

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

**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)**

Davi Alfredo Maranesi

Orientador: Prof. Dr. José Humberto Barcelos

Tese de Doutorado elaborada junto
ao Curso de Pós-Graduação em
Geociências– Área de Concentração
em Geociências e Meio Ambiente
para obtenção do Título de Doutor
em Geociências e Meio Ambiente

Rio Claro (SP)
2002

624.151 Maranesi, Davi Alfredo
M311a 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) / Davi Alfredo Maranesi. – Rio Claro : [s.n.], 2002
141 f. : il. + 9 mapas

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: José Humberto Barcelos

1. Geologia de engenharia. 2. Meio físico. 3. Mapeamento geotécnico. 4. Pequenas barragens. 5. Gestão de água. I. Título.

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

Comissão Examinadora

Prof.Dr. José Humberto Barcelos (orientador)
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof.Dr. Cláudio Antonio de Mauro
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof.Dr. Silvio Carlos Bray
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof.Dr. Antonio Giacomini Ribeiro
Universidade Federal de Uberlândia/Uberlândia (MG)

Prof.Dr. Luiz Nishiyama
Universidade Federal de Uberlândia/Uberlândia (MG)

Davi Alfredo Maranesi
aluno

Rio Claro, 14 de Fevereiro de 2003

Resultado: Aprovado com distinções

Aos meus pais,
Henrique e Dirce.

AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus sinceros agradecimentos:

à Universidade Federal de Uberlândia pela liberação integral das atividades docentes e apoio necessário ao desenvolvimento do presente trabalho;

à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida;

ao Prof. Dr. José Humberto Barcelos, pela orientação, incentivo e apoio nas várias etapas de desenvolvimento deste trabalho;

ao Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, em especial à Prof^ª Dr^ª Maria Elisa B. Rezende e ao técnico Valdemiro Paulino Lima, pelo apoio na elaboração dos ensaios geotécnicos de laboratório nos materiais inconsolidados e na discussão dos resultados obtidos;

aos colegas do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, em especial ao Prof. Dr. Lázaro Valentim Zuquette, pelas valiosas sugestões apresentadas;

aos colegas Prof. Dr. Luiz Nishiyama, Prof. Dr. Antonio Giacomini Ribeiro e Prof. Dr. Adriano Rodrigues dos Santos, da Universidade Federal de Uberlândia, pelo incentivo e apoio constante nas várias etapas de desenvolvimento deste trabalho;

ao Laboratório de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia pelo acesso propiciado aos dados climatológicos;

ao Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal de Uberlândia pelo uso de instalações e equipamentos;

à CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, nas pessoas dos colegas geólogos Marcos Luis Vasconcellos e Romildo Dias Moreira Filho, pela obtenção das fotografias aéreas utilizadas neste trabalho;

à Fabiana Melo de Farias pelo apoio prestado na confecção dos mapas e cartas;

à Tânia de Novais Silveira, pela revisão dos originais do trabalho;

à Maria Enide, minha mulher, Pedro e Gabriela, meus filhos, pela compreensão, paciência, dedicação e amor, cedendo momentos de convívio e me motivando para completar este trabalho.

SUMÁRIO

Índice	i
Índice de Tabelas	vi
Índice de Figuras.....	vii
Resumo	
Abstract	
1- Introdução.....	01
2- Revisão Bibliográfica	05
3- Estado da Arte: Situação atual de ocupação/Recomendações técnicas corretivas	26
4- Materiais e Métodos	38
5- Características Básicas do Meio Físico	42
6- Mapas Básicos Fundamentais	64
7- Cartas Derivadas e Interpretativas.....	112
8- Conclusões e Recomendações	127
9- Referências Bibliográficas	130

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	01
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1	Histórico	05
2.2	Pequenos reservatórios/barragens.....	07
2.3	Recursos hídricos/dimensionamento de reservatórios	08
2.4	Assoreamento em reservatórios	13
2.5	Microcentrais hidrelétricas	18
2.6	Aplicação dos conhecimentos geológicos e do mapeamento geotécnico como ferramenta para avaliações ambientais	21
2.7	Das leis vigentes/orgãos reguladores.....	23
2.7.1	Generalidades	23
2.7.2	Das águas	23
2.7.3	Do meio ambiente	24
3	ESTADO DA ARTE: SITUAÇÃO ATUAL DE OCUPAÇÃO/RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS CORRETIVAS	26
3.1	Generalidades	26
3.2	Impacto da ocupação nos vales com campos hidromórficos.....	26
3.3	Impacto da ocupação nos vales comuns com ou sem vegetação ciliar.....	28
3.4	Técnicas construtivas praticadas.....	29
3.5	Projeto/técnicas construtivas adequadas	33
3.6	Jazidas	34
3.7	Condições de conservação e manutenção	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4.1	Materiais utilizados.....	38

4.2	Método	39
4.2.1	Levantamento e produção de informações	39
4.2.2	Elaboração dos mapas fundamentais básicos	39
4.2.3	Amostragem, ensaios de laboratório e leituras de vazões em canais fluviais	40
4.2.4	Elaboração de cartas derivadas interpretativas	40
5	CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO MEIO FÍSICO	42
5.1	Localização e vias de acesso.....	42
5.2	Geologia Regional.....	43
5.2.1	Embasamento Arqueano	45
5.2.2	Grupo Araxá	45
5.2.3	Grupo Canastra	46
5.2.4	Grupo São Bento.....	46
5.2.4.1	Formação Botucatu.....	46
5.2.4.2	Formação Serra Geral.....	47
5.2.5	Domos Básico-Alcalinos	48
5.2.6	Grupo Bauru.....	48
5.2.6.1	Formação Uberaba	49
5.2.6.2	Formação Adamantina	49
5.2.6.3	Formação Marília.....	50
5.2.7	Sedimentos Cenozóicos	51
5.3	Geomorfologia Regional	53
5.4	Vegetação	54
5.5	Nascentes d' água e origem dos campos hidromórficos	57
5.6	Análises climatológicas	60
6	MAPAS BÁSICOS FUNDAMENTAIS	64

6.1	Mapa do substrato rochoso	64
6.1.2	Procedimento para a elaboração dos mapas do substrato rochoso e de materiais inconsolidados	64
6.1.2.1	Caracterização do limite rocha x materiais inconsolidados.....	64
6.1.3	Unidades do substrato rochoso	67
6.1.3.1	Grupo Araxá	67
6.1.3.2	Formação Botucatu.....	68
6.1.3.3	Formação Serra Geral.....	69
6.1.3.4	Formação Marília.....	70
6.2	Mapa de <i>landforms</i>	72
6.2.1	Sistemática adotada	72
6.2.2	Sistema A - Áreas de entalhamento fluvial acentuado, com alta frequência de canais e talwegues, predominantemente de alta declividade.....	73
6.2.3	Sistema B - Áreas medianamente entalhadas, com média a alta frequência de canais e talwegues predominantemente de média declividade.....	81
6.2.4	Sistema C - Áreas de topos aplanados, com relevo pouco entalhado, com média a baixa frequência de canais e talwegues de baixa a média declividade	85
6.3	Mapa de materiais inconsolidados	89
6.3.1	Definição das unidades de materiais inconsolidados com base na avaliação de <i>landforms</i>	89
6.3.2	Amostragem sobre materiais inconsolidados	91
6.3.3	Ensaio de laboratório sobre materiais inconsolidados	92
6.3.4	Unidades de materiais inconsolidados	93
6.3.4.1	Materiais inconsolidados residuais	94
6.3.4.2	Materiais inconsolidados retrabalhados.....	98
6.3.4.3	Análise dos resultados dos ensaios de laboratório executados nos materiais inconsolidados	103
6.4	Mapa de uso e ocupação atual do solo	105
6.4.1	Generalidades	105

6.4.2	Materiais e técnicas utilizadas	105
6.4.3	Resultados obtidos	106
6.5	Mapa da rede de drenagem, bacias de terceira ordem e balizamento de dados hidrológicos regionais e locais	107
6.5.1	Generalidades	107
6.5.2	Resultados obtidos	109
6.5.3	Análise dos resultados	110
7	CARTAS DERIVADAS INTERPRETATIVAS	112
7.1	Generalidades	112
7.2	Carta de declividade	112
7.3	Carta de declividade generalizada	113
7.3.1	Resultados	114
7.4	Carta de predisposição à erosão	115
7.4.1	Generalidades	115
7.4.2	Obtenção	115
7.4.3	Resultados	119
7.4.4	Análise dos resultados	120
7.5	Carta de avaliação geoambiental do meio físico para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água	121
7.5.1	Procedimentos para elaboração	121
7.5.2	Resultados obtidos	124
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	127
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130

Apêndice

Resultados de ensaios de laboratório obtidos para os materiais inconsolidados

Anexos

- 1- Mapa de documentação
- 2- Mapa do substrato rochoso
- 3- Mapa de *landforms*
- 4- Mapa de materiais inconsolidados
- 5- Mapa de uso e ocupação atual do solo
- 6- Mapa da rede de drenagem, bacias de terceira ordem e balizamento de dados hidrológicos regionais e locais
- 7- Carta de declividade generalizada
- 8- Carta de predisposição à erosão
- 9- Carta de avaliação geoambiental para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01 Dimensionamento de vertedores para pequenas barragens	32
Tabela 02 Distribuição municipal da área estudada	43
Tabela 03 Dados climatológicos.....	61
Tabela 04 Resultados de evaporação obtidos no Tanque Classe A.....	63
Tabela 05 Graus de coerência para classificação geotécnica	65
Tabela 06 Graus de alteração para classificação geotécnica	66
Tabela 07 Processos, atributos e suas características para definição das unidades dos materiais inconsolidados.....	90
Tabela 08 Relação entre as unidades de terreno e os materiais inconsolidados.....	91
Tabela 09 Resultados de ensaios sobre o material da unidade RpMA	94
Tabela 10 Resultados de ensaios sobre o material da unidade RMA	95
Tabela 11 Resultados de ensaios sobre o material da unidade RSG	96
Tabela 12 Resultados de ensaios sobre o material da unidade RGA.....	97
Tabela 13 Resultados de ensaios sobre o material da unidade Arg-A.....	98
Tabela 14 Resultados de ensaios sobre o material da unidade Arg-B.....	99
Tabela 15 Resultados de ensaios sobre o material da unidade Arg-C.....	100
Tabela 16 Resultados de ensaios sobre o material da unidade Arg-D.....	101
Tabela 17 Resultados de ensaios sobre o material da unidade Ar	102
Tabela 18 Valores médios de rendimento específico (COPASA, 1993).....	108
Tabela 19 Atribuição de pontos para os atributos do meio físico para a confecção da carta de predisposição à erosão.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01	Esquema do ciclo hidrológico	09
Figura 02	Modelo de descarga regularizada	11
Figura 03	Tipos de erosão	14
Figura 04	Gráfico da velocidade crítica de erosão	15
Figura 05	Deposição esquemática de um sistema fluvial	17
Figura 06	Seqüência fundamental dos vários níveis de informações relativas ao meio ambiente	23
Figura 07	Reservatório instalado em canal de drenagem com campo hidromórfico (Vereda)	27
Figura 08	Reservatório instalado em canal de drenagem com campo hidromórfico (Vereda)	27
Figura 09	Reservatório instalado em canal de drenagem comum	29
Figura 10	Excesso de fluxo d'água no talude de jusante da barragem.....	31
Figura 11	Vertedor "geminado" ao corpo da barragem.....	32
Figura 12	Processo erosivo instalado no talude de jusante da barragem.....	36
Figura 13	Detalhe da Figura 12	36
Figura 14	Processo erosivo instalado no talude de montante da barragem.....	37
Figura 15	Fluxograma dos documentos cartográficos produzidos	41
Figura 16	Mapa de localização da área estudada.....	42
Figura 17	Coluna estratigráfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	52
Figura 18	Distribuição dos Cerrados no Brasil.....	55
Figura 19	Formas de ocorrência da água subsuperficial na região de Uberlândia (MG)	58
Figura 20	Balanço hídrico da área estudada	62
Figura 21	Micaxisto do Grupo Araxá	68
Figura 22	Basalto da Formação Serra Geral.....	70
Figura 23	Arenito conglomerático da Formação Marília, medianamente coerente	71

Figura 24 Arenito conglomerático da Formação Marília, muito coerente	72
Figura 25 Área de entalhamento fluvial profundo (Sistema A)	73
Figura 26 Perfil típico da Unidade A1	75
Figura 27 Perfil formado na região de contato dos litotipos das Formações Marília e Serra Geral (Unidade A2)	77
Figura 28 Perfil típico da Unidade A2	77
Figura 29 Perfil típico da Unidade A3	79
Figura 30 Perfil típico da Unidade A4	80
Figura 31 Área medianamente entalhada (Sistema B)	81
Figura 32 Superfície escarpada que configura a Unidade B2	84
Figura 33 Área com relevo pouco entalhado	86
Figura 34 Formas de desenvolvimento de processos erosivos	116
Figura 35 Fluxograma para elaboração da carta de predisposição à erosão	117
Figura 36 Sistema de derivação de água proposto para implantação de reservatórios fora de áreas de preservação permanente (Vereda)	122
Figura 37 Reservatório construído fora de áreas de preservação permanente (Vereda)	125
Figura 38 Detalhe do canal lateral de derivação na entrada do reservatório	125

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz (São Paulo)

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica (São Paulo)

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNMET – Departamento Nacional de Meteorologia

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EESC – Escola de Engenharia de São Carlos

ELETRORÁS – Centrais Elétricas Brasileiras

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GCO – Geotechnical Control Office

IAEG – International Association of Engineering Geology

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF – Instituto Estadual de Florestas (Minas Gerais)

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

LCRH – Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia
(Universidade Federal de Uberlândia-MG)

NBR – Norma Brasileira Registrada

RADAM – Radar da Amazônia (Projeto)

SBG – Sociedade Brasileira de Geologia

UFU – Universidade Federal de Uberlândia

USAF – United States Air Force

USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE UNIDADES UTILIZADAS

kW – quilowatt

MW - megawatt

γ_s = massa específica dos sólidos

LL= limite de liquidez

LP= limite de plasticidade

Wot= umidade ótima

γ_d = massa específica seca máxima

RESUMO

A região ocupada pelo bioma Cerrado, no Triângulo Mineiro, a partir das últimas três décadas, vem experimentando um acelerado processo de expansão agrícola/pecuária. A crescente necessidade hídrica para este desenvolvimento implicou a construção de inúmeros pequenos reservatórios superficiais de água dentro dos canais de drenagem em bacias de até 3ª ordem. Este tipo de ocupação antrópica, normalmente feita sem um conhecimento adequado tanto do meio físico como das técnicas construtivas, vem contribuindo para o surgimento de diversos problemas ambientais. Este trabalho apresenta o estudo sobre esta ocupação dentro deste bioma, realizado em uma superfície de 2918,89 km², pertencente à folha de Tupaciguara-MG, em escala regional de 1:100.000. Inicialmente, foi produzido um levantamento de campo sobre os aspectos construtivos empregados para a confecção destes pequenos reservatórios. Em paralelo, foi desenvolvido um estudo sobre o conjunto de atributos do meio físico, adotando-se os procedimentos de mapeamento geotécnico e tendo como base a proposta metodológica de ZUQUETTE (1987 e 1993), representado em 6 documentos cartográficos básicos. A seguir, procedeu-se à análise e sistematização dos documentos cartográficos produzidos na fase anterior, resultando em dois novos documentos cartográficos (carta de declividade generalizada e carta de predisposição à erosão). A caracterização geotécnica dos materiais inconsolidados, realizada a partir de ensaios de laboratório, possibilitou a determinação da textura, massa específica dos sólidos, limites de consistência, compactação e permeabilidade. Finalmente, a análise conjunta de todos os documentos produzidos nas fases anteriores gerou a carta de avaliação geoambiental, que indica as potencialidades e as limitações para este tipo de ocupação no ambiente específico.

Palavras-chave: meio físico; reservatório; mapeamento geotécnico; avaliação geoambiental

ABSTRACT

The region occupied by the environment of the “Brazilian Cerrado”, a typical vegetation from the west of Minas Gerais State which is called “Triângulo Mineiro”, since the last three decades, has been experiencing a quick process of agricultural and cattle raising expansion. The increasing hydric necessity for this developing led to the construction of many small superficial water dams inside the draining channels for bays until the 3rd order. This type of human occupation, usually done without an appropriate knowledge from either the physical medium or the constructive techniques, has been contributing for the appearance of several environmental problems. This work presents the studies about the occupation inside this environment, which is done over an area of 2918,89 km², belonging to the chart of “Tupaciguara-MG”, using a regional scale of 1:100000. Initially, it was done a field research about constructive issues applied for the construction of these small dams. As a parallel work, it was developed a study about the set of features of the physical medium, using the procedures of geotechnical charting and based upon the methodological proposal of ZUQUETTE (1987 and 1993), presenting 6 basic cartographic documents. Afterwards, it was done the analysis and systematization of the cartographic documents developed on the former phase and the result was two new cartographic documents (general sloping chart and erosion tendency chart). The geotechnical description of the unconsolidated materials, which was done using laboratory tests, made possible the determination of the texture, specific solid masses, consistence limits, compactation and permeability. Finally, the analysis of all the documents together produced on the former phases generated the geoenvironmental evaluation chart that indicates the possibilities and limitations for this specific environmental occupation.

Keywords: physical medium; dam; geotechnical charting; geoenvironmental evaluation

1- INTRODUÇÃO

Durante um longo tempo da história humana os recursos hídricos foram utilizados praticamente para a dessedentação humana e de animais e para usos domésticos. Com o desenvolvimento da civilização, outros tipos de usos foram surgindo, destacando-se o consumo para infra-estrutura social, agricultura e processamento industrial e energético, tornando a água um recurso estratégico e escasso, sendo que essa escassez, eventualmente, pode estabelecer conflitos entre os usuários.

O continente Sul-americano está situado no interior da maior concentração de águas oceânicas do planeta e, simultaneamente, frente a um sistema de circulação atmosférica favorável; produz, em consequência, disponibilidades hídricas superficiais bastante elevadas. Essa situação privilegiada é observada no território brasileiro, que apresenta áreas de escassez relativamente limitadas e pouco significativas, quando comparadas com os padrões mundiais.

Muito embora esta situação seja benéfica para o Brasil, ficou registrada a falsa idéia de fartura e o equívoco de considerar a água como um recurso ilimitado e de baixo valor econômico. Entretanto, nos dias atuais, embora com algum atraso, ocorre uma percepção clara de que os recursos hídricos, quando disponíveis em quantidade e qualidade, devem ser objeto de planejamento econômico e social. Por outro lado, em locais onde as disponibilidades hídricas são escassas ou mal empregadas, essa deficiência compromete o bem estar e a segurança das sociedades envolvidas.

Qualquer tipo de barramento transversal a um curso d'água superficial, genericamente chamado de barragem, provocará a formação de um lago ou reservatório na sua porção de montante. Reservatórios desempenham 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 armazenamento de água em reservatórios superficiais tem por finalidade precípua acumular água ou formar reservas nos períodos de excesso de água ou estação úmida para fornecer reservas previamente formadas nos períodos de escassez ou de estação seca.

Há milhares de anos o homem vem construindo barramentos em cursos d'água, visando à sua acumulação para uma série de finalidades, sendo que no decorrer desse tempo ocorreram inúmeros acidentes neste tipo de obra. A análise da experiência desses acidentes, somada ao conhecimento adquirido pelo homem para o seu desenvolvimento tecnológico, vem permitindo a evolução das técnicas de projeto, construção e de operação, principalmente para as grandes barragens.

O Brasil, devido à grande experiência acumulada nessa área nos últimos 40 anos, faz parte do seleto grupo dos países mais desenvolvidos dentro da atividade de implementação de grandes barragens.

Entretanto, a prática tem mostrado uma realidade totalmente diferente para os pequenos barramentos (barragens rurais), especialmente aqueles implantados em bacias de até 3ª ordem. Neste caso o Brasil, assim como muitos países em desenvolvimento, apresentam uma carência muito grande de estudos do meio físico (atributos) para a implantação desse tipo de obra. Técnicas construtivas inadequadas, falta de investigação do subsolo, pouco conhecimento geotécnico dos materiais de construção empregados (ocasionando freqüentemente acidentes devido ao rompimento desses pequenos barramentos), degradação da qualidade da água pela decomposição da vegetação não retirada da área inundada, destruição de matas ciliares, ocupação de ambientes de Veredas, super-exploração de determinadas bacias, desenvolvimento de processos erosivos e assoreamento de reservatórios são alguns tipos de degradação ambiental ocasionados por esta ação antrópica desordenada.

O meio físico ou geoambiente, no qual estão incluídos solo, rocha, relevo, água, ar e suas diferentes combinações, pode ser considerado o suporte para todas as formas de vida sobre a superfície da Terra e, ao mesmo tempo, o cenário de todas as atividades humanas. O meio físico e o meio biótico coexistem em uma relação de interdependência, excetuando o homem como componente do meio biótico para formar um meio próprio, designado meio antrópico.

A interferência do meio antrópico sobre os outros meios naturais, físico e biótico, rompe o estado de equilíbrio estabelecido ao longo da história evolutiva da superfície da crosta terrestre e por consequência o do planeta como um todo. Apesar de os processos geológicos externos atuarem naturalmente no planeta, quando acelerados pela ação antrópica seus efeitos são imediatos e, quase sempre, podem manifestar-se de maneira catastrófica. Esses desequilíbrios do meio físico ou do geoambiente são denominados problemas geoambientais.

