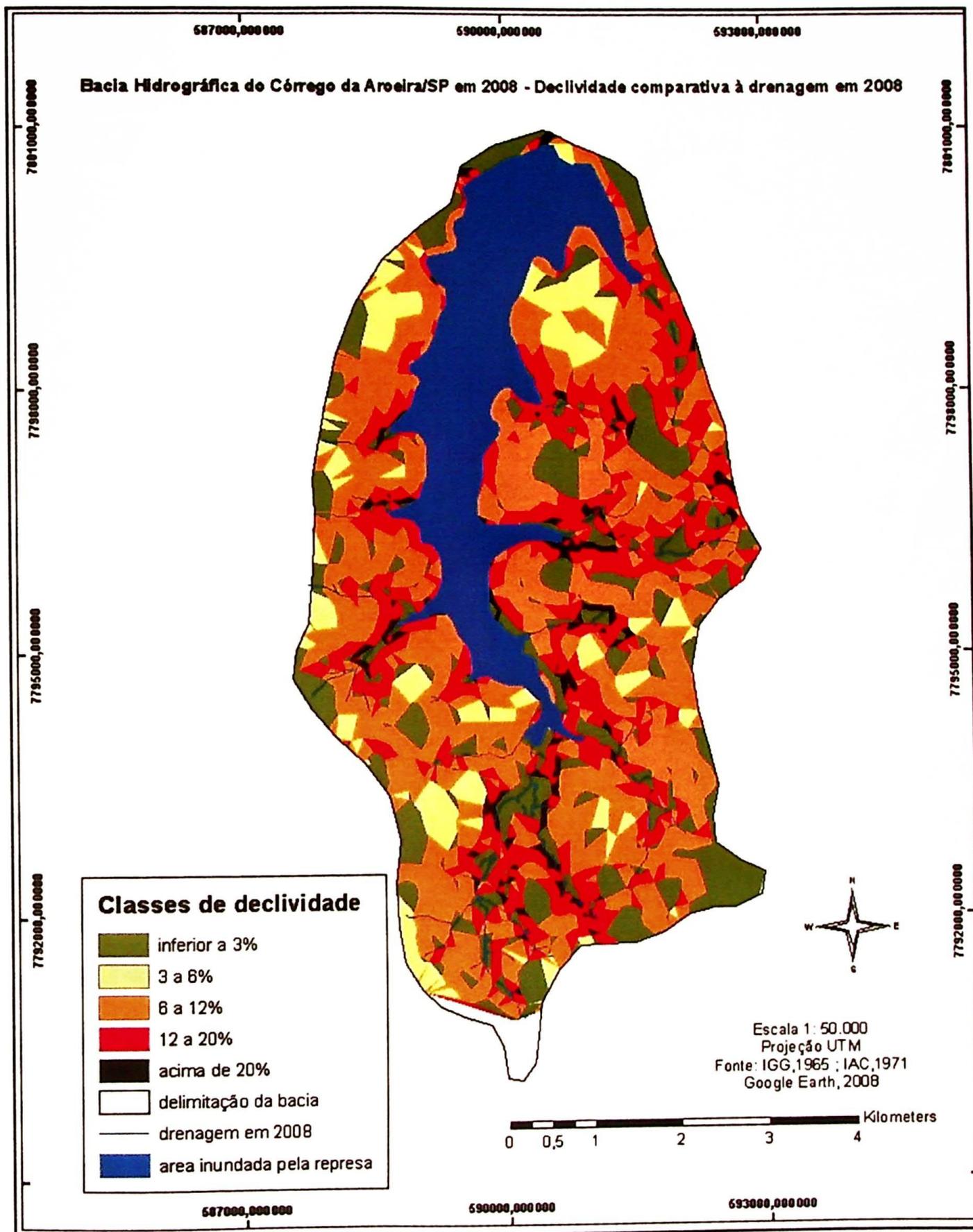


Figura 19: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 – Mapa de Declividade.