A área escolhida para o desenvolvimento do estudo apresentado, assim como quase toda a região do Triângulo Mineiro, está inserida no ambiente denominado Cerrado, que apresenta características topográficas, litológicas e de vegetação bastante peculiares e muito frágeis quando submetidas a atividades antrópicas desordenadas. Essa região, 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 tecnicizadas, inicialmente com a implantação de reflorestamentos e mais recentemente com vários tipos de culturas, principalmente as de soja, café, feijão e milho. Particularmente o município de Monte Alegre de Minas, que tem parte de sua extensão territorial abrangida pela área de estudo, tem na cultura do abacaxi sua maior fonte de renda. A competitividade agrícola do Cerrado passa pelos processos de correção de acidez do solo, adubação e irrigação.

A multiplicação de implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, visando suprir as necessidades hídricas para este desenvolvimento,

vem provocando, ao longo deste curto espaço de tempo, transformações danosas ao meio físico do Cerrado no Triângulo Mineiro.

Com esta premissa de racionalização do uso sustentável dos recursos hídricos superficiais em ambiente de Cerrado, este trabalho apresenta procedimentos metodológicos para a implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, empregando os conhecimentos de geologia, geotecnia, do mapeamento geotécnico e a análise ambiental. Como estes reservatórios podem ter usos múltiplos, aponta os locais com condições favoráveis para a implantação de microcentrais hidrelétricas para suprir as necessidades das pequenas propriedades rurais, com capacidade de geração de até 100 kW.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Histórico

De maneira genérica, a prática de construção de reservatórios superficiais de água sempre foi universal. Onde quer que o clima fosse alternadamente e por longos períodos seco e chuvoso, as barragens e reservatórios se tornavam uma necessidade, se o objetivo fosse o de cultivar o solo durante o ano todo. CULLEN (1964) descreve que os povos primitivos devem ter-se baseado no trabalho dos castores, certamente os primeiros construtores de barragens na natureza. Esses pequenos roedores, parentes dos ratos, camundongos e esquilos, aquáticos por natureza, disseminaram a sua técnica nos vários locais em que habitam no planeta. O propósito do castor, ao construir uma barragem, é criar um reservatório de água onde ele e sua família possam viver, longe de seus predadores.

CULLEN (1964), SMITH (1971) e SCHNITTER (1994) relatam a história do desenvolvimento da técnica de construção de barragens ao longo da evolução humana, desde as civilizações antigas (Egito, Grécia, Turquia, Iraque e China), passando pelo império romano, mundo árabe, leste da Ásia medieval, Europa medieval e pós-medieval, até o século XX, com a construção das grandes barragens para geração de energia elétrica. A partir do momento em que a civilização humana passa de coletor para produtor do seu próprio alimento, percebe-se a necessidade da irrigação para o desenvolvimento da agricultura. Segundo BUTZER (1976), as primeiras evidências de barramentos para sistema de irrigação são do Egito, mais especificamente no vale do rio Nilo, há aproximadamente 3100 anos AC. Entretanto, as ruínas da mais antiga barragem, a Sadd-el-Kafara (em árabe: Sadd = fechado) foram descobertas, em 1885, pelo arqueólogo alemão Schweinfurth. Essa barragem foi construída no Egito, na ravina Garawi, próximo a Memphis, durante a 3ª ou 4ª dinastia, entre 2950 e 2750 anos a.C., no início da Idade da Pirâmide. A finalidade desse reservatório possivelmente tenha sido o abastecimento de água potável. Além do Egito, as regiões da Mesopotâmia e da China, que foram centros de civilizações altamente

desenvolvidas, milhares de anos antes de terem surgido a Europa e América, certamente abrigaram as primeiras experiências para a confecção de técnicas para barramentos de cursos d'água. Enquanto no Egito e na vizinha Mesopotâmia as barragens eram construídas para fins de irrigação e para formar reservatórios, na China o principal objetivo era o de evitar enchentes, muito embora também cuidassem de instalar sistemas de irrigação.

A evolução da civilização humana ao longo do tempo, na necessidade de produzir seu alimento, indica que a idéia das barragens ocorre, simultânea e independentemente, em várias partes do mundo. No hemisfério Ocidental, por exemplo, antes do advento do homem branco, não existia comércio com as outras nações do mundo, mais antigas, e nem maneira de conhecer os seus segredos sobre construção de barragens. No entanto, canais de irrigação e reservatórios foram construídos pelos astecas no México e por outros povos do Novo Mundo. Os indígenas da árida região sudoeste dos Estados Unidos da América construíram pequenos diques para irrigação, há aproximadamente 1000 anos.

Além das finalidades de irrigação, armazenamento de água e contenção de enchentes, aproximadamente dois séculos a.C. o homem aprendeu a captar a energia da água corrente, inicialmente para mover moinhos, que produziam a moagem dos cereais. A era dos pequenos diques de moinho tem grande importância na história tecnológica da humanidade, na medida em que marcou a transição entre o emprego da energia animal e da mecânica. Finalmente, no século XIX, o homem constata que a força dos rios podia ser captada para mover turbinas que iriam gerar eletricidade.

O século XX marca o início da era da construção das grandes barragens para geração de energia elétrica.

A crescente demanda populacional implica a maior produção de alimentos e esta produtividade agrícola depende fundamentalmente da irrigação. Portanto, durante a evolução da humanidade, mesmo com o advento da era das grandes barragens, as pequenas barragens continuam sendo

construídas predominantemente para armazenar água para a irrigação e dessedentação de animais, muito embora também sirvam para outras finalidades, como recreação, controle de enchentes, piscicultura, abastecimento de cidades e mesmo para geração de energia elétrica.

2.2 Pequenos Reservatórios/Barragens

Publicações clássicas sobre o assunto, mesmo direcionadas para a construção de grandes barragens, tais como a de fundamentos de mecânica dos solos, de TAYLOR (1948); CASAGRANDE (1964), que trata da percolação de água através da barragem de terra; BOLTON (1979), que apresenta o guia de mecânica dos solos; FELL et al. (1992), geotecnia de barragens de terra, são considerados trabalhos fundamentais também para o aperfeiçoamento do desenvolvimento de projetos e métodos construtivos de pequenas barragens. O mesmo raciocínio se aplica ao trabalho de HOEK & BRAY (1974), um clássico sobre estabilidade de taludes em rocha.

O BUREAU OF RECLAMATION (1972) publica normas, instruções e procedimentos para projetos de pequenas barragens (com altura menor que 15,00 metros). Essa obra completa uma publicação anterior, editada em 1938 pelo National Resources Committee.

WINGETER (1966) e SOUZA (1971) tecem considerações sobre hidráulica e a parte sanitária de pequenas barragens.

BROWN (1958) apresenta considerações sobre obras de terra e enrocamento e engenharia hidráulica para implantação de pequenas barragens hidrelétricas.

HARRIS (1957) relata algumas formas de utilização da irrigação a partir de pequenos reservatórios.

No interior da região Nordeste do Brasil, situada em regime de clima semi-árido, a construção de reservatórios de água tem importância vital.

Nesse sentido, FALCÃO & BORGES (1974) apresentam uma cartilha para a construção de pequenas barragens de terra. Ainda dentro deste enfoque, MOLLE & CADIER (1992) indicam inicialmente como construir e preservar um pequeno açude e posteriormente como aproveitar o açude, com usos domésticos, cultivos de vazante, piscicultura e irrigação.

MIRANDA (1988) desenvolve pesquisa sobre a compactação de solos residuais provenientes de rochas gnáissicas utilizados para construção de pequenas barragens de terra no Nordeste brasileiro.

MEDEIROS (1986) apresenta propostas para estudos geológico-geotécnicos de fundações de pequenas barragens na região do semi-árido.

PARRA (1986) divulga um trabalho contendo informações sobre projeto de pequenas barragens de aterro.

O DAEE (1992), em conjunto com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, oferece um curso sobre projeto de pequenas barragens (com até 20,0 metros de altura).

BOWEN (1984) e BLYTH & FREITAS (1984) destacam a importância dos conhecimentos geológicos para o projeto e a construção de barragens e reservatórios.

2.3 Recursos Hídricos/Dimensionamento de Reservatórios

O ciclo hidrológico, esquematicamente representado na Figura 01, engloba todas as formas de ocorrência e distribuição e os processos de circulação de água, em todas as fases e estágios.

TUCCI et al. (1993) mencionam que o ciclo hidrológico só é fechado em nível global. Os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, porque há movimentos

contínuos, com dinâmicas diferentes, na atmosfera e também na superfície terrestre.

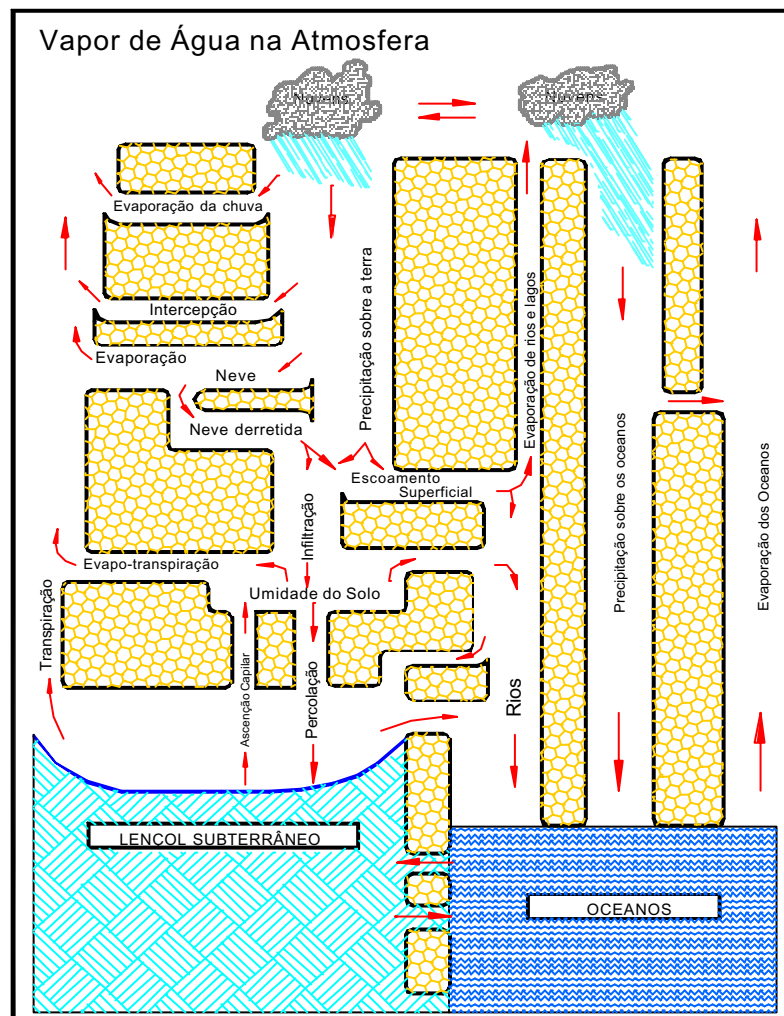


Figura 01 - Esquema do ciclo hidrológico (PINTO et al. 1976)

Para PINTO et al. (1976), esse ciclo forçosamente incompleto não deve conduzir a uma idéia simplista do fenômeno, em realidade extremamente complexo. A “história” de cada gotícula de água pode variar consideravelmente, de acordo com as condições particulares com que se defronte em seu movimento. Em seu conjunto, entretanto, a contínua circulação que se processa às custas da energia solar mantém o balanço entre o volume de água na terra e a umidade atmosférica.

A complexidade desses fenômenos naturais evidencia as dificuldades que cercam a análise dos reservatórios. Devido ao caráter estocástico dos futuros deflúvios superficiais, as decisões a serem tomadas são feitas sob condições de incerteza, normalmente direcionando avaliações futuras em função de aspectos probabilísticos.

RIPPL (1883) foi o primeiro a discutir o problema da definição do volume útil a ser previsto num reservatório, para que a vazão regularizada seja igual à média dos deflúvios afluentes. A verdadeira natureza probabilística do problema, pelo menos no tocante aos deflúvios afluentes, foi reconhecida por HAZEN (1914). Os trabalhos de SUDLER (1927), FELLER (1951), MORAN (1954) e HURST (1965) *apud* HERMANN (1971) são considerados de grande importância para o entendimento de assunto tão complexo.

Como as futuras condições hidrológicas não são conhecidas exatamente, HERMANN (1971) sugere que o valor da descarga regularizada D_m , apontada no modelo apresentado na Figura 02, deve ser interpretado como uma meta a ser atingida, caso exista água armazenada em quantidade suficiente. Caso contrário, esse valor será o limite superior da descarga a ser efetivamente realizada. O conhecimento da vazão efetivamente descarregada só pode ser atingido no fim do período em consideração, após a observação do deflúvio afluente.

A Figura 02 indica que no trecho AO, onde a água disponível não é suficiente para atingir a meta D_m , todo o volume disponível é descarregado. No intervalo AB a descarga efetiva coincide com a meta D_m . Além do ponto B, com o enchimento do reservatório, haverá extravasamento pelo vertedor. O problema do planejador é escolher os D_m de maneira a propiciar condições ótimas de funcionamento ao sistema. O mesmo autor indica que a condição física que deve ser integralmente satisfeita na análise de reservatórios é a equação das massas ou da continuidade, apresentada a seguir:

$$V_{m+1} = V_m + I_m - D_m - S_m - P_m$$

onde:

V_m = volume útil armazenado no começo do período m ;

I_m = deflúvio afluyente ao reservatório durante o período m ;

D_m = descarga regularizada durante o período m ;

S_m = volume extravasado durante o período m ;

P_m = perdas no reservatório durante o período m .

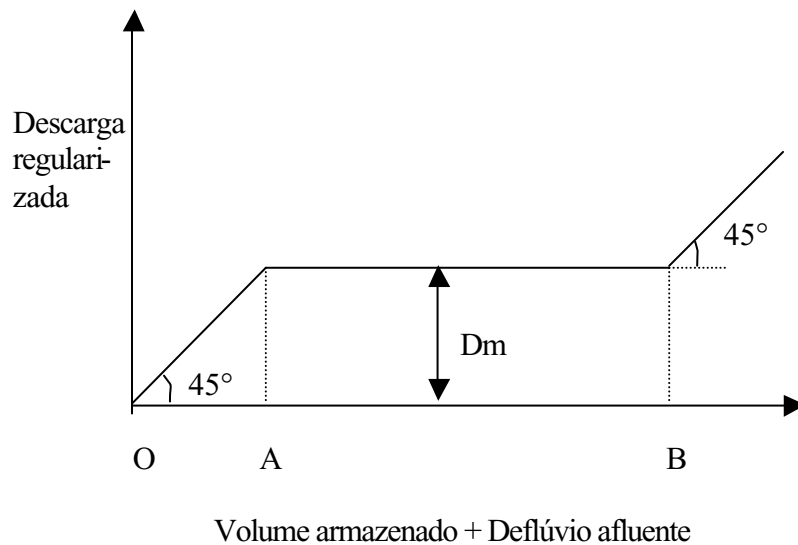


Figura 02 - Descarga regularizada efetiva durante o período m (HERMANN, 1971)

ZAHED (1984) sugere algumas metodologias para o dimensionamento e operação de reservatórios.

GENOVEZ (1987) desenvolve estudos sobre a regularização de vazões em pequenas bacias com dados esparsos.

A COPASA (1993) apresenta estudo detalhado sobre os deflúvios superficiais para todo o estado de Minas Gerais. Esta publicação, baseada em dados históricos coletados no período compreendido entre os anos de 1939 a 1989, em postos hidrométricos instalados em vários pontos do Estado, permite um balizamento regional sobre os valores de deflúvios superficiais. Divulga ainda que, como regra geral, os reservatórios costumam ser projetados e construídos com o objetivo de garantir taxas de regularização situadas na

faixa de 65 a 85% da vazão média de longo termo. Excepcionalmente, podem ser cogitadas taxas de regularização mais elevadas, na faixa de 85 a 95%, sendo que, acima desse limite máximo, os volumes do reservatório sobem exageradamente e conduzem à inviabilidade do empreendimento. Por outro lado, na maioria das situações, taxas de regularização inferiores a 65% já situam as vazões regularizadas na mesma ordem de grandeza das ocorrências mínimas naturais e o empreendimento passa a funcionar, praticamente, a fio d'água.

A evaporação laminar é outro importante fator a ser considerado no planejamento/dimensionamento de reservatórios. Entende-se por evaporação o processo pelo qual se dá a conversão da água líquida para vapor d'água. Segundo o DNMET (1977), a temperatura, a velocidade do vento e a umidade na superfície são os fatores que afetam a razão de evaporação de qualquer corpo da superfície, muito embora a variação desses valores com a altitude também seja importante. A evaporação nas superfícies líquidas é afetada também pelo estado da superfície adjacente, profundidade da lâmina d'água e pelo caráter da superfície. Impurezas e vegetação na água também afetam a evaporação. Por causa dessas variantes, o DNMET (1977) considera que a medida de evaporação é mais difícil de se determinar do que a da precipitação, pois valores fidedignos da perda de água da superfície da terra sobre áreas de extensão apreciável ainda não foram obtidos.

O WMO – World Meteorological Organization (1966) apresenta amplo trabalho sobre métodos de medida e estimativa da evapotranspiração e da evaporação de reservatórios e canais navegáveis.

PEDRO JUNIOR et al. (1987) apresentam as características do Evaporímetro de Piche e do Tanque de Evaporação Classe A, que são os dois instrumentos mais utilizados para medir a evaporação.

RIBEIRO & MEDEIROS (2000), em estudo efetuado no ano de 1998, em reservatório superficial de água, no Ribeirão Pantaninho, localizado no município de Nova Ponte, no Triângulo Mineiro, apresentam valores de

evaporação variando de 1,4 a 1,6 mm/dia para os meses de maior estiagem (maio a setembro).

2.4 Assoreamento em reservatórios

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. CRISTOFOLETTI (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 um novo tipo de equilíbrio.

FORNASARI FILHO et al. (1995) apresentam correlação entre interações de obras de engenharia com alterações nos processos do meio físico. No caso de reservatórios, os autores relatam que, em função das oscilações do nível d'água nesses locais, pode ocorrer o fenômeno do assoreamento, sob a influência de solapamento das suas margens, erosão e escorregamentos.

Os diferentes tipos de erosões causadas por diferentes agentes podem ser melhor entendidos pelo processo apresentado na Figura 03, proposta por LAL (1990) *apud* NISHIYAMA (1998).

Segundo ANNANDALE (1987), os processos erosivos provocados pela água superficial, que terminam nos canais fluviais, são os mais importantes para os processos de sedimentação em reservatórios. O principal processo erosivo do solo é deflagrado pelas chuvas e compreende basicamente os seguintes mecanismos: impacto das chuvas, que provoca a desagregação das partículas; remoção e transporte pelo escoamento superficial; e deposição dos sedimentos produzidos, formando depósitos de assoreamento.

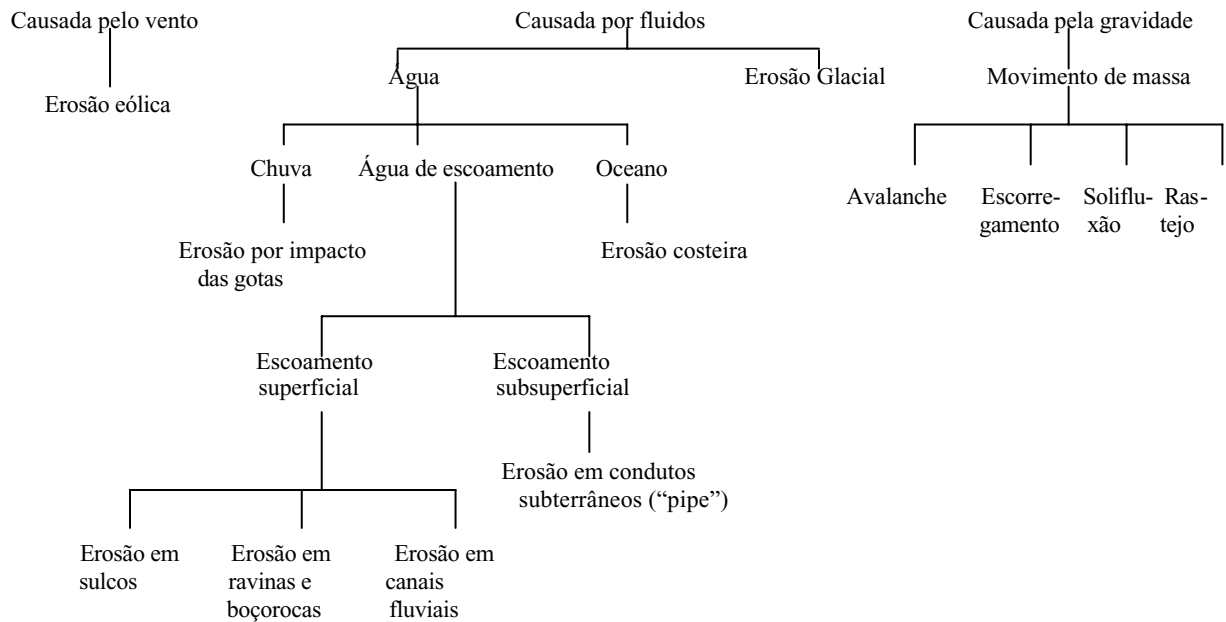


Figura 03 - Tipos de erosão, segundo LAL, 1990 *apud* NISHIYAMA, 1998 (modificado)

Medidas de velocidade do fluxo laminar, realizadas em estudos experimentais de laboratório e de campo, variaram entre $1,5$ e $4,0 \text{ cm.s}^{-1}$ (YOUNG & WIERSMA, 1973) *apud* NISHIYAMA (1998), até 30 cm.s^{-1} (ELLISON, 1947) *apud* NISHIYAMA (1998). Velocidades superiores a 16 cm.s^{-1} seriam necessárias para destacar partículas de $0,3$ milímetros de diâmetro (HJULSTRÖM, 1935), enquanto que velocidades abaixo de 2 cm.s^{-1} seriam suficientes apenas para transportar partículas em suspensão.

A Figura 04 apresenta a posição do processo de erosão em relação aos processos de transporte e deposição.

ANNANDALE (1987) considera de fundamental importância o conhecimento da dinâmica do rio e do seu entorno, pois antes da implementação de um reservatório o sistema como um todo tinha uma certa condição de estabilidade. Após a sua implantação a geometria do rio é mudada tanto a montante da barragem, com o aumento do nível de base e o conseqüente 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.

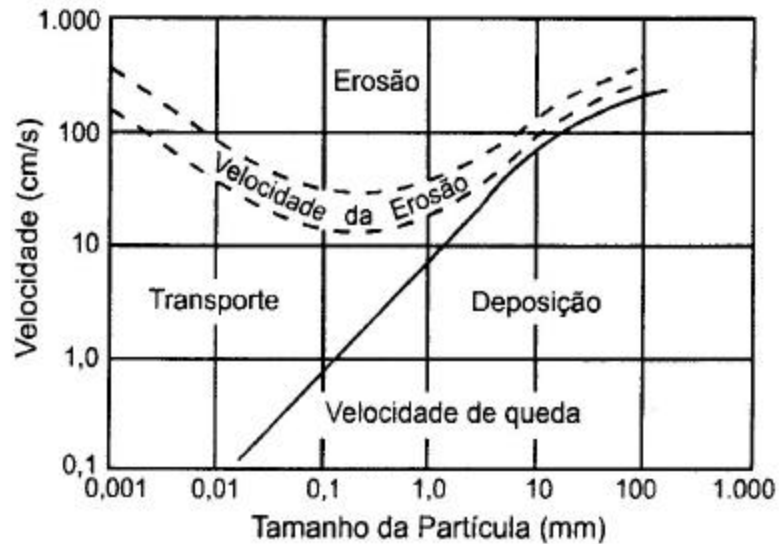


Figura 04 - Processos de erosão, transporte e deposição, em função do tamanho da partícula e velocidade do agente (HJULSTRÖM, 1935) *apud* ABGE (1998).

Segundo a ABGE (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.

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.

A Figura 05, apresentada por SHUMM (1977), mostra correlação entre o sistema de deposição de sedimentos em um sistema fluvial natural e os sedimentos depositados em um reservatório.

Segundo este autor, os princípios que comandam o comportamento da Zona 3 de um rio são os mesmos daqueles em que os sedimentos são depositados em um reservatório. Dentro deste sistema proposto, quanto maior for a intervenção antrópica na zona de produção de sedimentos (desmatamentos, uso inadequado do solo, etc.), maior será a quantidade de produção de sedimentos a serem transportados.

BREUSERS et al. (1982) divulgam taxas de carreamento de sedimentos da ordem de 500 a 2000 m³/km²/ano, para regiões desfavoráveis, o que corresponderia a taxas de assoreamento da ordem de 0,5 a 3,0% da capacidade do reservatório considerado, por ano.

PONÇANO et al.(1982) mencionam, para a região Sul do Brasil, taxas da ordem de 1,5 e 0,8%, medidas num período de 9 anos, nos reservatórios de Capivari-Cachoeira e Passo Real, respectivamente, indicando condições bem mais favoráveis para estas áreas.

BACCARO (1990) constata que, durante a ocupação do Cerrado no Triângulo Mineiro, as valas para divisão de propriedades, o carro de boi utilizado como meio de circulação e o pisoteio do gado contribuíram para provocar problemas atuais de ravinamentos, boçorocamentos, agravando-se os de assoreamento de represas, de empobrecimento dos solos e de diminuição da vazão dos mananciais.

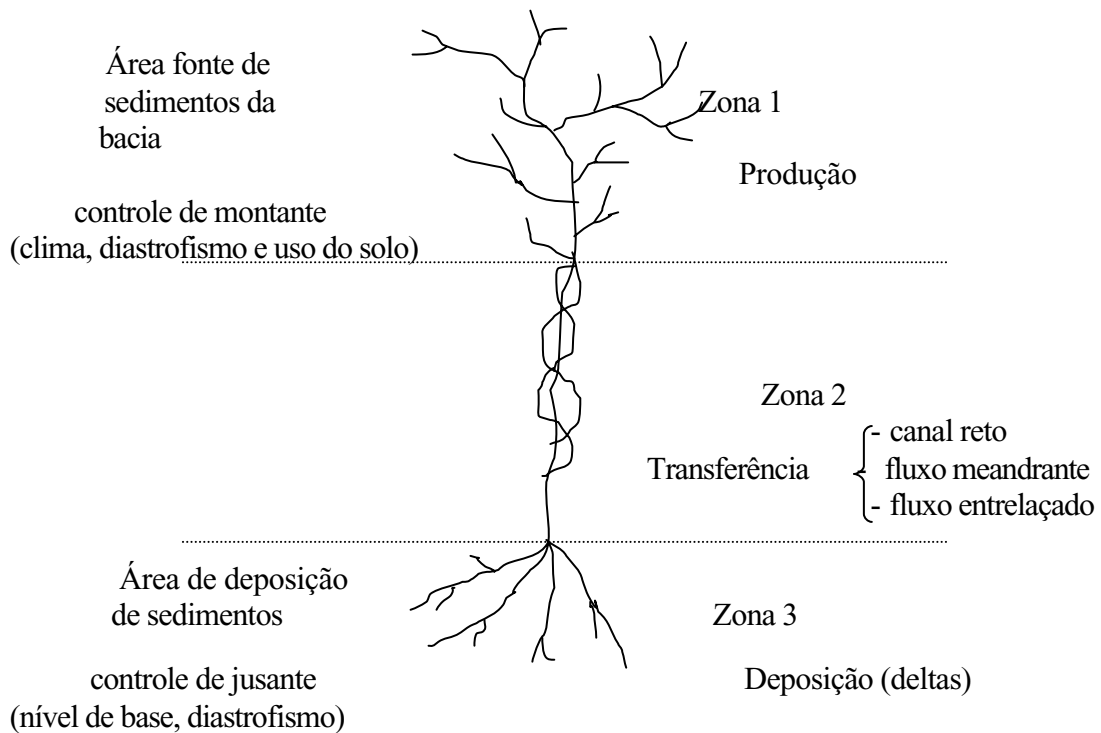


Figura 05 - Sistema fluvial (SHUMM, 1977)

CHAMPS (1991) aborda os problemas de assoreamento da represa da Pampulha (MG) e as medidas adotadas para o seu controle.

CASTRO (1991) apresenta estudos sobre o assoreamento dos reservatórios de Miguelão, Codorna e Ingleses, no rio do Peixe (MG).

COIADO (1993) aborda os problemas de assoreamento e poluição ocorridos no reservatório de Cariobinha-SP (pequeno reservatório com aproveitamento hidrelétrico), desenvolvidos após a urbanização da bacia do Ribeirão Quilombo, nos anos 70, manancial que lhe é afluente.

PAIVA (1993) através de pesquisas desenvolvidas na bacia hidrográfica do rio Taquaruçu de Minas (MG), estabelece diretrizes para a avaliação de causas e efeitos de assoreamento de reservatórios, particularmente do reservatório da Usina Hidrelétrica da Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira. Procede

também à análise de algumas outras bacias hidrográficas da região, a qual tem reservatórios de barragens que estão sendo afetadas por problemas semelhantes.

CAMPOS (1994) mostra os mecanismos de transporte de sedimentos em canais fluviais e a sua deposição em reservatórios que barram os escoamentos naturais.

COIADO et al. (1994) apresentam estudos experimentais sobre a eficiência de retenção de sedimentos de um pequeno reservatório.

OLIVEIRA (1994) aponta a influência de depósitos tecnogênicos com o assoreamento de reservatórios, exemplificando o caso do reservatório da Usina de Capivara.

REIS (1995) apresenta metodologia para o estudo e mensuração do processo de assoreamento de reservatórios, utilizando o SIG.

2.5 Microcentrais Hidrelétricas

Segundo a ELETROBRÁS/DNAEE (1985), as microcentrais hidrelétricas estão enquadradas dentro da faixa de potência de 1 a 100 kW. Os pequenos reservatórios de águas superficiais, abordados neste trabalho, indicam que a sua utilização para esta finalidade de geração de energia elétrica estaria dentro deste tipo de aproveitamento.

A determinação da potência aproveitável é, na realidade, a determinação do potencial máximo que o local escolhido pode fornecer, com as suas características topográficas de desnível (queda natural) e hidrológicas de vazão disponível do curso d'água.

Esse potencial em kW pode ser determinado através da seguinte fórmula (ELETROBRÁS/DNAEE, 1985):

$$\text{Potencial} = 7,16 \cdot H \cdot Q$$

onde:

7,16 = fator de capacidade (gravidade x rendimento da turbina x rendimento do gerador x rendimento de instalação)

H = queda bruta = diferença de nível entre o nível d'água previsto para o reservatório e o nível d'água do rio no local da casa de máquinas

Q = vazão disponível do curso d'água, em m³/s

A partir da reestruturação do setor elétrico, configurada pela Lei n° 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, consubstanciada pelo decreto n° 2003, de 10 de setembro de 1996, que regulamentou a figura do autoprodutor e do produtor independente de energia, e a Lei n° 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que instituiu a ANEEL, esta nova modalidade de produção de energia elétrica para potencial de até 1000 kW só necessita de um registro neste novo órgão para começar a operar. A lei n° 9.648, de 27/05/1998, autoriza a dispensa de licitações para empreendimentos de até 30 MW de potência instalada, para autoprodutor e produtor independente.

Dentro deste contexto, a avaliação geoambiental produzida por este trabalho apresenta considerações sobre os locais com viabilidade de implantação para este tipo de ocupação. A viabilidade econômica destes empreendimentos está vinculada à carência energética e à distância das empresas distribuidoras convencionais. Estimativas de viabilidade econômica poderão ser obtidas nos manuais publicados pela ELETROBRÁS/DNAEE (1985) e ELETROBRÁS (1999).

Na área de geração de energia elétrica, VARLET (1961 e 1966) apresenta considerações sobre usinas hidráulicas, barragens e reservatórios.

O trabalho de SCHREIBER (1978), embora direcionado às grandes usinas hidrelétricas, conceitualmente é considerado de grande importância também para o projeto e construção de pequenas centrais hidrelétricas.

STEADMAN (1978) apresenta um capítulo direcionado à energia hidráulica de pequena escala.

A ELETROBRÁS/DNAEE (1982; 1984 e 1985) publicam os manuais de pequenas, minis e micros centrais hidrelétricas, com faixas de potência de geração respectivamente de 1000 a 10000 kW, 100 a 1000 kW e 1 a 100 kW. No ano de 1999 este mesmo órgão (ELETROBRÁS, 1999) publica atualização destes manuais.

Vários manuais estrangeiros, tais como: HAMM (1967); ALWARD et al. (1979); NOYES (1980); INVERSIN (1986) e HARVEY (1993) também complementam o assunto.

Uma das antigas companhias elétricas estaduais de energia elétrica de São Paulo, a CPFL, no ano de 1987, promove um seminário sobre o futuro da energia, direcionado às pequenas centrais hidrelétricas.

A ELETROBRÁS (1994) promove um curso sobre a problemática do desenvolvimento de pequenas centrais hidrelétricas – PCH no Brasil, para implantar o modelo “hidro-agro-energético”, baseado no modelo chinês.

No ano de 1997 é criado o Centro Nacional de Referência em Pequenos Aproveitamentos Hidroenergéticos, que fica localizado na Escola Federal de Engenharia de Itajubá (MG). Esse Centro tem por finalidade promover a divulgação de referências, através de rede de informação, sobre: programas, projetos, pesquisas, desenvolvimentos científico e tecnológico de pequenos aproveitamentos hidroenergéticos e, também, promover a capacitação e a pesquisa nesta área de atuação.

JIANDONG et al. (1997) apresentam considerações sobre a experiência chinesa de técnicas para desenvolvimento de projetos, construções e estimativas econômicas e financeiras de miniusinas hidrelétricas. A China possui grande experiência no assunto, pois dispõe de 74.000 pequenas usinas, que geram 10 milhões de kW, os quais representam aproximadamente 30% da energia produzida no país.

É promovido pelo Comitê Brasileiro de Grandes Barragens, no ano de 1998, na cidade de Poços de Caldas (MG), o 1º Simpósio Brasileiro de Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas.

2.6 Aplicação dos conhecimentos geológicos e do mapeamento geotécnico como ferramentas para avaliações ambientais.

Segundo ZUQUETTE (1993), os conhecimentos geológicos são pertinentes ao meio físico (rochas, materiais inconsolidados, águas e relevo) e às suas relações com os tipos de ocupação e as condições sócio-econômicas. Estabelecem interfaces com diferentes campos de conhecimento tecnológico e científico, tais como: Engenharias (Civil, Sanitária, de Minas, Agrícola e Agrônômica); Pedologia, Arquitetura e Biologia.

Como ramo da ciência Geologia, aparece a vertente da Geologia Aplicada, onde se encontram a Geologia de Engenharia e a Geologia Ambiental, que constituem interfaces entre diferentes áreas do conhecimento e que, de certa forma, se sobrepõem.

A IAEG (1990) define a Geologia de Engenharia como sendo a ciência que se dedica à investigação, ao estudo e à solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre os conhecimentos geológicos e as atividades humanas, bem como à previsão e ao desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos.

A Geologia Ambiental, segundo BATES & JACKSON (1980) *apud* ZUQUETTE (1993), aplica os conhecimentos e princípios geológicos para avaliar os problemas causados ao meio ambiente, decorrentes da exploração e ocupação humana. Objetiva a redução máxima do impacto ambiental negativo (estudo preventivo) relativo às construções civis, à disposição de rejeitos e resíduos, aos recursos hídricos e naturais, ao planejamento e ao desenvolvimento regional e urbano.

O curso natural dos processos geológicos e biológicos pode ser acelerado pela atuação e/ou ocupação desordenada do homem aos meios físico e biótico. TER STEPANIAN (1988) *apud* NISHIYAMA (1998) denomina-os Processos Tecnogênicos, em contraposição aos processos em seu curso normal, denominados processos naturais.

Assim sendo, a sustentabilidade do meio ambiente obrigatoriamente passa pela situação de equilíbrio entre os meios físico, biótico e antrópico.

A Figura 06, desenvolvida por ZUQUETTE et al. (1997), apresenta a seqüência dos vários níveis de informações relativas ao meio ambiente, normalmente levantados em trabalhos de Mapeamento Geotécnico.

As técnicas de produção de documentos cartográficos começaram a ser utilizadas a partir do início do século XX, mais precisamente no ano de 1913. Estes documentos, elaborados por Langen, tinham como objetivo orientar a construção e a expansão de cidades alemãs. Desde então, a produção desses documentos, denominada genericamente mapeamento geotécnico, vem sendo aplicada como um conjunto de procedimentos de seleção, levantamento, produção, análise, avaliação e representação de informações (atributos) do meio físico, visando subsidiar técnica e economicamente a ocupação ordenada e a avaliação geoambiental.

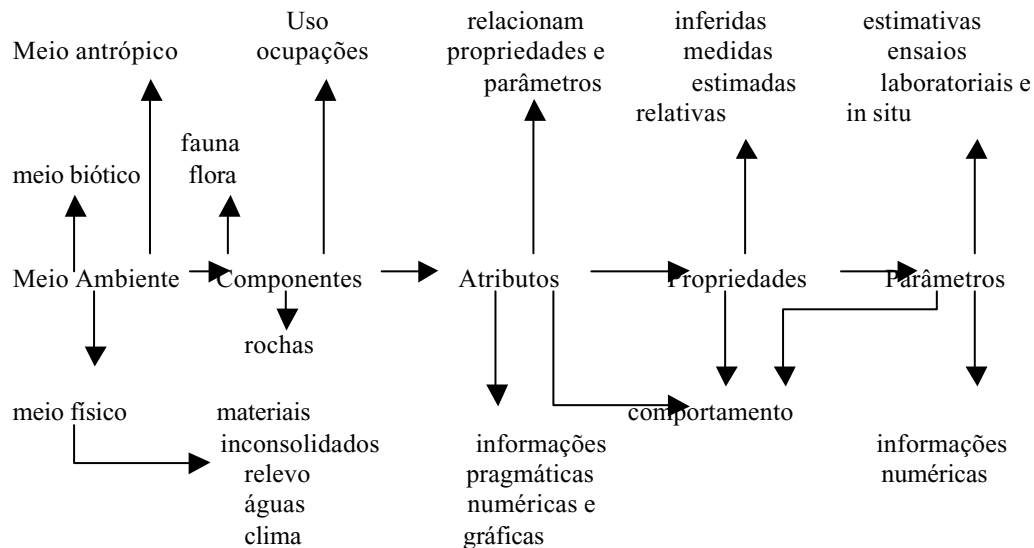


Figura 06 - Seqüência fundamental dos vários níveis de informações relativas ao meio ambiente (ZUQUETTE et al. 1997)

2.7 Das leis vigentes/ órgãos reguladores

2.7.1 Generalidades

A competência para legislar sobre a água/meio ambiente é privativa da União, em virtude do disposto no Art. 22, Inciso IV, da Constituição Federal de 1988. Entretanto, as demais questões relacionadas aos recursos hídricos e ao meio ambiente são de competência concorrente entre a União, os Estados e o Distrito Federal, nos termos do Art. 24, Inciso VI, da mesma Constituição. Desta forma, a União tem competência para estabelecer critérios de classificação das águas e as normas gerais de meio ambiente, e aos estados cabe suplementar essas normas, sem contrariá-las, nos termos do Art. 24, §§ 1º e 2º da Constituição Federal de 1988.

2.7.2 Das águas

No estado de Minas Gerais, onde este trabalho foi desenvolvido, a outorga para pequenos volumes de água é fornecida pelo IGAM – Instituto

Mineiro de Gestão das Águas, órgão subordinado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.

Foi no uso de sua competência suplementar que o estado de Minas Gerais editou a Lei nº 11504, de 20 de junho de 1994, que dispunha sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Entretanto, em 08 de janeiro de 1997, a União editou a Lei nº 9433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Além de trazer inúmeras inovações em matéria de recursos hídricos, essa nova lei federal suspendeu a eficácia da Lei nº 11504/94 naquilo que lhe foi contrário, nos termos do Art. 24, § 4º, da Constituição Federal de 1988, fazendo-se necessária, então, a edição de uma nova lei estadual sobre recursos hídricos, a Lei nº 13199, de 29/01/99, atualmente em vigor.

Uma das novidades desta nova lei federal é a instituição da cobrança pelo uso da água, tributo que será recolhido pela Agência Nacional de Recursos Hídricos, formada por número igual de membros do poder público e de usuários. Sua cobrança será feita pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) e os Conselhos Federal e Estadual de Recursos Hídricos serão os responsáveis por autorizar o uso da água e empregar os recursos.

Os padrões normativos utilizados para o estado de Minas Gerais estabelecem o limite máximo, para derivações a fio d'água, como 30% de $Q_{10,7}$ (vazão mínima natural de dez anos de recorrência, com sete dias de duração). O $Q_{10,7}$ visa manter o fluxo de 70% para a porção jusante do ponto de captação.

2.7.3 Do meio ambiente

A Lei Florestal 14.309/02 de 19/06/2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais, determina que o IEF é o órgão responsável pela fiscalização de áreas rurais, inclusive para cuidar das áreas de preservação dos canais fluviais e de seus entornos.

As áreas de Veredas do Cerrado, por representarem importantes ecossistemas, sendo ambientes de fontes hídricas e refúgios da fauna-florística, foram reconhecidas pela resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 4, de 18/09/1985, em seu artigo 2º, alínea “e”, que apresenta a seguinte definição para Vereda: “nome dado no Brasil Central para caracterizar todo espaço brejoso ou encharcado que contém nascentes ou cabeceiras de cursos d’água de rede de drenagem onde há ocorrência de solos hidromórficos com renques de buritis e outras formas de vegetação típica”. Esta resolução nº 4 do CONAMA ainda determina, no seu artigo 3º, alínea “b”, inciso III, que entre outras áreas de preservação permanente, são Reserva Ecológica “as nascentes permanentes ou temporárias, incluindo os olhos d’água e veredas, seja qual for a situação topográfica, com uma faixa mínima de 50 (cinquenta) metros a partir de sua margem, de maneira a proteger a bacia de drenagem”. Em 13/12/1986 o Governo do estado de Minas Gerais oficialmente passa a considerar essa comunidade vegetal como Ecossistemas de Preservação Permanente.

3- ESTADO DA ARTE: SITUAÇÃO ATUAL DE OCUPAÇÃO/RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS CORRETIVAS

3.1 Generalidades

A análise das fotografias aéreas da USAF, em escala de 1:60.000, que recobrem a folha de Tupaciguara, obtidas no ano de 1964, indica que naquela época não existia nenhum reservatório de água superficial implantado.