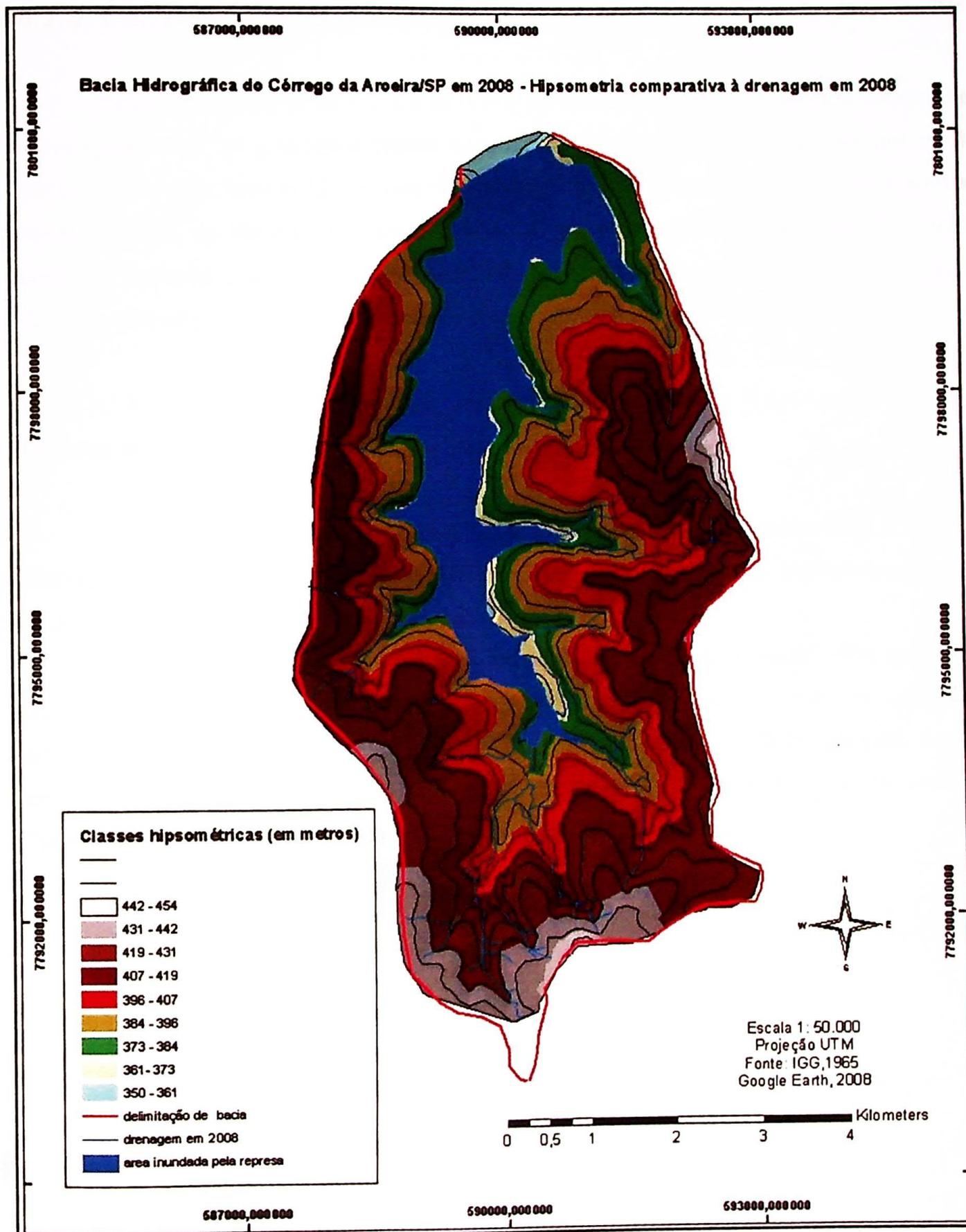


Figura 20: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 – Mapa hipsométrico.