Durante o período de execução deste trabalho foram inventariados 319 reservatórios superficiais de água. O mapa de uso e ocupação atual do solo, apresentado no ANEXO 05, contém a localização desses reservatórios. Deste total, 224 estão construídos em vales com campos hidromórficos, onde se desenvolve o ambiente de Vereda, e 95 em vales com fluxo d'água concentrado no fundo do canal (denominados, neste trabalho, vales comuns) com ou sem a presença de vegetação ciliar.

Foram cadastrados, também, dois pequenos aproveitamentos hidrelétricos, que atualmente encontram-se desativados.

Esta situação de intensa ocupação, observada na nossa área de estudo, neste curto espaço de tempo, parece refletir o que vem ocorrendo de maneira generalizada em toda a região de Cerrado do Triângulo Mineiro.

3.2 Impacto da ocupação nos vales com campos hidromórficos

Nos locais dos vales com campos hidromórficos, onde se desenvolve o ambiente de Vereda, a instalação de reservatórios provoca danos a criadouros da fauna local, à medida que a vegetação é derrubada e/ou submersa, bem como ocorrem mudanças nas condições hídricas. Associado à perda da vegetação e a todas as mudanças decorrentes desta ação, o reservatório expõe uma área de maior exposição do espelho d'água, favorecendo o aumento da evaporação d'água com a conseqüente diminuição dos potenciais hídricos

disponíveis. As Figuras 07 e 08 exemplificam a situação de degradação instalada nesses ambientes, após a implantação de reservatórios.



Figura 07- Ambiente tipo Vereda desenvolvida em campo hidromórfico, destruída devido à implantação de reservatório. Córrego São Bento, afluente da margem direita do rio Babilônia, ao sul da cidade de Monte Alegre de Minas (09/10/1999).



Figura 08 - Idem. Em primeiro plano, corpo da barragem e ao fundo, após o término do reservatório, vegetação preservada. Córrego Dois Córregos, situado ao norte da cidade de Monte A. de Minas (9/9/99).

Outro fator preponderante, que ocorre no período de estiagem (maio a setembro), devido à diminuição dos recursos hídricos disponíveis, é que os reservatórios instalados dentro dos vales com vereda não permitem um fluxo de água regular para jusante do reservatório, provocando sérios prejuízos à vegetação e à fauna associadas também nesses locais.

Além disso, os constantes rompimentos de barragens construídas em vales com Veredas, produtos de técnicas construtivas não adequadas e também associadas às pobres características geotécnicas de suporte e impermeabilização dos materiais inconsolidados ali presentes, produzem impactos ambientais significativos em porções consideráveis desse ambiente.

3.3 Impacto da ocupação dos vales comuns com ou sem vegetação ciliar

A ocupação desses vales com a implantação de barragens normalmente é acompanhada de destruição da vegetação natural, denominada mata ciliar, sem o cuidado de sua recomposição ao longo do reservatório a ser instalado. Mesmo que ela já tenha sido removida antes da construção do reservatório, é fundamental que ela seja recomposta. A falta da recomposição deste tipo de vegetação natural também prejudica a fauna associada a ela e, ao longo do tempo, tende também a produzir a diminuição dos recursos hídricos. A ausência de vegetação no entorno do reservatório, devido às oscilações do nível d'água, também possibilita maior facilidade para o solapamento das suas margens e carreamento de partículas sólidas pela água da chuva para o seu interior, processos que aceleram o fenômeno do assoreamento. A Figura 09 exemplifica essa situação observada.

Os córregos Água Branca e São Domingos, localizados na porção norte/nordeste da área estudada, abrigaram dois reservatórios cuja finalidade específica era a geração de energia hidrelétrica. A capacidade de geração instalada era de 18,9 kW para a usina instalada no córrego Água Branca e 6,3 kW para a do córrego São Domingos. Segundo informações dos moradores da região, tanto os reservatórios como as usinas foram desativados no início da década de 1970.



Figura 09 - Vegetação ciliar removida para instalação de reservatório. Não houve a sua recomposição posterior. Córrego Mateira, localizado a nordeste do entroncamento da BR-365 com a BR-452 (09/09/1999).

3.4 Técnicas construtivas praticadas

Observações de campo minuciosas na área de estudo, associadas com informações obtidas através de consultas efetuadas com os sitiantes e fazendeiros que possuem reservatórios superficiais de água, comprovam que as técnicas para construção das barragens normalmente não obedecem aos procedimentos técnicos adequados. Investigação geológico-geotécnica, limpeza da fundação, controle do material a ser compactado e critérios e controle para a compactação desses materiais são procedimentos normalmente não efetuados.

Nos locais de vales com Veredas, a limpeza de fundação é uma tarefa quase impossível de ser realizada adequadamente para as condições dos equipamentos disponíveis. Portanto, é comum a prática de implantar barragens sobre o material encharcado argiloso com muita matéria orgânica e restos vegetais, que comprovadamente possuem pouca capacidade de suporte e

impermeabilização. Neste ambiente, é praticamente impossível desviar a água para remover o material a seco.

Nos vales comuns é possível que o curso d'água seja desviado para uma das margens, a fim de possibilitar a limpeza da fundação. Entretanto, normalmente esse procedimento também não é efetuado, com a barragem sendo implantada em locais sem nenhum tipo de limpeza de fundação. Deste procedimento, poderão ocorrer recalques indesejáveis no corpo da barragem e excesso de percolação de água pela fundação, que em curto prazo poderão provocar o seu colapso.

Em nenhuma das barragens inventariadas constatou-se a presença de sistema de drenagem interna. A falta desse sistema, que tem a função principal de controlar e orientar a percolação através da fundação e do maciço, pode gerar gradientes hidráulicos de saída excessivos. Estes gradientes podem provocar o início de um processo de erosão interna regressiva ou “piping”, que pode resultar na ruptura da barragem.

É muito comum, conforme ilustrado na Figura 10, fluxos de água excessivos no “pé” do talude de jusante das barragens, acompanhados da falta de dreno neste local, que provocam o carreamento de material saturado ou o seu desmoronamento.

A falta de umidade adequada e a compactação dos materiais inconsolidados utilizados para a construção de aterros talvez sejam os fatores primordiais para os inúmeros insucessos verificados.

A grande maioria das barragens não apresenta sistema de proteção, no talude de montante, contra os efeitos erosivos das ondas, na zona de oscilação do nível d'água do reservatório. Este é um fator que muito contribui para o início de desenvolvimento de processos erosivos no corpo da barragem, que podem precipitar o início do processo de sua ruptura.



Figura 10 – Notar no detalhe excessivo fluxo de água e falta de dreno no “pé” de jusante da barragem. A água deste reservatório é utilizada para a irrigação de cultura de laranja. Córrego Salvador, a oeste da cidade de Monte Alegre de Minas (25/09/1999).

Outro sério problema construtivo praticado, que muito contribui para os inúmeros insucessos constatados, diz respeito à posição de instalação e dimensionamento do vertedor ou sangradouro do reservatório. Lembremos que esta estrutura é fundamental para a operação do reservatório, pois através dela é feito o escoamento do excesso de água, de maneira a permitir sua operação com segurança. Como nos campos hidromórficos não existem “ombreiras” para permitir a construção do vertedor ideal, localizado a certa distância do corpo da barragem, é regra geral nesses locais a construção de vertedor tipo “geminado”, construído ao lado do corpo da barragem (Figura 11). Esta prática deveria ser, mas nunca é, acompanhada da implementação de obras de proteção, para evitar que processos erosivos se desenvolvam nestes locais. Além disso, as suas condições de largura e profundidade ideais, que estão diretamente relacionadas com a área de captação das chuvas, quase nunca são respeitadas. De maneira geral, os vertedores devem ser largos e rasos, ao invés de estreitos e profundos. A Tabela 01, apresentada por FALCÃO & BORGES (1974), indica as condições recomendadas de largura e profundidade para os vertedores, em função da área de captação das chuvas.

Tabela 01- Dimensionamento de vertedouro para pequenas barragens (FALCÃO & BORGES, 1974)

Área de captação (hectares)	Profundidade do vertedouro (metros)						
	0,90	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70
	Largura do vertedouro (metros)						
0 - 50	7,0						
50 - 75	11,0	6,5	5,0				
75 - 125	17,0	10,0	7,0	5,0			
125 - 200	25,0	14,0	9,5	7,5	5,5		
200 - 300	30,0	18,0	12,5	10,0	7,5	6,0	
300 - 400	-	22,5	15,0	11,0	9,0	7,0	6,0
400 - 550	-	25,0	18,0	13,0	10,5	8,5	7,0
550 - 750	-	-	24,0	17,0	13,0	10,5	8,5
750 - 1000	-	-	28,0	20,0	15,0	12,5	10,0



Figura 11 - Sistema de vertedor ou sangradouro “geminado” ao corpo da barragem, utilizado em vales com campos hidromórficos. Córrego São Bento, situado ao sul da cidade de Monte Alegre de Minas (09/09/1999).

3.5 Projeto/técnicas construtivas adequadas

Independentemente do tipo de reservatório possível de ser implantado, em função da avaliação geoambiental, o barramento construído para esta finalidade deverá ser **estanque** e **estável**, pelo menor custo possível.

Alguns fatores são fundamentais para o desenvolvimento de um projeto adequado, dentre os quais destacam-se:

- Pluviometria da região
- Conformação da topografia do terreno natural
- Sistema de desvio do rio ou captação de água do rio
- Características geológico-geotécnicas dos materiais de fundação
- Características geológico-geotécnicas dos materiais de empréstimo (jazidas)

Associado a esses fatores, segundo PARRA (1986), deve-se considerar os seguintes aspectos durante a fase do projeto:

- Estabilidade à erosão externa
 - proteção contra o galgamento
 - proteção do talude de montante
 - proteção do talude de jusante
- Estabilidade à erosão interna
 - controle de percolação
 - controle de vazão
 - controle de tensões e deformações
- Estabilidade ao escorregamento
 - definição da inclinação dos taludes
 - controle de pressões piezométricas

Durante a fase construtiva, as camadas de material inconsolidado a serem compactadas, com espessuras superiores a 20 cm, devem ser obrigatoriamente evitadas. O constante umedecimento do material a ser

compactado, para proporcionar ao material características próximas da umidade ótima, sempre deve ser obrigatório em todas as camadas executadas.

O material deve ser compactado, sempre que possível, com rolo compactador apropriado (pé de carneiro), puxado por trator. A compactação feita somente com o trânsito de equipamentos (caminhão, trator, etc.) é aceitável, porém deve ser evitada, pois normalmente não permite um controle de qualidade adequado.

A definição dos taludes de uma barragem deve ser feita através de análises de estabilidade, conforme sequência sugerida por ÁVILA (1979) *apud* PARRA (1986). Entretanto, para barramentos da magnitude dos tratados neste trabalho e executados sobre fundações estáveis, pode-se dimensionar os taludes utilizando-se tabelas como as apresentadas por PARRA (1986), que correlacionam as condições de rebaixamento do nível d'água do reservatório com o tipo de solo existente.

3.6 Jazidas

O termo jazida ou área de empréstimo serve para designar o local onde é retirado o volume de material inconsolidado a ser utilizado para construir a barragem que possibilitará a formação do reservatório de água.

Na nossa área de trabalho foi observado que, na grande maioria dos casos, após a retirada do material necessário, esses locais são abandonados e não sofrem qualquer tipo de recomposição. Com este procedimento, é comum o desenvolvimento de processos erosivos e o conseqüente carregamento de partículas sólidas pelas águas fluviais para dentro dos canais de drenagem.

Tanto em termos ambientais como financeiros, o próprio local a ser inundado pela construção do reservatório é o mais favorável para a implantação da jazida, pois não será necessária sua posterior recuperação. Se a área a ser inundada não possuir o material inconsolidado adequado para esta finalidade, é imprescindível que, antes do início da exploração da jazida, todo

o material inconsolidado superior rico em matéria orgânica (aproximadamente os 0,20 m superficiais) seja armazenado para posterior utilização na sua própria recomposição vegetal.

3.7 Condições de conservação e manutenção

A falta da prática de conservação e manutenção das barragens também contribui sobremaneira para o aumento de acidentes e conseqüente diminuição do seu tempo de uso.

Na área estudada, é pouco comum a sistemática de inspeções periódicas e rotineiras ao corpo da barragem. Este procedimento é fundamental para que não se permita o desenvolvimento de processos erosivos nos taludes de montante e jusante da barragem, principalmente os desprovidos de proteções (Figuras 12, 13 e 14). Além disso, essas inspeções visam impedir o desenvolvimento de vegetação arbustiva de porte médio e não possibilitar, em nenhuma hipótese, a instalação de formigueiros no corpo da barragem. Estes fatores certamente irão provocar o desenvolvimento de situações de alto risco à segurança da obra.

A obstrução do vertedor com qualquer tipo de objeto, conforme mostrado na Figura 11, também é prática não recomendada, pois provocará a elevação do nível d'água do reservatório, pondo em perigo a segurança total da obra.

A forte ocupação antrópica, com a retirada da mata natural, principalmente nos locais de presença dos materiais inconsolidados arenosos originados da Formação Marília, situação areal predominante na área de estudo, tem possibilitado uma alta susceptibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos, os quais provocam o carreamento de partículas, que são depositadas nos reservatórios. Estudos e medidas mitigadoras para diminuir o assoreamento dos reservatórios são apresentados no item 7.4 deste trabalho.



Figura 12 - Vista de jusante de reservatório instalado no córrego Pequeno, afluente da margem direita do rio Babilônia. A vegetação do ambiente tipo Vereda foi totalmente removida para a sua instalação. Notar acelerado processo erosivo no talude de jusante da barragem pela falta de sua proteção/manutenção com capim ou grama nativa (25/10/1999).



Figura 13 - Detalhe da Figura 12 (25/10/1999).



Figura 14 - Vista de montante do mesmo reservatório. Pela falta de proteção/manutenção, também no talude de montante desenvolve-se acelerado processo erosivo (25/10/1999).

4- MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais utilizados

Para a execução deste trabalho foram utilizados todos os recursos e materiais disponíveis da área, ou seja, trabalhos acadêmicos, diferentes tipos de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites e dados de investigações de superfície e subsuperfície.

A área de estudo dispõe de dois levantamentos planialtimétricos: a folha topográfica de Tupaciguara (SE-22-Z-B-V), em escala 1:100.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1974), que serviu como base cartográfica para este trabalho, e 16 mapas em escala 1:25.000, editados e publicados pelo MINISTÉRIO DO EXÉRCITO (1984), que foram empregados para a elaboração da carta de declividade.

Foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:60.000, obtidas pela United States Air Force – USAF (1964). O emprego das técnicas de fotointerpretação (SOARES & FIORI, 1975) foi indispensável para a obtenção de informações sobre o meio físico (atributos).

Para a confecção do mapa de uso e ocupação do solo, além do levantamento de campo, foram utilizadas as imagens de satélite TM/LANDSAT WRS-221/073W-08/11/88-2B,3G,5R e WRS-221/073C-19/07/92-2B,4G,5R.

As amostras deformadas dos materiais inconsolidados foram obtidas com um trado cavadeira de quatro polegadas de diâmetro.

Para a confecção e edição final dos mapas e cartas produzidos neste trabalho foi utilizado o programa AutoCAD-14.

4.2 Método

A seqüência de atividades para execução do presente trabalho contou com seis fases, a saber: levantamento e produção de informações relativas aos atributos do meio físico; levantamento da forma de ocupação antrópica dos canais de drenagem; elaboração dos mapas fundamentais básicos; amostragem, ensaios de laboratório e leituras de vazões em canais fluviais; elaboração das cartas derivadas interpretativas e avaliação geoambiental para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, conforme apresentado no fluxograma da Figura 15.

4.2.1 Levantamento e produção de informações

Procedeu-se à consulta de todas as informações anteriormente produzidas na região de influência deste trabalho, pertinentes às condições do meio físico.

Em paralelo realizou-se a interpretação de fotografias aéreas e trabalhos de campo, procedimentos que possibilitaram a definição de atributos fundamentais que, relacionados com os materiais do substrato rochoso, materiais inconsolidados, águas superficiais e *landforms*, puderam ser utilizados na técnica de mapeamento geotécnico. Os trabalhos de campo também permitiram a identificação dos procedimentos empregados na ocupação antrópica dos vales fluviais, conforme registrado no capítulo 3 deste trabalho.

4.2.2 Elaboração dos mapas fundamentais básicos

As informações obtidas na fase anterior, resultante de análise, avaliação e seleção dos atributos, geraram o seguinte conjunto de mapas fundamentais básicos: substrato rochoso, materiais inconsolidados, rede de drenagem e bacias de terceira ordem, *landforms*, declividade e uso e ocupação atual do solo.

O mapa de documentação (ANEXO 01), onde se encontram registrados todos os pontos de observação, amostragem e leitura de vazões de canais fluviais, também foi gerado nesta fase.

4.2.3 Amostragem, ensaios de laboratório e leituras de vazões em canais fluviais

A amostragem e os ensaios de laboratório foram realizados sobre as unidades de materiais inconsolidados anteriormente definidos, com a finalidade de caracterização geotécnica de enfoque deste trabalho.

As leituras de vazões em alguns canais fluviais tiveram por objetivo possibilitar uma comparação entre os deflúvios superficiais locais com os regionais, fornecidos pela COPASA (1993).

Todos os aspectos relativos aos objetivos da amostragem, procedimentos e número de amostras coletadas, bem como das leituras de vazões encontram-se detalhados, respectivamente, nos sub-itens 6.3.2, 6.3.3 e 6.5.1, que tratam especificamente desses assuntos.

4.2.4 Elaboração das cartas derivadas interpretativas

As cartas derivadas interpretativas geradas foram duas: declividade generalizada e predisposição à erosão.

Após análise dos atributos apresentados em todos os documentos cartográficos gerados anteriormente e do conjunto de informações que abrangem as leis estaduais e federais relativas ao meio ambiente, elaborou-se a carta de avaliação geoambiental, com a finalidade de indicar a ocupação racional do Cerrado para a implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, conforme esquema apresentado na Figura 15.

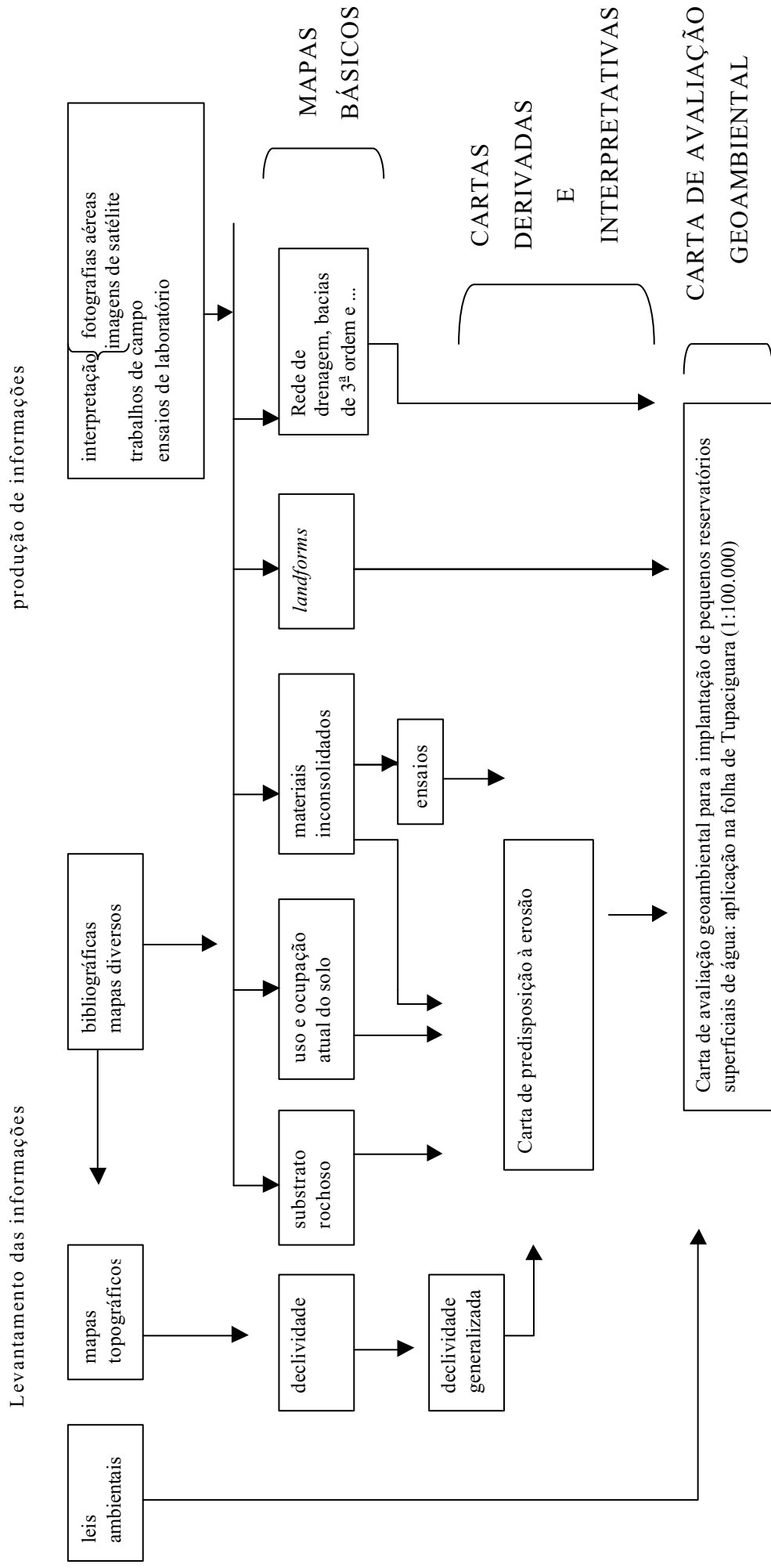


Figura 15 - Fluxograma dos documentos cartográficos produzidos para a obtenção da carta de avaliação geoambiental para implantação de pequenos reservatórios de água na folha de Tupaciguara (MG)

5 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO MEIO FÍSICO

5.1 Localização e vias de acesso

A área estudada está localizada na região do Triângulo Mineiro, oeste do estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas de 18° 30' e 19° 00' de latitude sul, 48° 30' e 49° 00' a oeste do meridiano de Greenwich, ocupando uma superfície de 2918,89 km² (Figura 16).