8.2.4 Densidade Hidrográfica em 2008

Novamente, a partir do traçado da drenagem referente a 2008 estabelecido anteriormente sobre o mosaico, foi aplicada a mesma amostragem circular anterior, exatamente nos mesmos pontos de controle, com as 12 amostras circulares de 2,5 quilômetros quadrados de área, conforme mostra o mapa da **Figura 21**. Dentro da área de cada amostra, foi contabilizado o número de canais de primeira ordem e calculada a densidade hidrográfica (Dh), ou frequência de rios, a partir da expressão original definida por Horton (1945 apud Christofolletti 1980), onde temos:

$Dh = N / A$, onde Dh é a densidade hidrográfica ou frequência de rios; N é o número de canais de primeira ordem ou cursos d'água e A é a área da amostra circular.

Estes dados obtidos foram depois organizados na **Tabela 3** seguinte com a Densidade Hidrográfica (Dh) ou frequência de rios em 2008, data posterior à implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, por amostra.

Num segundo momento, a partir da totalidade de canais de primeira ordem presentes na bacia (sendo 63 das amostras mais outros 2 que não puderam ser inseridos nelas por conta de não alterar a posição das mesmas, totalizando 65) e da área total da mesma (38,36 Km²) anteriormente calculada calculou-se a Densidade Hidrográfica (Dh) total da Bacia do Córrego da Aroeira em 2008, obtendo o valor total da $Dh = 1,69$ referente à situação de 2008.