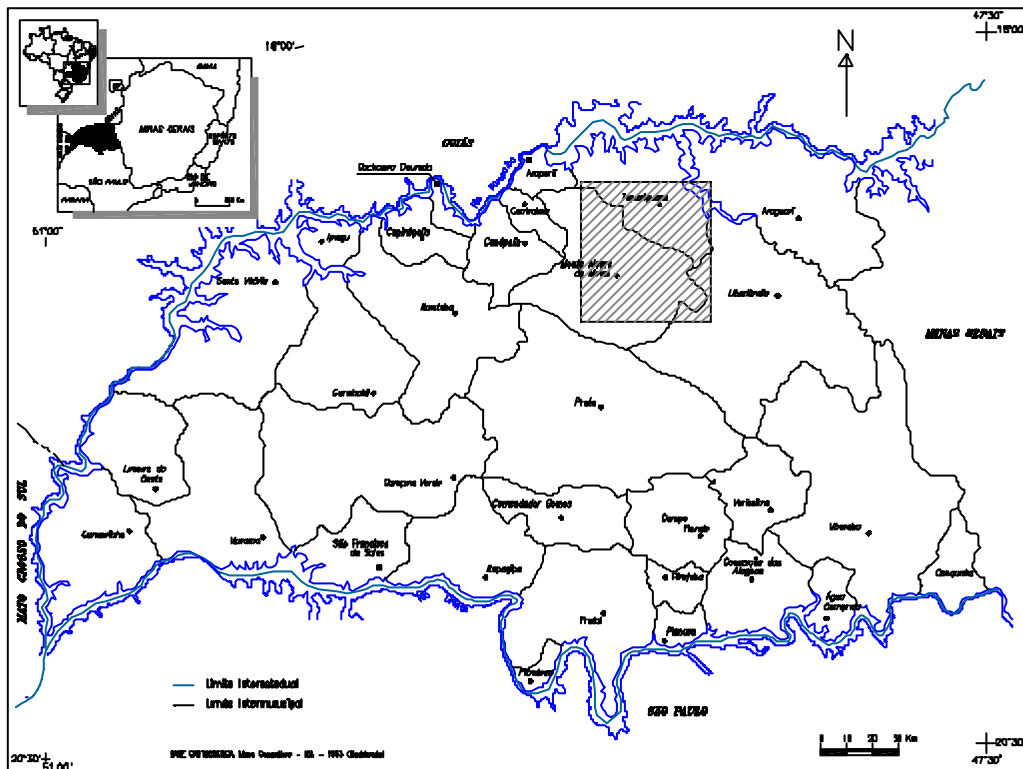


Figura 16 – Localização da área estudada

A folha de Tupaciguara é abrangida por quatro municípios, e a sua distribuição municipal está apresentada na Tabela 02.

A área em referência é cortada pela rodovia federal BR-365 no sentido leste/oeste. A partir do entroncamento no Km 656 desta rodovia, nasce a

rodovia federal BR-452, que dá acesso à cidade de Tupaciguara e posteriormente à cidade de Itumbiara, já no estado de Goiás.

Tabela 02- Distribuição municipal da área estudada

Município	Área (km ²)	Área (%)
Araguari	69,60	2,38
Monte Alegre de Minas	1632,95	55,95
Tupaciguara	1021,70	35,00
Uberlândia	194,64	6,67
Total	2918,89	100,00

5.2 Geologia Regional

Os primeiros reconhecimentos geológicos da região do Triângulo Mineiro foram publicados por DERBY (1886). Oito anos mais tarde, HUSSAK (1894) publicou o resultado de suas primeiras pesquisas na região, quando revelou a provável ocorrência de jacupiranguito na cidade goiana de Catalão.

O interesse econômico despertado pela descoberta de paleoaluviões diamantíferos e por importantes ocorrências minerais associadas aos complexos alcalinos levou vários pesquisadores a trabalhar nesta região. Trabalhos como os de HUSSAK (1906), RIMANN (1917 e 1931), GUIMARÃES (1926, 1927, 1933 e 1947), BARBOSA (1934, 1936 e 1937), CAMPOS (1937) *apud* BARBOSA et al. (1970) contribuíram de maneira expressiva para o conhecimento geológico da região. Durante os anos de 1953 e 1954 a empresa PROSPEC S.A., trabalhando para o Conselho Nacional de Pesquisas, descobriu os domos alcalinos do Barreiro, Tapira, Salitre e Serra Negra.

Entretanto, entre todos os trabalhos voltados para a pesquisa mineral, apenas o de BARBOSA et al. (1970) apresenta uma visão do arcabouço geológico regional.

Vários outros trabalhos, de natureza econômica ou acadêmica, posteriores ou contemporâneos ao citado, apresentam importante contribuição para o conhecimento geológico regional. Dentre outros mencionam-se os de ALMEIDA et al. (1980); BARCELOS & SUGUIO (1980); BARCELOS et al. (1981); BARCELOS (1984); BARCELOS et al. (1987); HASUY (1968 e 1969); SUGUIO (1980); HASUY & HARALYI (1991); FERREIRA JR. (1996); FULFARO & PERINOTTO (1996); FERNANDES (1998) e FERNANDES & COIMBRA (1998).

O arcabouço geológico do Triângulo Mineiro pode ser dividido em três grandes unidades: a leste, no domínio da Bacia São Franciscana, ocorrem rochas metassedimentares neoproterozóicas do Grupo Bambuí e a oeste rochas magmáticas e sedimentares fanerozóicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Essas duas unidades geológicas são separadas pelo Soerguimento do Alto Paranaíba, que afetou principalmente a porção sul da Faixa de Dobramentos Brasília, que é constituída por rochas metamórficas proterozóicas cortadas por intrusões alcalinas mesozóicas, orientadas grosseiramente na direção NW-SE (BARBOSA et al., 1970 e HASUY & HARALYI, 1991).

Na maior parte da região do Triângulo Mineiro, as litologias sedimentares e as rochas basálticas da Bacia Sedimentar do Paraná recobrem unidades mais antigas, representadas pelas rochas metassedimentares de idade proterozóica dos Grupos Araxá e Canastra. Estas, por sua vez, estão sobrepostas sobre um embasamento ainda mais antigo, de idade arqueana. A coluna estratigráfica apresentada na Figura 17 resume o empilhamento das rochas presentes na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

5.2.1 Embasamento Arqueano

BARBOSA et al. (1970) denominam “Complexo Granito-Gnáissico” o conjunto litológico formado por granitos e gnaisses, essencialmente de composição granodiorítica, com intercalações de anfibolito, como sendo o conjunto de rochas mais antigas da região. Em trabalhos posteriores, DNPM (1975) e RADAM (1983) apresentam outras denominações para esta unidade de idade arqueana, respectivamente identificadas como Pré-Cambriano Indiferenciado e Complexo Basal Goiano. Segundo BARBOSA et al. (1970), os afloramentos mais significativos desta unidade ocorrem entre as cidades de Monte Carmelo e Abadia dos Dourados e a sudeste da cidade goiana de Catalão, atravessando o rio Paranaíba até próximo de Estrela do Sul. Outras áreas de menor significado estão presentes no rio Araguari (próximo da cidade de Uberlândia) e na margem direita do rio Quebra Anzol, ao sul da localidade de Pedro do Bom Jardim.

5.2.2 Grupo Araxá

O termo Grupo Araxá foi caracterizado por BARBOSA (1955) e representa os metassedimentos de fácies epidoto-anfibolito, consistindo essencialmente de micaxistos e quartzitos com intercalações de anfibolito. Segundo BARBOSA et al. (1970), os xistos típicos desse grupo, encontrados em torno da cidade de Araxá, são constituídos de duas micas, comumente com predomínio da muscovita, além de minerais acessórios como granada, rutilo, zircão, turmalina e estauroлита.

Na região do Triângulo Mineiro, a unidade encontra-se recoberta por litologias sedimentares e magmatitos básicos da Bacia Sedimentar do Paraná. Seu afloramento está condicionado às áreas de profundo entalhe fluvial, produzido pelos rios Paranaíba, Araguari e Quebra Anzol.

5.2.3 Grupo Canastra

Esta unidade também foi batizada por BARBOSA (1955) e é representada, predominantemente, por quartzitos e filitos. Para BARBOSA et al. (1970), esta unidade parece constituir-se apenas de metapelitos, pois não foi encontrada nenhuma rocha grosseira.

Segundo BARBOSA et al. (1970), a exposição do Grupo Canastra mais expressiva ocorre ao sul das serras de Pirapetinga e de Sacramento e na região de Araxá e Catalão.

5.2.4 Grupo São Bento

O Grupo São Bento, na região do Triângulo Mineiro, acha-se representado pelas Formações Botucatu e Serra Geral.

5.2.4.1 Formação Botucatu

A Formação Botucatu, segundo o IPT (1981), constitui-se quase inteiramente de arenitos eólicos de granulação fina a média, uniforme, com boa seleção de grãos foscos, com alta esfericidade. São avermelhados e exibem estratificação cruzada tangencial de médio a grande porte, característica de dunas caminhantes.

Na região do Triângulo Mineiro, caracteriza o início das atividades deposicionais da Bacia Sedimentar do Paraná. Esses arenitos repousam diretamente sobre as rochas de idade pré-cambriana, representadas pelo Embasamento Arqueano e Grupos Araxá e Canastra. Encontram-se soterrados pelos basaltos da Formação Serra Geral e pelos arenitos e conglomerados da Formação Marília.

Normalmente, não apresentam espessuras significativas na região. Nas escavações para a implantação da Usina Hidrelétrica de Miranda, localizada no rio Araguari, nas proximidades da cidade de Uberlândia (MG), foram

mapeados corpos com espessuras de no máximo 6 metros (MARANESI, 1999). Os maiores valores são observados no vale do rio Grande, entre as cidades de Conquista e Sacramento, com cerca de 80 metros (BARCELOS, 1984).

5.2.4.2 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral é constituída por um conjunto de derrames basálticos toleíticos, entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à Formação Botucatu. São formados por rochas de cor cinza escura a negra, afaníticas e mineralogicamente compostas por clinopiroxênio, ripas de plagioclásio e magnetita como acessório principal. A zona central de cada derrame é maciça, fraturada por juntas predominantemente subverticais, enquanto na sua base e topo ocorrem níveis vesículo-amigdaloidais.

Na maior porção do Triângulo Mineiro os basaltos acham-se recobertos pelos sedimentos do Grupo Bauru. Apenas nos vales dos principais rios que drenam a região, e conseguiram um entalhamento fluvial profundo, aparecem afloramentos contínuos deste tipo litológico. Os rios Grande, Paranaíba e Araguari, bem como seus principais afluentes, exemplificam tal afirmação. Normalmente repousam sobre as rochas pré-cambrianas, exceto na região de Sacramento-Delta, onde se assentam diretamente sobre os arenitos da Formação Botucatu.

Nas suas áreas de exposição, devido às diferenças entre a resistência aos processos erosivos entre o basalto maciço e o vesículo-amigdaloidal, forma-se um relevo bastante característico, resultando vários níveis de patamares interderrames. Lentes de arenitos intertrapeanos são comuns na base da unidade. Como normalmente encontram-se bastante silicificados, têm uma importância regional na construção civil, sendo normalmente empregados como revestimento de ruas e calçadas.

5.2.5 Domos Básico-Alcalinos

Durante o soerguimento do Alto Paranaíba (HASUI & HARALYI, 1991), as rochas metassedimentares do Triângulo Mineiro foram atravessadas por várias chaminés vulcânicas, de natureza alcalina. Os domos de Tapira, Araxá, Serra do Salitre e Serra Negra são resquícios geológicos destes eventos.

5.2.6 Grupo Bauru

GONZAGA DE CAMPOS (1905) *apud* BARCELOS (1984) foi quem introduziu na literatura geológica a presença dos sedimentos suprabasálticos, após os ter reconhecido e descrito, na região oeste do estado de São Paulo, a serviço da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil. Propôs, originalmente, a denominação “Grês de Bauru”, modificada mais tarde para “Arenito Bauru”. A Comissão Geográfica e Geológica do estado de São Paulo, precursora do atual Instituto Geológico, adotou o nome de “Formação Bauru”.

No Triângulo Mineiro foi HUSSAK (1906) *apud* BARCELOS (1984) o primeiro a reconhecer os sedimentos superpostos a Uberaba, que ele apenas designou de pós-Uberaba. MILWARD (1935) os reconheceu formalmente como extensão da “Formação Bauru” para esta região. Esta correlação foi endossada por BARBOSA (1934), quando estudou as formações tufíticas de Uberaba.

Vários autores contribuíram para a evolução dos estudos dos sedimentos cretáceos do Triângulo Mineiro, dentre os quais destacam-se: HASUI (1968 e 1969); BARBOSA et al. (1970); SUGUIO (1973); SOARES & LANDIM (1975) e COIMBRA (1976).

Finalmente ALMEIDA (1980) e SOARES et al. (1980), propõem para o oeste paulista e parte do Mato Grosso do Sul e Paraná e SUGUIO (1980), para o estado de São Paulo e em nível mais regional (incluindo a região do

Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba), que a “Formação Bauru” passe para o *status* de Grupo Bauru.

5.2.6.1 Formação Uberaba

Descrita por HUSSAK (1906), foi assim denominada por RIMANN (1918) *apud* HASUI (1968).

Foi HASUI (1968) quem caracterizou a distribuição em área e a petrologia desta unidade. Segundo este autor, ela é constituída por rochas epiclásticas, que se iniciam por um conglomerado basal, seguido por arenitos vulcânicos, com cimento carbonático ou matriz argilosa verde, associados a siltitos, argilitos, arenitos conglomeráticos e conglomerados arenosos, todos com maior ou menor influência vulcânica. Ainda segundo esse autor, sua distribuição espacial em área é restrita, ocorrendo apenas no estado de Minas Gerais, numa faixa entre as cidades de Sacramento e Veríssimo (passando por Ponte Alta, Peirópolis e Uberaba), onde repousa diretamente sobre as efusivas básicas da Formação Serra Geral e mais ao norte nas adjacências da cidade de Romaria, depositado sobre os arenitos da Formação Botucatu. Também é registrada sua ocorrência na região de Coromandel, sobreposta diretamente sobre os micaxistos do Grupo Araxá.

BARCELOS (1984) admite espessuras máximas de 85 a 90 metros para esta unidade, na região de Peirópolis.

5.2.6.2 Formação Adamantina

A Formação Adamantina foi formalmente proposta por SOARES et al. (1980). É formada por uma seqüência litológica caracterizada pela presença de bancos de arenitos de granulação fina a muito fina, cor rósea a castanha, com estratificações cruzadas, cujas espessuras variam entre 2 e 20 metros.

Segundo o mapa geológico produzido pelo RADAM (1983) e BARCELOS (1984), esta unidade geológica aflora numa grande extensão do

Triângulo Mineiro, praticamente em toda região situada a oeste do rio Araguari.

Entretanto, segundo NISHIYAMA (1998), muito embora todos os autores que trataram da geologia do Triângulo Mineiro nas últimas duas décadas sejam unânimes em admitir a presença da Formação Adamantina, a sua caracterização detalhada ainda esbarra na definição dos seus limites. Tal dificuldade reside no extenso recobrimento produzido pelas litologias da Formação Marília e/ou sedimentos cenozóicos.

5.2.6.3 Formação Marília

Conforme descrito anteriormente neste trabalho, SUGUIO (1980) foi quem propôs a designação Marília para os sedimentos posteriores à Formação Uberaba, para a região do Triângulo Mineiro.

São compostos por consideráveis espessuras de arenitos imaturos e conglomerados superpostos a níveis carbonáticos. BARCELOS et al. (1981) propuseram para esses níveis carbonáticos, constituídos de calcário tipo calcrete, a designação Fácies Ponte Alta, enquanto para os sedimentos arenosos e conglomeráticos foi proposta a designação Fácies Serra da Galga. Mais tarde, BARCELOS (1984) propõe a mudança de nomenclatura de Fácies para Membro.

No Triângulo Mineiro, segundo BARCELOS (1984), sua distribuição em área também é bastante significativa. Os afloramentos mais expressivos estão localizados entre as cidades de Sacramento a Frutal, passando por Uberaba, e a partir daí, estendendo-se também para norte, no rumo de Uberlândia. Ainda segundo este autor, os sedimentos desta formação repousam em contato gradacional e, às vezes, interdigitado com a Formação Uberaba, entre as localidades de Veríssimo, Peirópolis e Uberaba. Nas imediações de Prata, Campina Verde e Monte Alegre de Minas, está em contato também gradacional e/ou interdigitado com a Formação Adamantina. O contato entre os Membros Ponte Alta e Serra da Galga apresenta-se ora

gradacional, ora abrupto, apresentando conglomerado basal mais desenvolvido e associado às camadas de calcário, ocorrendo também passagem lateral de conglomerado para calcários arenosos impuros, com seixos de vários tamanhos.

5.2.7 Sedimentos Cenozóicos

Segundo HASUI (1969) *apud* NISHIYAMA (1998) os sedimentos recentes presentes no Triângulo Mineiro possuem pequena espessura, porém com ampla distribuição horizontal. Esses sedimentos são compostos predominantemente por depósitos de coluvião e aluvião, muito embora ocorram, em menor escala, cascalheiras, superfícies de cangas limoníticas e sedimentos de lagoas de chapadões.

FERRARI (1989) *apud* FERREIRA JR. (1996) denominou Formação Nova Ponte os depósitos conglomeráticos de até 50 metros de espessura, com níveis argilosos subordinados que aparecem no Vale do rio Araguari e regiões circunvizinhas no Triângulo Mineiro. Os seixos, oriundos dos Grupos Araxá, São Bento e Bauru, são bastante arredondados, o que é uma característica de depósitos de segundo ciclo.

BARBOSA & CASTRO (1993) correlacionam os sedimentos silto-argilosos avermelhados da região de Ponte Alta com os depósitos cenozóicos das Formações Itaqueri (restrita ao estado de São Paulo) e Nova Ponte.

ERAS	PERÍODOS	GRUPOS	FORMAÇÕES	MEMBRO	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS
Cenozóica					Depósitos aluvionares recentes
Mesozóica	Cretáceo	Bauru	Marília	Serra da Galga	Arenitos imaturos, conglomerados e arenitos conglomeráticos.
				Ponte Alta	Arenitos e conglomerados com cimentação carbonática, lentes de calcário silicoso e conglomerado basal.
			Uberaba	Arenitos com contribuição vulcanoclástica, cor esverdeada a acinzentada.	
			Adamantina	Arenitos marrom (vermelho), cimentação carbonática e intercalações de arenitos argilosos e lentes de argilitos.	
	Jurássico	São Bento	Serra Geral		Basalto maciço com horizontes amigdaló-vesiculares no topo e base dos derrames. Presença de arenito intertrapeano.
				Botucatu	Arenito eólico avermelhado, grãos bem selecionados e foscos.
Discordância					
Proterozóica	Médio	Canastra			Predominantemente quartzitos. Ocorrem também filitos e xistos.
		Araxá			Predominantemente micaxistos com níveis de quartzito e anfíbolito.
		Discordância			
	Inferior (Arqueano)	Embasamento Arqueano			Gnaiss, migmatito e granitos

Figura 17 - Coluna estratigráfica do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (NISHIYAMA, 1998).

5.3 Geomorfologia Regional

O relevo da área estudada, assim como da maior parte do Triângulo Mineiro, faz parte de um conjunto de formas denominado por AB'SABER (1971) Domínio dos Chapadões Tropicais do Brasil Central.

A compartimentação geomorfológica do Triângulo Mineiro, segundo a EMBRAPA (1982), é definida com base na hipótese de que as superfícies topográficas observadas são resultantes de três superfícies de erosão.

A primeira foi denominada superfície Araxá por BARBOSA (1955) e estaria situada entre as elevações 850 e 1000 m. Formam chapadas com cobertura argilosa de idade Terciária, recobrando os sedimentos do Grupo Bauru, constituindo-se nas áreas dispersoras de drenagem para a região.

A segunda superfície de erosão engloba um compartimento mais rebaixado, caracterizado como domínio das rochas sedimentares do Grupo Bauru, basaltos da Formação Serra Geral e litologias do Grupo Araxá e embasamento cristalino indiferenciado, com altitudes variando de 500 a 850 m. As encostas apresentam topos aplainados e bordas escarpadas, resultantes de processos ligados à erosão diferencial.

A terceira superfície está situada ao longo dos rios Paranaíba e Grande e nos baixos cursos de seus afluentes, desde os sopés da segunda superfície até os terraços e planícies fluviais recentes. É caracterizada por relevo plano e ondulado, formado por sedimentos cenozóicos provenientes do intemperismo das rochas que compõem a segunda superfície de erosão.

O RADAM (1983) inclui toda a região do Triângulo Mineiro na porção extremo-leste da unidade geomorfológica denominada Planalto Setentrional da Bacia do Paraná. Essa unidade é subdividida em dois compartimentos topomorfológicos: um rebaixado, desenvolvido em níveis altimétricos entre 350 e 650 m e um elevado, ocupando níveis topográficos entre 900 e 1050 m.

A compartimentação topomorfológica e a estrutura superficial regional, baseada na geologia e forma e nível de dissecação do relevo, desenvolvida por BACCARO (1990), distingue quatro grandes compartimentos na região do Triângulo Mineiro: áreas de relevo intensamente dissecado; medianamente dissecado; residual; e áreas elevadas de cimeira. Segundo a autora, as áreas de relevo intensamente dissecado correspondem às porções de borda da chapada de Uberlândia – Araguari. As com relevo medianamente dissecado são as porções com os topos nivelados entre 750 e 900 m. As de relevo residual designam as porções mais elevadas dos divisores de águas, que exibem bordas escarpadas e erosivas, com desnível de até 150 m, estabelecidos entre o topo e a base, contornos irregulares e declividade de até 45°. Já as áreas elevadas de cimeiras são caracterizadas como superfícies com baixa densidade de drenagem, vales pouco ramificados, vertentes com baixa declividade (entre 3 e 5°), desenvolvidas sobre arenitos da Formação Marília.

5.4 Vegetação

Segundo a EMBRAPA (1982), a área do Triângulo Mineiro acha-se inclusa no “Complexo do Brasil Central ou do Cerrado”. Apesar de a vegetação dominante ser caracterizada por árvores de pequeno porte, retorcidas, distribuídas irregularmente em um tapete gramíneo, este Complexo não é composto por uma cobertura vegetal uniforme, pois são encontrados desde campos até florestas, passando gradualmente ou mesmo bruscamente de uma formação para outra. Dentro deste Complexo distinguem-se as seguintes formações vegetais: o Cerrado e suas variações, tendo inclusões de floresta mesófila estacional (floresta subcaducifólia e caducifólia); de floresta tropical perenifólia, subperenifólia e higrófila de várzea (matas ciliares ou matas de galerias); de campo limpo; de comunidades hidrófilas (Veredas e campos de várzea); de comunidades higrófilas (campos periodicamente inundáveis, campos de surgente); e de formações sucessórias (capoeira e campos antrópicos).

Em termos regionais, segundo WAGNER (1986), o Domínio Natural dos Cerrados compõe 24,25% do território brasileiro ou uma área contínua de 204.000.000 de hectares, distribuídos nos estados de Goiás, Minas Gerais, Tocantins, Bahia, Maranhão, Piauí, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Ceará, Rondônia e Distrito Federal, além das áreas satélites nos estados de Roraima, Amapá, Pará e São Paulo (Figura 18).

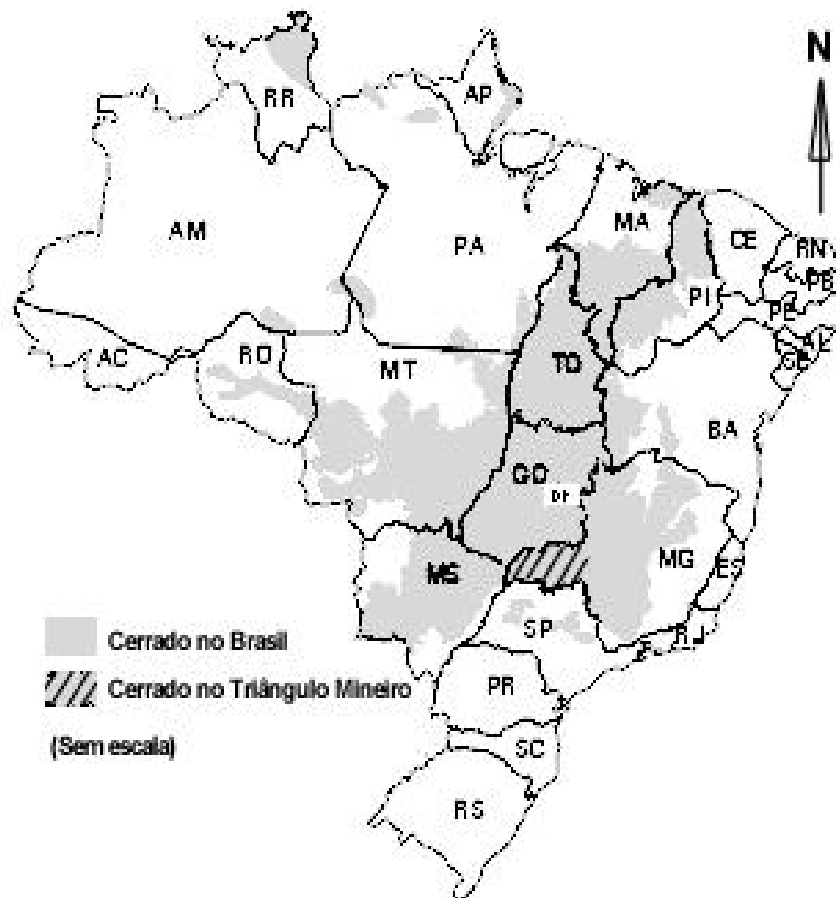


Figura 18 – Distribuição dos Cerrados no Brasil. Modificado de WAGNER (1986)

Utilizando a compartimentação geomorfológica definida por BACCARO (1990), DEL GROSSI (1991) estabelece uma relação do tipo de vegetação com as unidades de relevo. Sobre a unidade definida por BACCARO (1990), como de cimeira, onde prevalecem altitudes entre 950 e 1050 m, atribui a vegetação de Cerrado. Os vales fluviais amplos, espaçados e úmidos que

entrecortam a área são dominados por gramíneas e mata mesofítica (vegetação de mata de galeria e de encostas). Nas áreas de relevo intensamente dissecado (BACCARO, 1990), representadas pelas porções de vales fluviais dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras, DEL GROSSI (1991) identifica como vegetação primitiva a floresta tropical subcaducifólia. Indica também, para as áreas de relevo medianamente dissecado, o predomínio dos cerrados desenvolvidos sobre solos arenosos originados da decomposição de litologias das Formações Marília e Adamantina. Nas porções de fundo de vales fluviais, devido à exposição da zona saturada, quer seja sob a forma de olhos d'água (nascentes) ou de forma difusa, desenvolve-se a vegetação típica de ambiente de Veredas.

Nas áreas de chapadas do Triângulo Mineiro os nascedouros de fontes hídricas, via de regra, estão associados à ocorrência de Veredas. Estas formam um ecossistema típico do Cerrado, com solos hidromórficos, brejos estacionais e/ou permanentes, quase sempre com a presença de buritizais (*Mauritia flexuosa*) e floresta estacional de vegetação arbóreo-arbustiva e fauna variada. Esta comunidade vegetal é responsável pela perenidade e regularidade dos cursos d'água, multiplicação e manutenção da fauna terrestre e aquática, sendo muito sensível às alterações ambientais.

Para MELLO (1978), Vereda é um termo usado regionalmente para designar cabeceiras de cursos d'água, com grupos de matas e renques de buritis, cercados de gramíneas.

Em termos geomorfológicos, LIMA & SILVEIRA (1991) a definem como um “vale” de conformação depressiva rasa, vertentes sub-retilíneas ou suavemente convexas, em declividades suaves (1 a 3%), tornando-se côncavas próximo ao fundo do vale, onde aparecem solos hidromórficos, com forte ruptura de declive ou não.

As Veredas apresentam larga distribuição espacial, pois são abundantes em todas as chapadas do Brasil Central (EITEN, 1983).

Entretanto, a partir do início da década de 1970, a paisagem vegetal natural começa a sofrer grandes modificações, com a forte ocupação das chapadas do Cerrado, com o plantio de reflorestamentos de *Pinus* e *Eucalyptus*, por causa dos incentivos fiscais e o baixo valor das terras. No início dos anos 80, com o PRODECER I (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados), projetos de ocupação agrícola dos Cerrados foram implantados, com intenso uso de tecnologia, insumos e capital. Rapidamente a paisagem foi modificada, com a retirada do Cerrado e a instalação da grande agricultura comercial, principalmente com soja, milho, feijão e café.

Segundo LIMA (1996), é muito raro ver alguma área preservada com Cerrado.

Durante a instalação desse processo antrópico, provocado pela expansão agrícola/pecuária, foram implantados inúmeros reservatórios de água em áreas de Veredas, comprometendo as condições de equilíbrio desse frágil ecossistema.

5.5 Nascentes d'água e origem dos campos hidromórficos

A existência de áreas temporárias ou permanentemente saturadas em água, em nível de superfície, normalmente é produto do afloramento da água freática quando a superfície topográfica intercepta a zona saturada.

NISHIYAMA & ZUQUETTE (1997) apresentam estudo sobre a forma de ocorrência deste processo em áreas do município de Uberlândia (MG). As exposições podem ocorrer em diferentes níveis da encosta, desde os níveis de topo até o fundo dos vales. Via de regra, o mecanismo de ocorrência da água subterrânea em pequena profundidade, ou mesmo a sua exposição, está relacionado à presença de uma ou mais camadas de baixa permeabilidade, que retêm a água infiltrada através da superfície do terreno para níveis sobrejacentes a ela(s). Segundo esses autores, e conforme mostrado na Figura 19, devido à presença de rochas de baixa permeabilidade e das relações com o

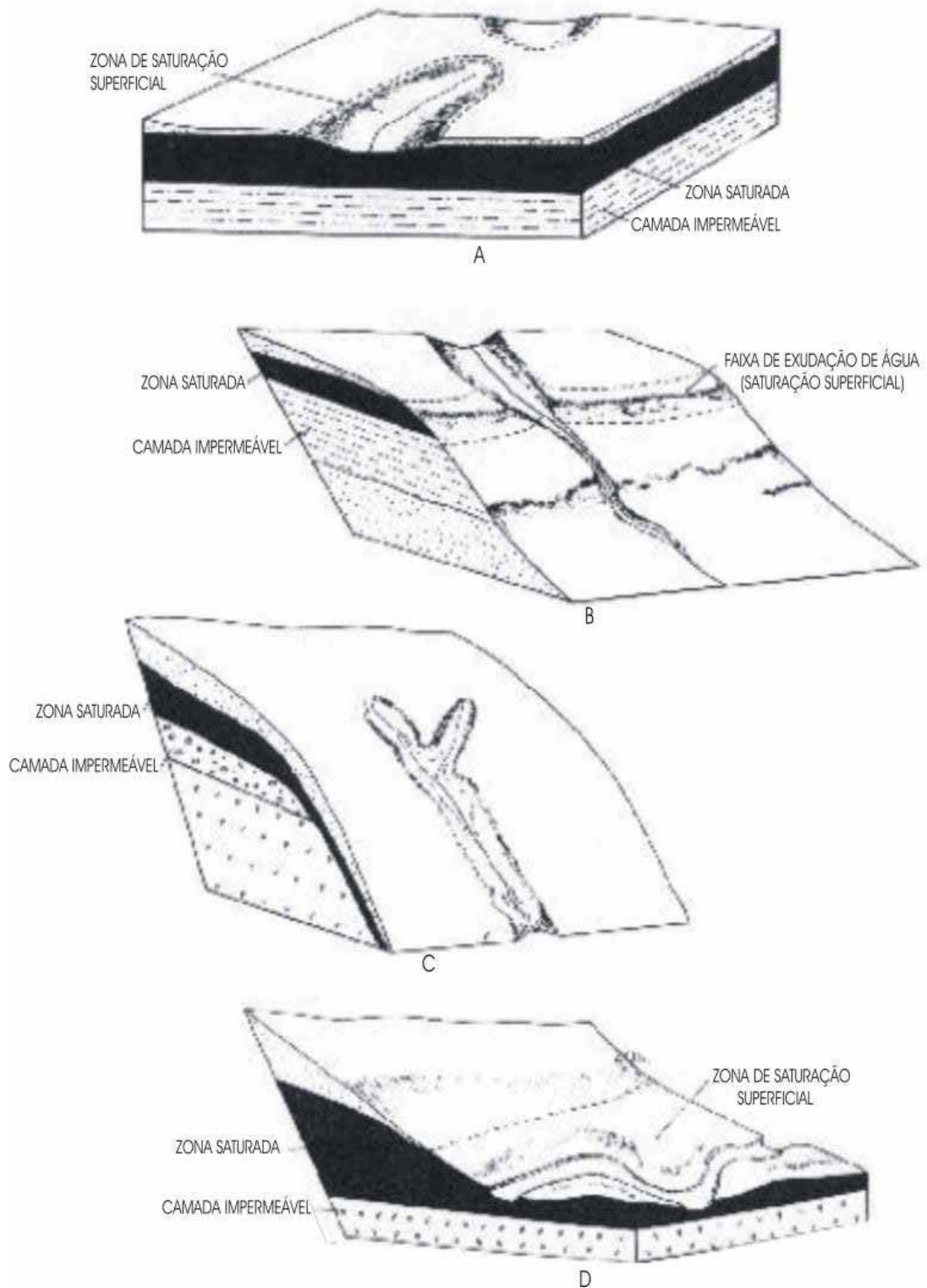


Figura 19 - Formas de ocorrência da água subsuperficial na região de Uberlândia (MG): A- zona de saturação superficial em áreas de relevo plano (chapadas); B- presença de faixa de exudação ao longo da encosta; C- zona saturada subsuperficial, responsável pela presença de nascentes; D- zona de saturação superficial em áreas baixas (fundo de vales). Em todas essas situações apresentadas, a água de infiltração é mantida subsuperficialmente pela presença de camada(s) impermeável(is). (NISHIYAMA & ZUQUETTE, 1997).

relevo e os materiais inconsolidados, as possibilidades de sua ocorrência são as seguintes:

- Zona de saturação superficial em áreas de relevo plano (chapadas);
- Presença de faixa de exudação ao longo das encostas;
- Zona saturada subsuperficial responsável pela presença de nascentes e
- Zona de saturação superficial em áreas de baixos topográficos (fundos de vales).

A Figura 19 (A) explica os processos de formação das áreas saturadas, que desenvolverão os campos hidromórficos, nas superfícies amplas de relevo plano (chapadas). A baixa declividade do terreno nesses locais facilita a infiltração da água de chuva e, conseqüentemente, levam à redução da taxa de escoamento superficial. Por conseguinte, a migração subsuperficial lateral também tende a ser lenta. A presença de uma camada de baixa permeabilidade subjacente retém a água de infiltração em uma zona imediatamente superior a ela.

Como a percolação vertical é limitada pela camada pouco permeável, o fluxo da água praticamente ocorre por escoamento lateral. A baixa velocidade de migração lateral resulta em uma superfície piezométrica horizontalizada e, ao mesmo tempo, de pequena profundidade, a qual pode ser interceptada pela superfície do terreno em áreas deprimidas em relação às porções adjacentes.

As Figuras 19 (B) e (C), por outro lado, representam situações típicas de áreas de relevo com predomínio de colinas. Esses locais tendem a apresentar maiores velocidades de movimentação da água de infiltração e da água subsuperficial, resultando em menor tempo de residência. Entretanto, nos locais mais deprimidos do canal fluvial, também ocorre a exposição da água de subsuperfície e o conseqüente desenvolvimento de áreas com campos hidromórficos.

A Figura 19 (D) configura uma situação de superfície topográfica suavemente inclinada a plana de fundo de vale, onde ocorre a migração de

toda a água das encostas, também com extensas áreas saturadas, propícias para o desenvolvimento de campos hidromórficos.

5.6 Análises Climatológicas

Toda a região do Triângulo Mineiro apresenta duas situações climáticas claramente distintas, compreendendo uma época seca, que abrange o período de maio a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril. Essas condições climáticas regionais bem definidas são reflexos da dinâmica de circulação atmosférica das massas de ar que se estabelecem em toda a porção sudeste do Brasil.

Segundo a EMBRAPA (1982), o regime térmico regional é caracterizado por uma temperatura média anual entre 20 e 24°C, crescendo de leste para oeste. Outubro e fevereiro são os meses mais quentes do ano, com temperaturas médias variando entre 21 e 25°C, e julho o mês mais frio, com temperaturas variando entre 16 e 18°C. Quanto ao regime pluviométrico, a precipitação média anual varia entre 1300 e 1700 mm.

Dados fornecidos pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos-LCRH do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia e obtidos no Posto Climatológico da cidade de Tupaciguara, durante o período de 1997 a 2000, indicam a precipitação média anual de 1318,00 mm para os meses mais chuvosos, compreendidos entre novembro e março. A Tabela 03 contém as informações fornecidas por este Laboratório.

Tabela 03 – Balanço Hídrico do Posto Climatológico de Tupaciguara (MG), do período de 1997 a 2000, que possui latitude 18°35’S, longitude 48°35’W, e altitude 890 m e CC 125 (fonte: LCRH da UFU).

Meses	Temp °C	Prec mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg-ac mm	Arm mm	Alt mm	Etr mm	Def mm	Exc mm
Jan	24,5	291,6	122,8	168,8	0,0	125,0	0,0	122,8	0,0	168,8
Fev	24,8	162,1	112,4	49,7	0,0	125,0	0,0	112,4	0,0	49,7
Mar	24,1	211,1	110,8	100,3	0,0	125,0	0,0	110,8	0,0	100,3
Abr	23,7	34,6	97,6	-63,0	63,0	75,5	-49,5	84,1	13,5	0,0
Mai	21,3	13,9	71,0	-57,1	120,1	47,8	-27,7	41,6	29,4	0,0
Jun	21,1	25,4	64,8	-39,4	159,5	34,9	-12,9	38,3	26,5	0,0
Jul	21,3	09,5	68,4	-58,9	218,5	21,8	-13,1	22,6	45,8	0,0
Ago	23,2	18,0	89,7	-71,7	290,2	12,3	-9,5	27,5	62,2	0,0
Set	24,8	45,3	109,7	-64,4	354,6	7,3	-4,9	50,2	59,5	0,0
Out	25,5	78,7	128,4	-49,7	404,3	4,9	-2,4	81,1	47,3	0,0
Nov	24,3	180,3	112,7	67,6	68,0	72,5	67,6	112,7	0,0	0,0
Dez	24,3	247,5	119,5	128,0	0,0	125,0	52,5	119,5	0,0	75,5
Totais	23,6	1318,0	1207,9	110,1			0,0	923,7	284,2	394,3

A Figura 20 apresenta, segundo a proposta metodológica de ORTOLANI et al. (1970), o gráfico do balanço hídrico para a área em estudo, elaborado pelo método de THORNTHWAIT & MATHER (1955). Para a elaboração desta figura foram utilizados os dados apresentados na Tabela 03.

Da análise do gráfico de balanço hídrico pode-se concluir que os meses compreendidos entre abril e novembro são marcados por uma deficiência hídrica, enquanto que nos meses de dezembro a março existem excedentes hídricos, chegando ao valor máximo de 168,8 mm no mês de janeiro.

Ainda segundo dados fornecidos pelo LCRH, a direção predominante dos ventos na região é de Nordeste. As leituras são efetuadas através de catavento tipo Wild. Os maiores valores registrados referem-se aos meses de julho a setembro, e são da ordem de 2,4 m/s. Segundo o DNMET(1977), o vento com esta velocidade é denominado **vento baixa leve**.

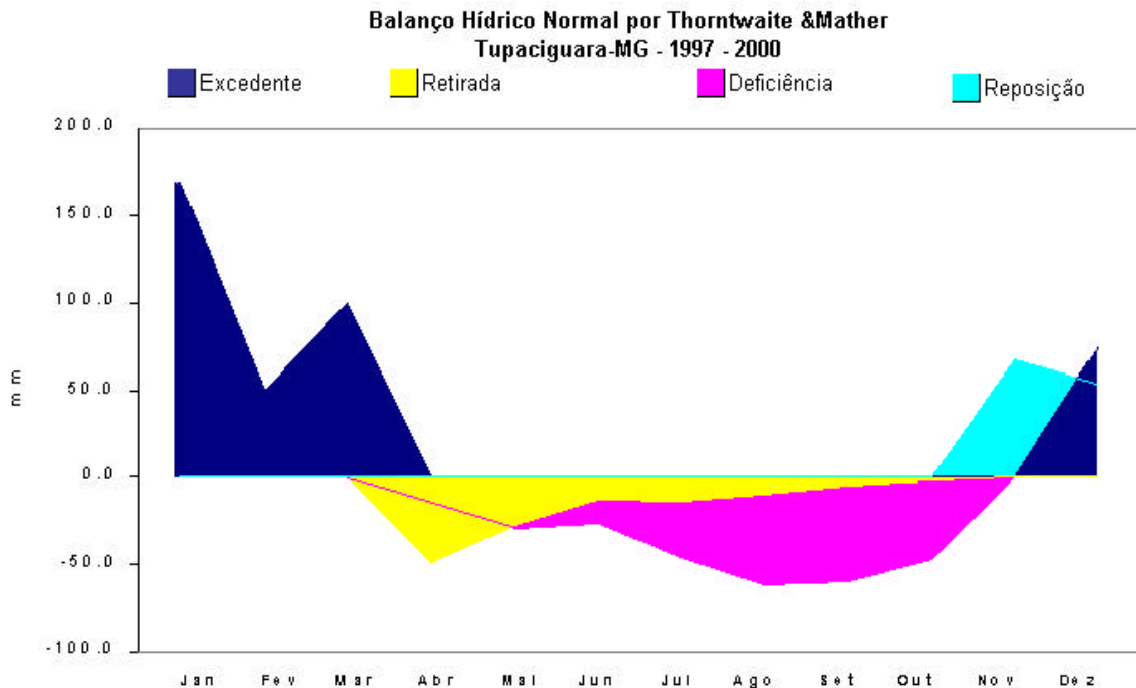


Figura 20 – Gráfico representando o balanço hídrico do Posto Climatológico de Tupaciguara – MG, durante o período de 1997 a 2000 (fonte: LCRH da UFU)

Esta mesma Estação Meteorológica passou a contar, a partir do final do ano de 1997, com um Tanque de Evaporação Classe A, instrumento utilizado para medir a evaporação da água. Utilizando os dados de evaporação deste Tanque para os meses de maior estiagem (maio a setembro), fornecidos pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos, obteve-se um valor médio de evaporação de 5,82 mm/dia para os anos de 1998 a 2000. A Tabela 04 apresenta os valores dos fatores utilizados para a obtenção da evaporação.