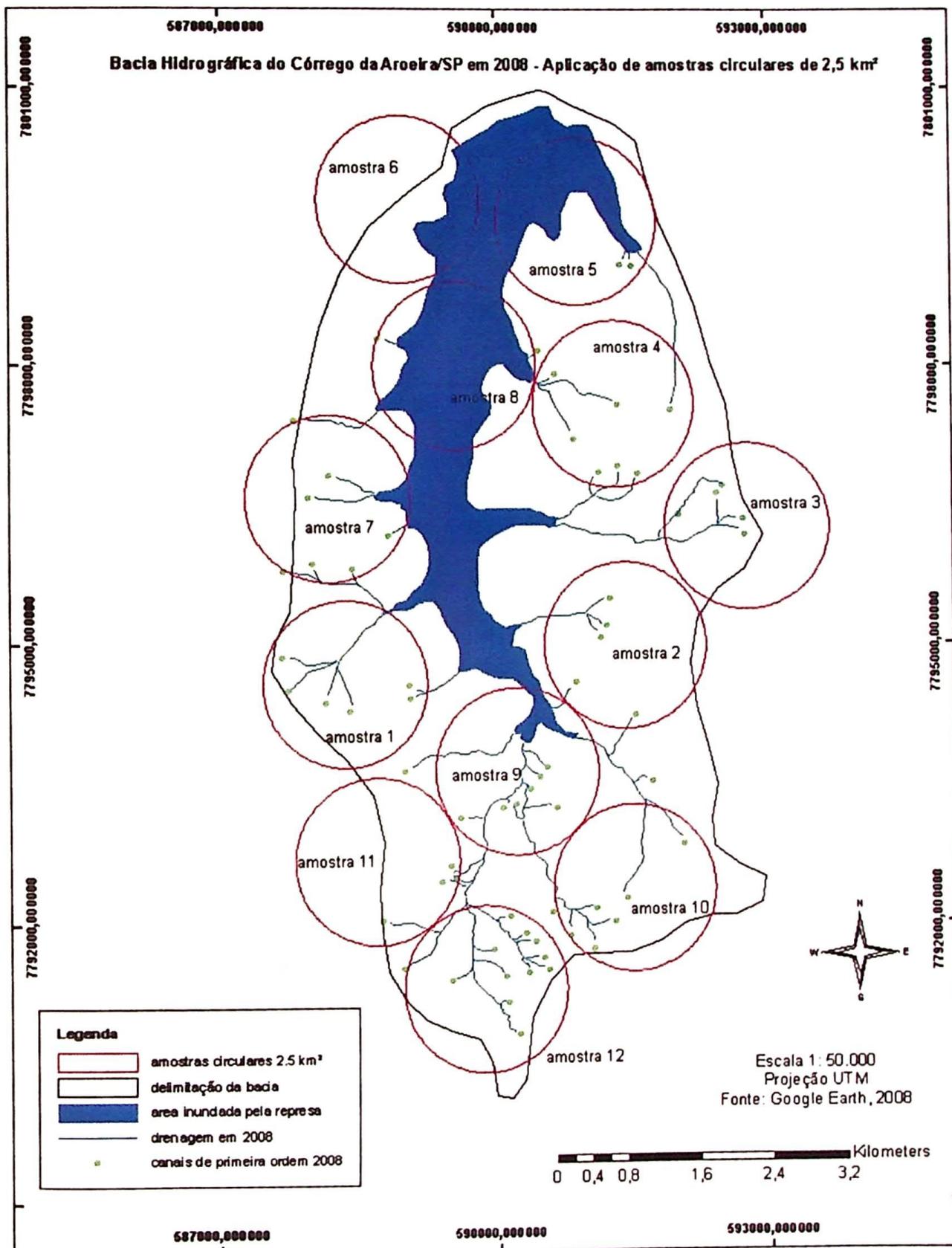


Figura 21: Bacia Hidrográfica do Córrego da Aroeira em 2008 e aplicação de amostras circulares.

Tabela 3: Densidade Hidrográfica da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela / SP em 2008.

Amostra	Área da amostra (Em Km ²)	Quantidade de canais de primeira ordem	Densidade Hidrográfica (Dh)
1	2,5	6	2,4
2	2,5	5	2,0
3	2,5	4	1,6
4	2,5	7	2,8
5	2,5	2	0,8
6	2,5	0	0
7	2,5	7	2,8
8	2,5	2	0,8
9	2,5	7	2,8
10	2,5	7	2,8
11	2,5	4	1,6
12	2,5	12	4,8
Total de canais 2008	65		
Área da bacia (Km²)	38,36		
Dh total da bacia em 2008	1,69		

Como destaque, além dos canais inseridos nas amostras, foram constatados 02 novos canais de primeira ordem referentes à configuração da bacia em 2008, que ficaram fora das áreas das amostras circulares (vide página 54).

8.2.5 Densidade de Drenagem em 2008

A partir da mesma amostragem circular anteriormente descrita e aplicada no cálculo da Densidade Hidrográfica, foi também calculada a densidade de Drenagem (Dd), a partir da definição de Horton (1945 apud Christofolletti 1980), como segue:

$Dd = L / A$, onde Dd significa a densidade de drenagem; L é o comprimento total dos canais de primeira ordem dentro de cada amostra circular e A é a área da amostra circular.

Desta forma, foi calculada a somatória do comprimento de todos os componentes fluviais de primeira ordem dentro de cada amostra circular de 2008 em estudo, utilizando a ferramenta do ArcGIS® **Calculate Geometry**, estabelecendo os seguintes resultados na **tabela 4** a seguir:

Tabela 4: Densidade de Drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira - Mira Estrela-SP em 2008.

Amostra	Área da amostra (Em Km ²)	Comprimento dos canais de primeira ordem (em metros)	Densidade de Drenagem (Dd)
1	2,5	2253	0,90
2	2,5	1063	0,43
3	2,5	1850	0,74
4	2,5	2874	1,14
5	2,5	188	0,07
6	2,5	0	0
7	2,5	2703	1,08
8	2,5	246	0,09
9	2,5	1375	0,55
10	2,5	2602	1,04
11	2,5	713	0,28
12	2,5	3310	1,32
Comprimento dos canais 1ª ordem 1971(em m)	19177		
Área das amostras (em Km ²)	30		
Dd total das amostras 1971	0,64		

O cálculo da Densidade de Drenagem total da bacia (Tabela 4) baseou-se no comprimento dos canais de primeira ordem dentro da somatória da área total das amostras circulares, pois o comprimento dos demais componentes fluviais da bacia não foi calculado neste trabalho, visto que a análise se deu com ênfase na amostragem.

9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da carta topográfica, foram confeccionados mapas de declividade e hipsometria, e estes aplicados aos contextos de 1971 e 2008. A partir das fotografias aéreas e imagens orbitais associadas à mesma carta, caracterizamos duas fases da rede de drenagem da Bacia do Córrego da Aroeira - SP, como mostramos nos itens anteriores, vinculadas aos distintos períodos (1971 e 2008).