Os resultados de evaporação apresentados na Tabela 04 mostram valores crescentes no sentido dos meses mais secos (agosto/setembro), provocados pelas condições climáticas específicas do período analisado, de baixa umidade relativa do ar, que provocam grande diferença de potencial entre a atmosfera e a superfície evaporante, maior tempo de exposição solar (pela pouca ocorrência de nuvens), além da maior incidência de ventos, que ajudam a retirar o excesso de umidade da superfície evaporante. Ressalta-se que a evaporação resultante de um evaporímetro provém de um efeito

conjugado da radiação incidente, do vento ocorrente e do déficit de saturação sobre uma superfície livre d'água.

Este valor médio de evaporação, obtido no Tanque classe A para este período considerado, foi aplicado na correlação proposta por OLIVEIRA (1971) *apud* OMETTO (1981), com valores obtidos em um Tanque de 20 m² que, embora obtido para a cidade de Piracicaba (SP), latitude 22° 42' sul e longitude 47° 38' W.Gr, possibilitou um balizamento para a evaporação média dos reservatórios instalados na nossa área de estudo, para este período mais crítico de estiagem, da ordem de 4,3mm/dia.

Tabela 04 - Resultados de evaporação d'água obtidos no Tanque Classe A instalado na Estação Meteorológica de Tupaciguara (fonte: LCRH da Universidade Federal de Uberlândia)

Ano	Mês	Evap. (mm)	Temp. max. da água (°C)	Temp. mín. da água (°C)
1998	Maio	130,2	33,3	16,9
	Junho	146,2	31,4	15,1
	Julho	163,1	33,7	14,0
	Agosto	191,6	34,8	17,0
	Setembro	218,5	35,6	17,3
1999	Maio	155,3	29,9	12,8
	Junho	155,9	28,7	12,5
	Julho	157,3	29,7	13,3
	Agosto	210,6	30,2	11,3
	Setembro	225,8	30,4	14,1
2000	Maio	150,3	28,1	13,8
	Junho	158,6	31,3	15,3
	Julho	161,2	27,9	13,2
	Agosto	197,4	31,8	15,6
	Setembro	200,0	31,8	17,4

6- MAPAS BÁSICOS FUNDAMENTAIS

6.1 Mapa do substrato rochoso (ANEXO 02)

Os trabalhos de mapeamento geológico disponíveis para a região do Triângulo Mineiro são os produzidos por HASUI (1968) e BARCELOS (1984), ambos em escala 1:500.000 e BARBOSA et al. (1970), em escala 1:250.000. Destacam-se, ainda, outros dois trabalhos, também de cunho regional, produzidos pelo DNPM (1975) e pelo RADAM (1983), ambos em escala 1:1.000.000.

Tais trabalhos, fundamentalmente de natureza litológico-estrutural, metalogenético e faciológico-estratigráfico, foram confeccionados em escalas incompatíveis para a utilização em trabalhos de mapeamento geotécnico, que requerem escalas de semidetalhe e detalhe.

Recentemente, NISHIYAMA (1998) utilizou técnicas de procedimentos de mapeamento geotécnico para o município de Uberlândia (MG), em escala 1:100.000. Baseado nos procedimentos adotados por tal autor, foram confeccionados os mapas do substrato rochoso e de materiais inconsolidados, fundamentais para o desenvolvimento do presente trabalho.

6.1.2 Procedimentos para a elaboração dos mapas do substrato rochoso e dos materiais inconsolidados

6.1.2.1 Caracterização do limite rocha x materiais inconsolidados

NISHIYAMA (1998) preconiza, para esta finalidade, o emprego de perfis de alteração e a técnica de avaliação dos terrenos a partir de suas formas (*landforms*).

A separação dos materiais rochosos, nos seus diferentes estágios intempéricos, dos materiais inconsolidados resultantes da alteração rochosa *in situ* ou retrabalhados baseou-se na análise táctil-visual e na apreciação da

resistência que a rocha oferece ao impacto do martelo geológico, ao risco com lâmina de aço e à pressão dos dedos.

Dentre as várias propostas para classificação dos perfis de alteração de pacotes rochosos, destacam-se a da Geological Society Engineering Group Report (1995); PRICE (1993); Geotechnical Office Control – GCO (1988); GUIDICINI et al. (1972), LITTLE (1969) e IPT (1984).

Neste trabalho, para a classificação geotécnica dos materiais líticos, foram adotadas as propostas de GUIDICINI (1972) e IPT (1984), modificadas. Essas propostas medem, respectivamente, o grau de coerência e de alteração das rochas. A coerência é definida com base nas propriedades da tenacidade, dureza e friabilidade, enquanto a alteração quantifica o ataque das ações intempéricas sofridas pelas rochas. As Tabelas 05 e 06 apresentam as classes para a descrição desses parâmetros utilizados.

A conjugação das classes A3 e C3, ou menores, definiram os materiais líticos do substrato rochoso, enquanto as classes A4 e C4, ou maiores, os materiais inconsolidados.

Tabela 05 - Graus de coerência para classificação geotécnica GUIDICINI et al. (1972), modificada.

COERÊNCIA		
GRAU	DENOMINAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
C1	Muito coerente	Som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo, dificilmente riscada pelo canivete.
C2	Coerente	Som oco, quebra com relativa dificuldade ao golpe do martelo, o canivete produz traços superficiais.
C3	Medianamente coerente	As bordas de um fragmento cedem com dificuldade à pressão digital, facilmente riscado pelo canivete, produzindo sulcos leves.
C4	Pouco coerente (quebradiço)	As bordas de um fragmento podem ser quebradas com pressão digital, facilmente sulcada pelo canivete.
C5	Coerência de solo (friável)	Esfarela com o martelo, desagrega com a pressão digital, pode ser riscada com a unha.

Tabela 06 - Graus de alteração para classificação geotécnica IPT (1984), modificada

DECOMPOSIÇÃO		
GRAU	DENOMINAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
A1	Rocha sã	Matriz e fraturas sem alteração apreciável ou com oxidação apenas ocasional nas fraturas.
A2	Rocha pouco alterada	Matriz e fraturas com alteração incipiente ou alteração da cor dos seus constituintes minerais principais.
A3	Rocha medianamente Alterada	Matriz e/ou fraturas com razoável alteração de seus componentes, permanecendo intactos os mais resistentes.
A4	Rocha muito alterada	Matriz e/ou fraturas muito alteradas, mantidas as estruturas da rocha, podendo haver intercalações menos alteradas.
A5	Rocha extremamente alterada (saprolito)	Matriz e fraturas completamente alteradas, mantendo-se somente a estrutura da rocha original.

- **forma dos terrenos (*landforms*)**

O uso da técnica de avaliação dos terrenos a partir de sua forma (*landforms*), visando à delimitação das unidades de materiais inconsolidados (residuais e retrabalhados) e do substrato rochoso é justificado para trabalhos em áreas extensas (DINIZ, 1992 e LOLLO, 1996) de escalas regionais (1:100.000), onde o emprego dos parâmetros para descrição geotécnica demandaria tempo e custos elevados.

Em função da dificuldade de utilizarem-se as classificações de GUIDICINI et al. (1972) e IPT (1984), modificadas, de maneira a abranger toda a extensão da área de trabalho (2918,89 km²), procurou-se associá-la à técnica de avaliação dos terrenos a partir de suas formas (*landforms*), visando à delimitação das unidades de materiais inconsolidados.

6.1.3 Unidades do substrato rochoso

O substrato rochoso da folha de Tupaciguara é composto pelas seguintes unidades geológicas, de baixo para cima: Grupo Araxá e as Formações Botucatu, Serra Geral e Marília. A Figura 16 apresenta a coluna estratigráfica da região.

6.1.3.1 Grupo Araxá

Na área estudada, o Grupo Araxá é representado por rochas xistosas (Figura 21), com raras intercalações quartzíticas. Os xistos apresentam como minerais mais importantes a granada, a estauroлита e a cianita. Seus litotipos mais comuns são: sericita-clorita xisto, muscovita-biotita xisto e sericita-muscovita granada xisto. Os quartzitos, que constituem horizontes de pequenas dimensões em área e profundidade, possuem a muscovita como mineral acessório mais importante. Estratigraficamente esses litotipos estão sotopostos aos basaltos da Formação Serra Geral.

As rochas do Grupo Araxá afloram apenas na porção nordeste da área, ao longo do vale do rio Araguari e no vale do rio Uberabinha, nas proximidades da sua foz com o rio Araguari.

Com relação a alteração e coerência as litologias xistosas, em condições de superfície, classificam-se como A2/A3, C2/C3 ou superiores nas classes adotadas para este trabalho (GUIDICINI et al. 1972 e IPT, 1984, modificadas). Não foram encontrados materiais rochosos sem sinais visíveis de modificações produzidas pelos fenômenos intempéricos.

Já os quartzitos, mesmo em condições de superfície, apresentam-se bem mais preservados do que os xistos, sendo enquadrados nas classes A1/A2 e C1/C2 (GUIDICINI et al., 1972 e IPT, 1984, modificados).

Como reflexo dos inúmeros eventos tectônicos ocorridos na área durante a evolução dos processos geológicos, esses litotipos apresentam

planos de fraturas bem desenvolvidos, com predominância das famílias com direção NE e NW e valores de 40 a 60°. O mergulho normalmente é alto, próximo da vertical.

Os planos de xistosidade também possuem elevados valores de inclinação, da ordem de 60 a 70°, com mergulho para NW.



Figura 21 - Afloramento de xisto do Grupo Araxá com alteração A2/A3 e coerência C2/C3. Próximo da nascente do córrego Barreiro, afluente da margem direita do rio Araguari.(29/09/1999)

6.1.3.2 Formação Botucatu

Os arenitos da Formação Botucatu são compostos texturalmente por areia fina e média, avermelhada, com baixa porcentagem de finos, grãos arredondados, foscos e bem selecionados.

No local dos nossos estudos apresentam distribuição espacial pouco expressiva, não sendo possível o seu registro na escala de trabalho (1:100.000). Aparecem na forma de lentes descontínuas, repousando diretamente sobre os litotipos do Grupo Araxá e sotopostos aos basaltos da Formação Serra Geral.

Sua exposição também acontece, a exemplo das outras unidades mais antigas, após o entalhe fluvial. Portanto, afloram somente nos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras.

Os tipos litológicos silicificados apresentam elevada resistência mecânica, enquadrados na classe C1 (GUIDICINI et al., 1972, modificado). Já os tipos que possuem pouco ou nenhum cimento silicoso apresentam baixa resistência mecânica, sendo enquadrados na classe C3 ou inferior, de acordo com a mesma escala citada.

6.1.3.3 Formação Serra Geral

Esta formação é representada pelas rochas extrusivas provenientes dos derrames do magmatismo básico (basaltos) e de lentes de arenitos intertrapeanos.

Cada um dos pelo menos cinco derrames sucessivos de basaltos existentes na área são identificados pelos patamares interderrames esculpidos pela evolução do entalhe dos vales, causados pelas diferenças de resistência aos processos erosivos entre o basalto com estrutura maciça, que compõe a porção central dos derrames e o de aspecto amigdaló-vesicular, presente no topo e base de cada um dos derrames.

Ocorrem sobrepostos aos litotipos do Grupo Araxá e são recobertos, na maior parte da folha de Tupaciguara, pelos arenitos da Formação Marília e sedimentos cenozóicos recentes.

Afloram ao longo de todos os vales dos rios Araguari, Uberabinha, das Pedras, Babilônia e Piedade e parcialmente nos vales dos ribeirões Pouso Alegre, Monte Alegre, Bebedouro, Sucuri e Cachoeira e dos córregos Lajeado, Pântano, Macumbé e Capão d'Anta. Nessas áreas de exposição nota-se que os basaltos exibem um intenso fraturamento subvertical e subhorizontal, imprimindo ao maciço rochoso um caráter global fragmentado, normalmente produzindo blocos com dimensões nunca superiores a 0,60m.

Superficialmente os basaltos apresentam um pacote intemperizado, com blocos arredondados com esfoliação esferoidal, imersos numa matriz silto-argilosa proveniente da alteração do próprio basalto, podendo ser enquadrados nas classes A4 e C4 (GUIDICINI, et al., 1972 e IPT, 1984, modificados). Em profundidade, segundo esta mesma classificação, o basalto maciço apresenta alta resistência mecânica, podendo ser enquadrado nas classes A1/A2 e C1 (Figura 22).



Figura 22 - Afloramento de basalto maciço com alteração A1/A2 e coerência C1. Leito do ribeirão Pouso Alegre, poucos metros antes do seu encontro com o córrego Capão d'Anta. (26/05/1999)

6.1.3.4 Formação Marília

Na folha de Tupaciguara a Formação Marília é representada superficialmente pelo Membro Serra da Galga. Esta unidade geológica é composta por arenitos imaturos e conglomerados com seixos de quartzo, quartzito e basalto.

Apesar de ocorrerem em todas as porções de interflúvios e de chapadas, sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral, normalmente não apresentam afloramentos contínuos. Conforme já observado por NISHIYAMA

(1998), a intensa alteração intempérica e os processos de colúviação produzem materiais que recobrem a rocha matriz.

Apenas nas porções mais ricas em cimento carbonático e silicoso, que produzem elevada resistência mecânica às rochas dessa unidade, configuram escarpas que se destacam na topografia e possibilitam, ao longo dos seus taludes, condições de exposição.

Via de regra as litologias dessa unidade apresentam baixa resistência mecânica, C3 ou inferiores (GUIDICINI et al. 1972, modificado), à exceção dos horizontes mais cimentados, que se encaixam nas classes C1/C2 desta mesma classificação (Figuras 23 e 24).



Figura 23 - Arenito conglomerático do Membro Serra da Galga da Formação Marília. Sua cimentação incipiente (coerência C3) confere média a baixa resistência mecânica a este tipo litológico. Vale do córrego Espriado, nas proximidades da cidade de Monte Alegre de Minas. (26/05/1999)

Segundo NISHIYAMA (1998), ao mesmo tempo em que a cimentação carbonática confere maior resistência mecânica, a permeabilidade das litologias com tais características é reduzida, em razão de o carbonato de

cálcio ocupar espaços intergranulares. Como consequência, é comum o surgimento de uma zona saturada, sobrejacente à camada cimentada, e o desenvolvimento de uma faixa úmida nas encostas dos vales fluviais.



Figura 24 - Arenito conglomerático do Membro Serra da Galga da Formação Marília. Sua forte cimentação (coerência C1) confere-lhe alta resistência mecânica. Próximo da BR-365, nas imediações da nascente do córrego Buracão. (09/11/1999)

6.2 Mapa de *landforms* (ANEXO 03)

6.2.1 Sistemática adotada

O mapa de *landforms* foi confeccionado através da sistemática de avaliação do terreno proposta por LOLLO (1996) *apud* NISHIYAMA (1998), direcionada para o levantamento de unidades do meio físico em condições de clima tropical.

Esta técnica, segundo LOLLO & ZUQUETTE (1996), consiste na avaliação do *landforms* e na interpretação do seu significado em termos de materiais que neles ocorrem. Além disso, especificamente para este trabalho,

tal metodologia mostrou-se muito útil na definição das potencialidades dos locais para instalação de reservatórios de águas superficiais.

Empregando esta técnica, NISHIYAMA (1998) obteve o zoneamento do município de Uberlândia em dois níveis hierárquicos: sistemas de terrenos e unidades de terrenos.

6.2.2 Sistema A – Áreas de entalhamento fluvial acentuado, com alta frequência de canais e talwegues, predominantemente de alta declividade

O sistema A engloba todas as áreas que sofreram um acentuado entalhamento decorrente de atividades fluviais (Figura 25). Sua maior exposição em área ocorre na porção nordeste/leste da área estudada, ao longo dos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras e subordinadamente a oeste, noroeste e norte da folha de Tupaciguara, respectivamente no rio Piedade e ribeirões Sucuri e Cachoeira.



Figura 25 - Vale dos rios Araguari e Uberabinha, com entalhamento fluvial acentuado (Sistema A). Foto tomada no vale do ribeirão Gordura, tributário da margem esquerda do Uberabinha (13/05/99).

No vale do rio Araguari e no baixo curso do rio Uberabinha, este intenso trabalho erosivo escavou totalmente os sedimentos da Bacia do Paraná, representados pelos arenitos e conglomerados da Formação Marília, basaltos da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu, exumando as litologias metassedimentares do Grupo Araxá.

No restante da área, o sistema A exhibe o entalhe fluvial sobre as litologias basálticas da Formação Serra Geral e dos arenitos das Formações Botucatu e Marília.

As diferentes configurações de relevo, provocadas pela diversidade de tipos litológicos escavados, possibilitaram, para a finalidade deste trabalho, a definição de 04 unidades para o sistema A, conforme descrito a seguir:

▪ **Unidade A1 – Escarpas alternadas com superfícies de declividades moderadas**

Esta unidade ocorre nos locais onde os rios e ribeirões entalharam seus vales nos diversos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Como resultado deste processo foram originadas superfícies topográficas íngremes, produzindo escarpas que correspondem ao pacote de um derrame basáltico, alternadas com superfícies mais suaves, que formam os horizontes de contato que separam cada um dos derrames existentes (Figuras 26 e 27). A espessura de cada derrame basáltico condiciona a altura das escarpas, que em alguns casos chega a atingir valores de até 50 metros. Segundo NISHIYAMA (1998), o perfil de encosta formado é retilíneo junto à superfície escarpada e côncavo nas superfícies delimitadas pela base das escarpas e as superfícies topográficas mais suaves (Figura 25).

As regiões escarpadas normalmente apresentam elevadas declividades, podendo atingir situações de subverticalidade, enquanto que as superfícies mais suaves exibem declividades variando de 5 a 10% e 10 a 20%.

A maior dimensão de largura dos patamares foi observada no vale do rio Araguari, com cerca de 150 metros, e sua extensão pode chegar à ordem de vários quilômetros, neste mesmo local. Essas faixas de patamares são muito utilizadas para finalidades agrícolas e de pecuária, devido às favoráveis condições de declividade e à qualidade dos materiais inconsolidados presentes.

O substrato rochoso desta unidade é representado pelos vários derrames basálticos da Formação Serra Geral.

O intenso sistema de fraturas desenvolvidos nos basaltos, cuja origem está ligada a sua gênese e ao processo de alívio de carga, ocasionado pelo entalhe fluvial, possibilitam a liberação de blocos de dimensões centimétricas a métricas, que são arrastados encosta abaixo pela ação da gravidade e/ou das correntes pluviais que escoam pela superfície do terreno. O eventual acúmulo desses blocos no sopé das escarpas constitui os depósitos de tálus.

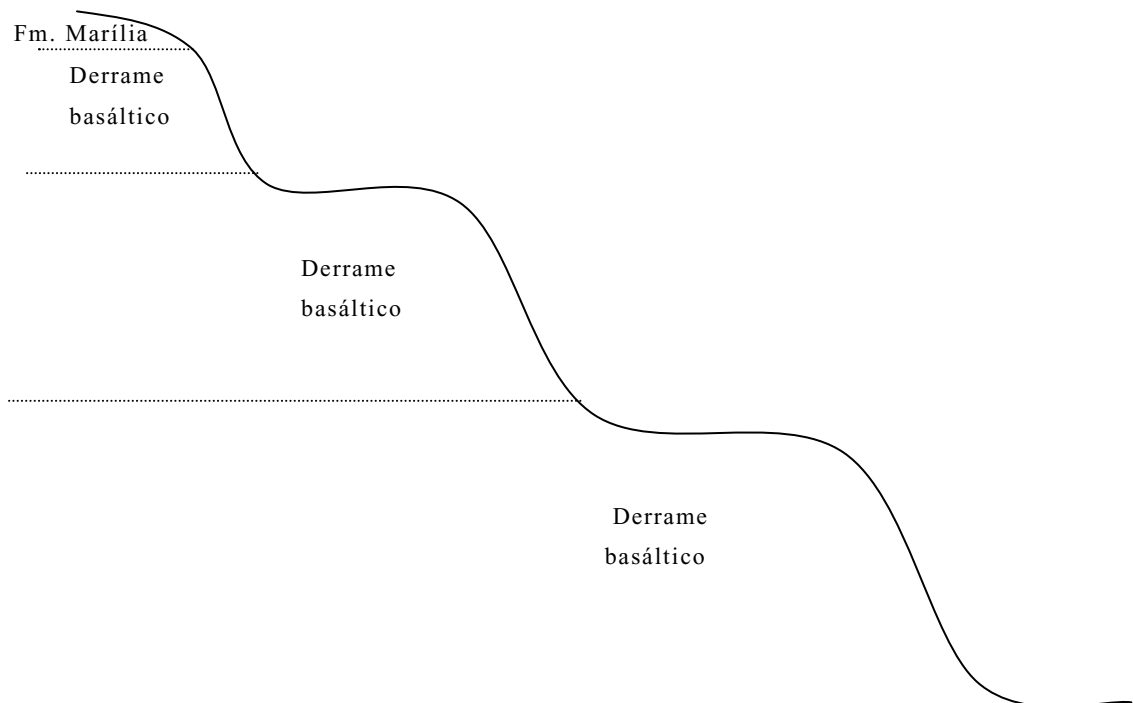


Figura 26 - Croqui típico da unidade A1; mostra uma sucessão de segmentos retilíneos e côncavos alternados. Adaptado de NISHIYAMA (1998).