Desta forma, pudemos constatar que no decorrer de 37 anos de uso, ocupação e intervenções antrópicas no conjunto do geossistema local da Bacia do Córrego da Aroeira, em especial com a construção e implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha e da criação do lago a partir do represamento da água do Rio Grande, que constituiu nosso objeto de estudo neste trabalho, várias alterações ocorreram.

Desta forma, organizamos esta importante parte do trabalho em dois momentos, sendo que o primeiro destaca as alterações referentes à subida do nível de base da bacia, e o segundo trata sobre os resultados principais e mais específicos esperados, que dizem respeito às alterações nos índices morfométricos trabalhados, a Densidade Hidrográfica e a Densidade de Drenagem, a partir de uma análise prioritariamente estatística, de forma a confirmar a hipótese explicitada no início desta monografia.

9.1 Alterações referentes ao nível de base local

A primeira constatação que merece destaque é referente ao nível de base, que se elevou destacadamente, promovendo a inundação de boa parte do que em 1971 era composto por terra firme e assim “afogando” setores da drenagem que configurava a bacia em estudo no contexto anterior à criação e operação da usina hidrelétrica.

Observando as **Figuras 14 e 20** anteriores, a partir de uma análise comparativa das situações em 1971 e 2008, observamos a inundação de uma área aproximada de seis quilômetros

quadrados, ou 642 hectares, valor este encontrado medindo-se a área do *shape* denominado “Área inundada pela represa”, a partir do comando **Calculate Geometry** do ArcGis®, encobrindo quase que totalmente a faixa altimétrica de 350 a 373 metros, o que mostra que o nível de base local elevou-se em torno de 20 metros, o que fez desaparecer parte da drenagem que existia em 1971, alterando a configuração dos canais existentes ao longo do período de tempo citado no item 9. A **Figura 22** a seguir mostra a comparação:

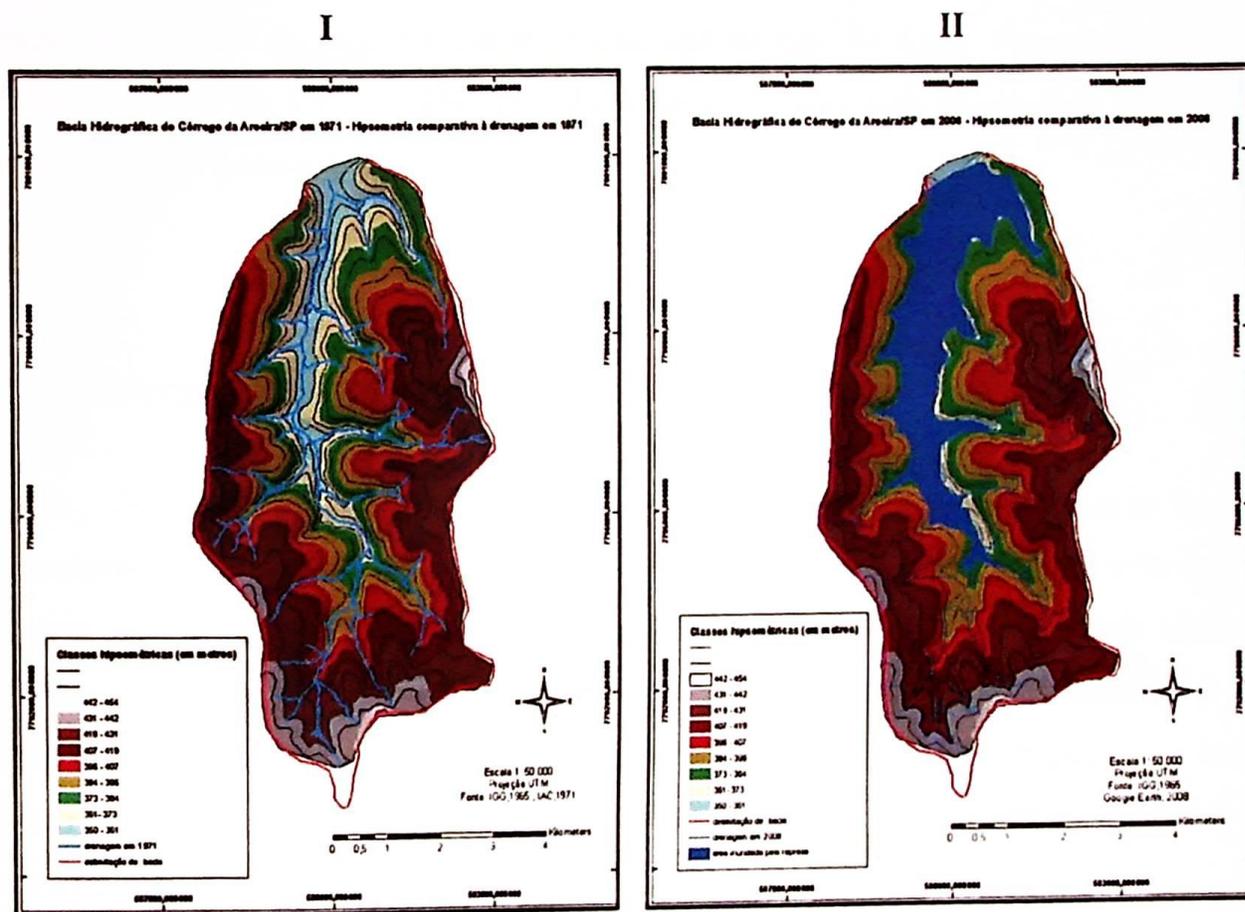


Figura 22: Bacia do Córrego da Aroeira: Comparativo entre as drenagens de 1971(I) e 2008(II) relacionado à hipsometria.

9.2 Alterações nos Índices Morfométricos

A partir da reconstituição da drenagem e da amostragem circular aplicada na mesma nos dois períodos de tempo especificados, analisando os canais de primeira ordem antes e depois da implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, e do cálculo dos índices morfométricos Densidade Hidrográfica (Dh) e Densidade de Drenagem (Dd) dentro das amostras, foram constatadas várias alterações nos mesmos, a partir da mudança do nível de base do Córrego da Aroeira por conta da implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha, configurando diferenciações do contexto de 1971 para 2008, tanto na quantidade de canais de primeira ordem quanto no comprimento destes.

9.2.1 Alterações na Densidade Hidrográfica (Dh)

Das 12 amostras analisadas nas situações de 1971 e 2008, de acordo com as figuras 15 e 21 anteriores, consideramos para a comparação somente 11 delas, pois a amostra 6 foi totalmente encoberta pelo lago da usina hidrelétrica e desta forma seria óbvio que a densidade hidrográfica diminuísse, como de fato ocorreu como vimos na tabela 3 e comparamos na tabela 5 próxima. As amostras 5 e 8 também foram “afogadas”, mas nelas houve o aparecimento de novos canais de primeira ordem e assim manteve-se o índice e elas foram consideradas nas comparações. Estas amostras estão em destaque na tabela 3.

Deste modo, conforme mostramos na tabela 5, de um total de 11 amostras válidas, em 3 delas o índice de 1971 foi o mesmo em 2008, e em 8 amostras houve aumento significativo na Densidade Hidrográfica, assim como no índice geral contabilizando a área total da bacia e o total de canais de primeira ordem. A tabela 6 mostra em termos percentuais as alterações encontradas.

Tabela 5: Comparativo da Densidade Hidrográfica (Dh) na bacia nos anos de 1971 e 2008.

Amostra	Área em Km ²	Densidade Hidrográfica em 1971	Densidade Hidrográfica em 2008
1	2,5	1,6	2,4
2	2,5	1,2	2,0
3	2,5	1,2	1,6
4	2,5	2,8	2,8
5	2,5	0,4	0,8
6	2,5	0,8	0
7	2,5	1,6	2,8
8	2,5	0,8	0,8
9	2,5	1,2	2,8
10	2,5	1,2	2,8
11	2,5	1,6	1,6
12	2,5	2,0	4,8
Dh total em 1971	1,06		
Dh total em 2008	1,69		

Tabela 6: Comparativo Percentual de Alterações na Densidade Hidrográfica (Dh) 1971 – 2008 (amostras válidas).

Total de amostras válidas	11	100%
Aumento da Dh	8	73%
Manteve-se a Dh	3	27%

Conseqüentemente, verificamos que a ação antrópica, através da implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha ocasionou reativação da drenagem da bacia do Córrego da Aroeira, determinando o aumento do índice morfométrico Densidade Hidrográfica, gerando uma maior quantidade de canais de primeira ordem, seja na maioria absoluta das amostras circulares (Tabela 6), seja na somatória dos canais presentes na bacia considerando sua área total (Tabelas 1, 3 e 5). Assim a hipótese inicial consegue comprovação.

9.2.2 Alterações na Densidade de Drenagem (Dd)

Com relação a este outro índice morfométrico, também central neste trabalho, das 12 amostras coletadas e analisadas de acordo com as figuras 15 e 21 anteriores, consideramos para análise comparativa 9 amostras, pois as amostras 5, 6 e 8 foram, da situação de 1971 para 2008, encobertas pelo lago da usina de Água Vermelha e desta forma, por conseqüência, a densidade de drenagem das mesmas logicamente diminuiu, pois vários componentes fluviais foram “afogados”. Estas amostras estão destacadas na tabela 4 anterior. em conjunto com a amostra 2, onde o índice foi mantido, e também com a amostra 11, a única em que houve diminuição da Densidade de Drenagem, sendo esta constatação motivo para estudos mais aprofundados sobre a mesma, em outros possíveis trabalhos, e mesmo aprofundando este, em nível de mestrado.

Deste modo, conforme mostramos na tabela 7 a seguir, de um total de 9 amostras válidas, comparando as situações de 1971 para 2008, em uma delas o índice de 1971 foi o mesmo em 2008, em uma amostra houve diminuição na Densidade de Drenagem, e em 7 delas houve aumento do índice, assim como no índice geral, contabilizando a área total das 12 amostras e o comprimento total de canais de primeira ordem dentro das mesmas (ver páginas 45 e 58). A tabela 8 mostra em termos percentuais as alterações encontradas.

Tabela 7: Comparativo da Densidade de Drenagem (Dd) na bacia nos anos de 1971 e 2008.

Amostra	Área em Km ²	Densidade de Drenagem em 1971	Densidade de Drenagem em 2008
1	2,5	0,77	0,90
2	2,5	0,43	0,43
3	2,5	0,70	0,74
4	2,5	1,06	1,14
5	2,5	0,36	0,07
6	2,5	0,40	0
7	2,5	0,76	1,08
8	2,5	0,57	0,09
9	2,5	0,26	0,55
10	2,5	0,66	1,04
11	2,5	0,51	0,28
12	2,5	1,07	1,32
Dd total das amostras em 1971	0,63		
Dd total das amostras em 2008	0,64		

Tabela 8: Comparativo Percentual de Alterações na Densidade de Drenagem (Dd) 1971 – 2008 (amostras válidas).

Total de amostras válidas	9	100%
Aumento da Dd	7	78%
Manteve-se a Dd	1	11%
Diminuiu a Dd	1	11%

Desta forma, verificamos que a ação antrópica, através da implantação da Usina Hidrelétrica de Água Vermelha ocasionou reativação da drenagem da bacia do Córrego da Aroeira, determinando o aumento do índice morfométrico Densidade de Drenagem, gerando um acréscimo no comprimento dos canais de primeira ordem, seja na maioria absoluta das amostras circulares (Tabela 8), seja na somatória do comprimento dos canais presentes na bacia considerando a área total das amostras (Tabelas 2, 4 e 7).

Assim a hipótese inicial, se não aparece comprovada na totalidade das amostras, consegue comprovação a partir da visão geral da bacia e do conjunto estatístico encontrado no processo de ação humana na bacia do Córrego da Aroeira no período de 1971 até 2008, mostrando que houve alterações relevantes neste índice morfométrico, assim como já houve na Densidade Hidrográfica (item 9.2.1). O fato de uma das amostras ter sofrido diminuição acelera a necessidade de novos estudos para a verificação do que está ocorrendo, pois esta linha de pesquisa ainda se configura como nova e tem muito a crescer.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditamos que este trabalho contribuiu de forma significativa para o incremento das pesquisas dentro da subárea que vem ganhando destaque dentro da ciência geomorfológica, a Geomorfologia Antropogênica..

A partir de uma análise comparativa da bacia hidrográfica dando ênfase à mesma como geossistema, em dois períodos (1971 e 2008), destacou a ação antrópica por meio da criação e implantação de uma obra de engenharia de grande magnitude, no caso a Usina Hidrelétrica de Água Vermelha. Como metodologia, utilizou-se da análise morfométrica de bacias hidrográficas para comparar o comportamento da drenagem antes e depois da criação do lago da usina, verificando também a alteração no nível de base do Córrego da Aroeira por conta do represamento criado com a implantação da hidrelétrica.

Assim sendo, acreditamos que encontramos resultados significativos, pois houve a confirmação da hipótese suscitada no início do trabalho, visto que num contexto estatístico e comparativo geral dos dois períodos no estudo da bacia, os índices trabalhados responderam de forma positiva e corroboraram nossas expectativas, gerando mais interesse e também suscitando necessidade de ampliar as pesquisas nesta linha, o que pode auxiliar na compreensão dos sistemas ambientais, dos geossistemas e seu equilíbrio dinâmico e processos associados, que vêm sendo constantemente alterados pela ação humana, configurando cada vez mais o homem como agente geomorfológico, e o estudo destas interações homem e relevo torna-se desta forma muito importante num espaço geográfico em constante dinâmica, suscitando real necessidade para o planejamento e tomada de decisões pelo poder público

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRIGUENTI, E.C. **Geoindicadores e avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas (Campinas-SP)**. Campinas, 2005. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Unicamp.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, A. “Análise morfométrica das bacias hidrográficas”. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, v. 9, pp. 35 – 64, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 21 (42): pp.3 – 22, 1981.

CHORLEY, R. J., **Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais**. *U. S. Geol. Survey Prof. Paper* (1962), 500-B, 10 pp., [transcrito em *Notícia Geomorfológica*, 11 (21), pp 3-22, 1971].

CUNHA, S.B.C. **Geomorfologia fluvial**. In: *Geomorfologia: Uma atualização de Bases e Conceitos*, pp. 211 – 252. São Paulo: Edgard Blucher, 2001.

HOWARD, A.D. **Equilíbrio e dinâmica dos sistemas geomorfológicos**. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 13 (26): pp.3 – 20, 1973.

Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1: 500.000. São Paulo: IPT, 1981.

Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500. 000. São Paulo: IPT, 1997.

Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500. 000. Campinas: IAC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 28 abr. 2008.

OLIVEIRA, J.B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico.** Boletim científico n° 45, pp. 1 – 112, 1999.

Plano Estadual de Recursos Hídricos: 2004 / 2007 Resumo. ///São Paulo, DAEE, 2006.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento.** São Paulo: Contexto, 2003.

ROSS, J.L.S; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Revista do Departamento de Geografia FFLCH-USP, n° 10, pp. 41 – 58, 1996. (Artigo).

ROSSI, M. **Fatores formadores da paisagem litorânea: A Bacia do Guaratuba.** São Paulo, 1999. Tese de Doutorado. FFLCH – USP.

STRAHLER, A.N. **Physical Geography.** New York: J. Wiley, 1975.

TROPPEMAIR, H. **Geossistemas e Geossistemas paulistas.** Rio Claro: IGCE, 2000.

VICENTE, L. E; PEREZ FILHO, A. **Abordagem sistêmica e geografia.** Rio Claro: Geografia, v 28, n° 3, pp. 323 – 344, 2003.

Sites consultados:

www.aestiete.com.br – Acesso em: 03 mai. 2008

www.sirgh.sp.gov.br – Acesso em : 03 mai. 2008

www.ibge.gov.br – Acesso em: 30 abr. 2008

www.igc.sp.gov.br – Acesso em: 03 mai.2008