Os materiais residuais normalmente aparecem ao longo da superfície das escarpas, quase sempre com espessuras inferiores a 1 metro, enquanto os materiais retrabalhados são encontrados nos patamares interderrames ou no fundo dos vales, constituindo os depósitos coluvionares.

Esta unidade apresenta condições favoráveis para a implantação de reservatórios de água pelo sistema tradicional (barramentos dentro do próprio canal de drenagem). Os vales com perfis topográficos íngremes, com declividades de 10 a 20% ou superiores a 20%, indicam boas perspectivas para a instalação de reservatórios para pequenos aproveitamentos hidrelétricos.

▪ **Unidade A2 - Encostas convexo-côncavas com declividade moderada**

Esta unidade desenvolve-se nas porções mais elevadas dos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras, abrangendo uma faixa de largura variável.

Ocorre na região de contato das Formações Marília e Serra Geral e suas imediações, especialmente mais a montante da escarpa, onde a Formação Marília eventualmente apresenta os litotipos arenosos/conglomeráticos mais cimentados, formando uma superfície medianamente a muito inclinada, com valores máximos de 20%. A altura das escarpas, produzidas pelo contato das litologias sedimentares da Formação Marília com os basaltos da Formação Serra Geral, atinge valores máximos de 8 metros (Figura 27). A Figura 28 mostra o perfil esquemático da unidade A2.



Figura 27 - Contato entre as Formações Marília e Serra Geral – Unidade A2 (canto direito superior da figura). À esquerda, relevo formado por derrames de basalto. Vale do córrego Floresta, tributário da margem esquerda do rio das Pedras (13/05/99).

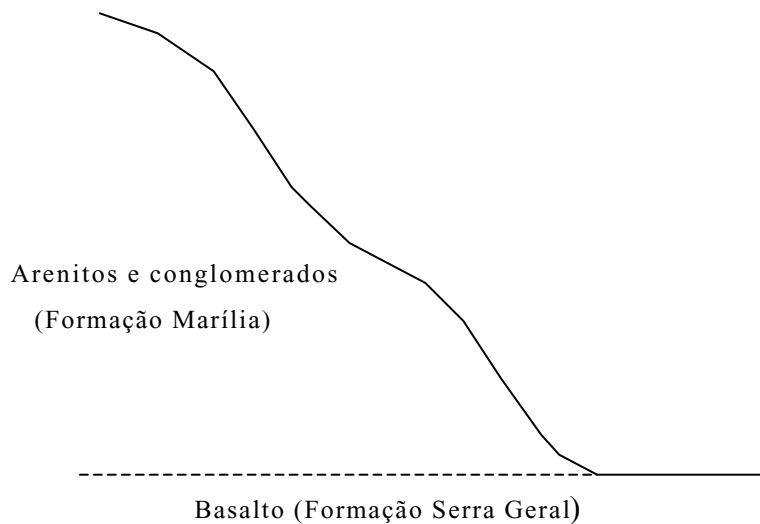


Figura 28 - Croqui típico da unidade A2, com encostas convexo-côncavas que se desenvolvem em litotipos da Formação Marília e prosseguem até o contato com a Formação Serra Geral.

Nesses locais topograficamente mais elevados da unidade A2, tanto a cobertura inconsolidada residual como a retrabalhada são constituídas por

materiais provenientes da Formação Marília, representados por areias com pouca contribuição argilosa e seixos e pedregulhos. Nas porções inferiores da unidade é predominante a presença de materiais inconsolidados residuais argilo-siltosos provenientes da Formação Serra Geral, muito embora tenha sido mapeado um sedimento coluvial misto, com a associação dos materiais predominantemente arenosos da Formação Marília e os argilosos da Formação Serra Geral.

Os processos erosivos também predominam nesta unidade, muito embora deva ser ressaltada a grande contribuição dos processos de transporte e deposição para a configuração atual da unidade, principalmente no que tange ao transporte de seixos e pedregulhos.

Devido à boa capacidade de infiltração das águas pluviais nos materiais inconsolidados retrabalhados, em função da quase ausência de sulcos erosivos (ravinas) e à baixa permeabilidade do substrato rochoso basáltico, nesses locais da unidade é bastante comum a presença de várias nascentes de água (fontes).

A presença de nascentes d'água somente na porção inferior desta unidade, apesar das boas condições de declividade, indica condições pouco favoráveis para instalação de reservatórios de água visando ao aproveitamento hidrelétrico.

▪ **Unidade A3 – Escarpas no contato da Formação Serra Geral com o Grupo Araxá**

Abrange uma estreita e extensa faixa de elevada declividade, situada na região de contato dos basaltos da Formação Serra Geral com os metassedimentos do Grupo Araxá. Ocorre a nordeste da folha de Tupaciguara, no vale do rio Araguari e nas proximidades da foz do rio Uberabinha.

É comum nesses locais situações de subverticalidade das encostas e, embora sejam encontrados locais com declividade menos acentuada, ainda

assim apresentam valores superiores a 20% (Figura 29). Foram observados desníveis de até 35 metros para encostas desta unidade.

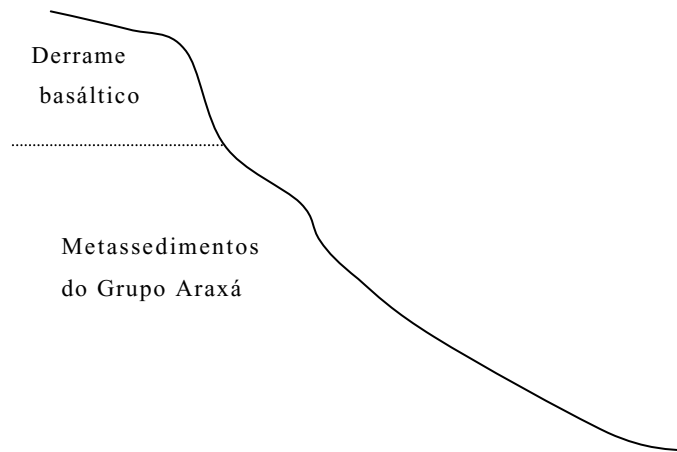


Figura 29 - Perfil esquemático da unidade A3 (NISHIYAMA, 1998)

De acordo com NISHIYAMA (1998), o perfil típico da unidade é retilíneo na porção superior, gradando para côncavo na sua porção inferior.

As encostas com elevados valores de declividade normalmente exibem afloramentos do substrato rochoso ou permitem depósitos de materiais residuais, com espessuras nunca superiores a 1 metro. No pé das encostas, encontram-se materiais retrabalhados (tálus e colúvio), também com espessuras pouco significativas.

Em termos de aproveitamento para instalação de reservatórios, a unidade A3 apresenta condições semelhantes às da unidade A1. Essas duas unidades apresentam bom potencial para instalação de pequenos aproveitamentos hidrelétricos.

▪ **Unidade A4 – Cristas alongadas**

Segundo NISHIYAMA (1998), são formadas por cristas alongadas em disposição subparalela. As encostas apresentam perfil convexo a retilíneo, elevada declividade (valores superiores a 20%) e são intensamente sulcadas

por canais de primeira ordem, em alinhamento mais ou menos paralelo (Figura 30).

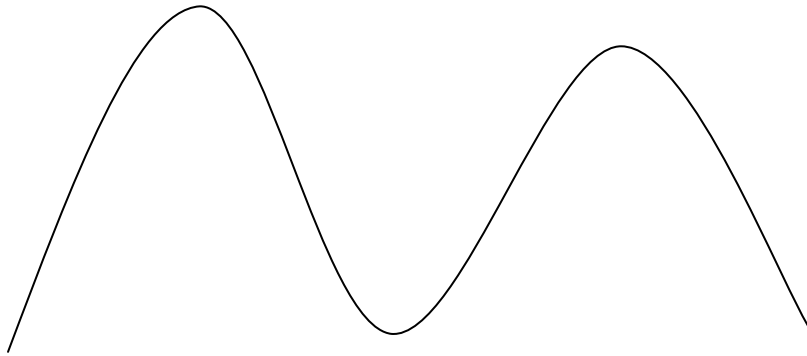


Figura 30 - Perfil típico da unidade A4 (NISHIYAMA, 1998)

Os processos intempéricos, atuando sobre o substrato rochoso composto por micaxistos intercalados com quartzitos, produzem materiais inconsolidados residuais de pequena espessura (inferiores a 2 metros), compostos de matriz argilo-siltosa que envolve muitos fragmentos centimétricos a decimétricos de quartzo e quartzitos. Depósitos de tálus e colúvio de pequenas extensões, formados predominantemente por materiais argilo-siltosos associados a grandes quantidades subordinadas de fragmentos angulosos de quartzo e quartzito, são encontrados em posição de baixa encosta.

Apesar do intenso desenvolvimento de canais de primeira ordem sobre as encostas dos vales fluviais, apresenta fluxo de água temporário, com pouca ou nenhuma contribuição das águas subsuperficiais.

Apesar das boas condições de declividade, o regime de escoamento temporário da maior parte dos canais fluviais das águas superficiais confere a esta unidade poucas possibilidades para instalação de reservatórios de água. Somente os canais de drenagem, oriundos dos basaltos e arenitos que ocorrem

em níveis topográficos mais elevados, apresentam boas condições para armazenamento de água.

6.2.3 Sistema B – Áreas medianamente entalhadas, com média a alta frequência de canais e talvegues predominantemente de média declividade

O sistema B abrange as superfícies de retrabalhamento fluvial sobre os arenitos e conglomerados da Formação Marília, que ocorrem em toda a porção sul da área estudada. Níveis de cimentação carbonática com maior ou menor resistência desses tipos litológicos condicionam a existência de porções com diferentes resistências à erosão. Desta maneira, onde a dissecação erosiva mostra-se acentuada, os divisores de águas e espigões assumem forma de colinas alongadas, com perfil convexo e vales amplos. Entretanto, onde os processos erosivos são menos atuantes, os divisores de água exibem elevações de topos de suaves inclinações e vertentes abruptas, formando feições escarpadas (Figura 31).



Figura 31 - Área medianamente entalhada (Sistema B). Vale do córrego Monte Alegre, a jusante da cidade de Monte Alegre de Minas (16/09/1999).

Esses horizontes mais resistentes do substrato rochoso, por serem pouco permeáveis, provocam o desenvolvimento de zonas saturadas subsuperficiais muito acima da cota dos canais fluviais. Esse fator propicia condições para a existência de áreas permanentemente saturadas, possibilitando o acúmulo de matéria orgânica. Nesses locais desenvolve-se um ambiente com vegetação típica, denominado regionalmente Vereda.

Para a finalidade deste trabalho foram identificadas, na área do sistema B, três unidades de relevo:

- **Unidade B1 – Colinas levemente alongadas, com vales simétricos de encostas moderadamente abruptas, de fundo chato (Veredas)**

Esta unidade medianamente dissecada ocorre em uma extensa área dentro do sistema B, sendo resultante do aprofundamento de canais fluviais sobre materiais predominantemente areno-argilosos retrabalhados, oriundos da Formação Marília.

O substrato rochoso local é representado pelas litologias da Formação Marília, provavelmente com um grau de cimentação incipiente. Por esse motivo não desenvolvem encostas com vertentes muito abruptas.

Inúmeras feições erosivas (ravinas e boçorocas) observadas na área, principalmente nas cabeceiras das zonas saturadas que irão formar o sistema de drenagem local, sugerem que os processos erosivos devam predominar na área.

Os materiais inconsolidados retrabalhados parecem apresentar muita facilidade para infiltração das águas superficiais. Entretanto, o mesmo não ocorre com o substrato rochoso subjacente, o que é justificado pela existência de áreas de saturação hídrica superficial, no fundo das encostas. O pacote de material inconsolidado e restos vegetais que formam esses campos

hidromórficos apresentam extensão lateral mínima de 50 metros e espessura máxima de 8 metros.

Os vales presentes nesta unidade enquadram-se dentro das áreas de preservação ambiental permanentes. Os reservatórios de água, construídos pelo sistema convencional de barramentos dentro do próprio canal de drenagem, produzem alterações ambientais que agridem esse frágil ecossistema fauno/florístico e contribuem para a diminuição dos recursos hídricos. Deve-se ressaltar que as condições desfavoráveis de espessura e extensão lateral do material inconsolidado do subsolo que compõe estes ambientes são condicionantes fundamentais para os inúmeros insucessos construtivos observados.

▪ **Unidade B2 – Superfícies de topos planos e vales com perfil de encosta convexo-retilíneo-côncavo**

O trecho convexo da encosta corresponde à parte superior adjacente aos topos planos. A porção retilínea define as superfícies abruptas (escarpas) e o segmento côncavo indica a porção inferior da unidade, adjacente aos canais fluviais.

As porções topograficamente mais elevadas da unidade, compreendidas pelas superfícies de topo plano e dos segmentos convexos e retilíneos, representam os litotipos mais resistentes da Formação Marília, compostos pelos arenitos e conglomerados com cimentação carbonática (Figura 32). O sistema de drenagem nesses locais evolui para a forma de anfiteatro.

Nas superfícies de topo plano, devido à pequena atividade erosiva, predominam os tipos inconsolidados residuais, de espessura relativamente grande. Nos trechos de segmento retilíneo, devido à alta declividade da encosta, desenvolvem-se materiais inconsolidados residuais, de pequena espessura. Já o segmento côncavo da encosta, graças ao predomínio de declividades moderadas, acumula espessuras consideráveis de materiais inconsolidados retrabalhados.



Figura 32 - Superfície escarpada produzida pelos arenitos e conglomerados com cimentação carbonática da Fm. Marília, mais resistentes (Unidade B2). Em primeiro plano, vale do córrego Pindaíba, próximo à cidade de Monte Alegre de Minas (16/09/1999).

Os materiais inconsolidados presentes nos trechos retilíneos e côncavos das encostas apresentam larga susceptibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados (ravinas e boçorocas).

O nível d'água de subsuperfície desta unidade apresenta-se a pequenas profundidades. Isto se deve à presença das condições do substrato rochoso local (resistente e de baixa permeabilidade), que impede a percolação da água em direção à subsuperfície, passando então a movimentar-se sobre a camada impermeável e em direção lateral até atingir a superfície da encosta e ali formar uma faixa úmida.

As condições de favorabilidade ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados, associadas às situações de superfícies topográficas íngremes, desaconselham a instalação de reservatórios de água nesta unidade. Além dos processos de assoreamento serem muito acentuados, o volume e a velocidade do fluxo de água durante o período das precipitações

pluviométricas concentradas aumenta consideravelmente a possibilidade de galgamento dos barramentos ali instalados.

▪ **Unidade B3 – Vale encaixado com perfil de encosta convexo-côncavo**

Esta unidade é caracterizada por vales encaixados, predominantemente na forma de V e com forte simetria das vertentes.

A declividade das encostas apresenta elevados valores, da ordem de 20% ou até mesmo superior.

Nas porções íngremes das encostas predominam os materiais inconsolidados residuais de pequena espessura das Formações Serra Geral ou Marília. Na parte côncava da encosta e no leito da drenagem, predominam materiais predominantemente argilosos pertencentes à classe dos hidromórficos.

A partir da parte côncava, em direção ao fundo do vale, percebe-se a presença de zona saturada em condições aflorantes.

As condições para instalação de reservatórios de água são favoráveis, à semelhança das considerações descritas para as unidades A1 e A3. Entretanto, somente no baixo curso do rio da Babilônia, onde seus afluentes apresentam condições de declividade de 10 a 20%, existe alguma possibilidade de aproveitamento hidrelétrico.

6.2.4 Sistema C – Áreas de topos aplanados, com relevo pouco entalhado, com média a baixa freqüência de canais e talvegues de baixa a média declividade

Pertencem a esse sistema as áreas que ainda apresentam extensas superfícies aplanadas das chapadas, onde o entalhamento dos canais de drenagem é pouco desenvolvido (Figura 33).



Figura 33 - Área com relevo pouco entalhado (Sistema C). Vale do córrego Buriti, a nordeste da cidade de Monte Alegre de Minas. Notar reservatório instalado em afluente da margem direita do citado córrego, em área de Vereda (26/05/1999).

A maior preservação do relevo desta unidade indica um predomínio dos processos pedogenéticos em relação aos erosivos.

A forma de relevo dominante nessa unidade é o de superfícies aplanadas com encostas convexas, normalmente de baixa amplitude quando escavadas por canais de drenagem, sobre um substrato rochoso da Formação Marília. As porções topográficamente mais elevadas apresentam materiais residuais da Formação Marília, enquanto nas porções mais “baixas” ocorrem os materiais inconsolidados retrabalhados desta mesma unidade geológica.

O sistema C é predominantemente na folha de Tupaciguara em termos de distribuição areal, ocorrendo praticamente em toda a sua porção central, noroeste e norte.

- **Unidade C1 – Encostas de perfil convexo-retilíneo côncavo**

Características semelhantes às descritas na unidade B2.

Esta unidade apresenta ocorrência restrita em três pequenas áreas situadas ao norte da área estudada.

- **Unidade C2 – Colinas amplas com encostas convexo-côncavas suaves e de fundo chato**

A unidade C2 desenvolve-se sobre as áreas de chapada que foram levemente esculpidas pela ação das águas pluviais e fluviais. As porções de topo da unidade, com valores de altitude próximos dos 920 metros, abrangem as superfícies mais preservadas da chapada.

Dentro do sistema C, a unidade C2 é a que apresenta maior distribuição espacial em área.

Seu substrato rochoso é essencialmente composto pelos litotipos da Formação Marília. As litologias arenosas desta unidade estão sobrepostas às litologias conglomeráticas, sendo que estas repousam diretamente sobre os basaltos da Formação Serra Geral.

Tanto os materiais inconsolidados residuais, que ocorrem nas porções mais elevadas dos interflúvios, como os materiais inconsolidados retrabalhados, que aparecem nas porções inferiores das encostas dos vales, apresentam textura predominantemente areno-argilosa. Essa composição textural permite uma elevada capacidade de infiltração de água, possibilitando que nas porções de topo (por causa da baixa declividade) os processos de pedogênese predominem sobre os erosivos. Fazem exceção a esta constatação os processos erosivos desenvolvidos no entorno das cabeceiras das nascentes d'água, conforme citado na descrição da unidade B1. Já nas

porções inferiores das encostas, os processos erosivos (sulcos) são mais frequentes.

A presença do substrato conglomerático (pouco permeável) subjacente, impedindo a continuidade do fluxo vertical da água, possibilita a formação de uma zona subsuperficial “suspensa”, essencial para a formação dos campos hidromórficos e do desenvolvimento das Veredas. À semelhança do que ocorre com a unidade B1, o material inconsolidado e orgânico que compõe o pacote que forma os campos hidromórficos também apresenta extensão lateral mínima de 50 metros e espessura de até 8 metros.

As condições para o sistema de armazenamento das águas fluviais indicados para esta unidade são idênticas às descritas para a unidade B1.

▪ **Unidade C3 – Vales com vertentes abruptas e simétricas de fundo chato**

Nesta unidade, a partir da média encosta dos canais fluviais, a sua forma suave sofre um brusca mudança e dá lugar a uma superfície mais inclinada.

Esta mudança de inclinação muito possivelmente está ligada à presença de litologias mais resistentes, tanto da Formação Marília quanto da Formação Serra Geral.

Nesta unidade ocorre a predominância dos materiais inconsolidados retrabalhados. Apenas, na estreita faixa das superfícies mais inclinadas, podem aparecer os materiais inconsolidados residuais de pequena espessura (menores que 2 metros).

A zona de saturação “suspensa” também ocorre nesta unidade, pelos mesmos motivos explicados na unidade anterior.

Os processos erosivos predominam sobre os pedogenéticos, em função da elevada declividade das vertentes.

A condição para o armazenamento das águas fluviais indicado para esta unidade é idêntica à descrita para as unidades B1 e C2.

▪ **Unidade C4 – Vale com vertentes abruptas assimétricas de fundo chato**

Diferencia-se basicamente da unidade C3 por não apresentar simetria entre as duas vertentes. Uma das vertentes apresenta inclinação suave. As demais características são semelhantes.

A condição para o armazenamento das águas fluviais indicada para esta unidade é idêntica à descrita para as unidades B1, C2 e C3.

6.3 Mapa dos materiais inconsolidados (ANEXO 04)

6.3.1 Definição das unidades dos materiais inconsolidados com base na avaliação de *landforms*

A dificuldade para identificar os materiais inconsolidados retrabalhados existentes na região de Uberlândia (MG), por não apresentarem qualquer relação com os materiais do substrato rochoso local, já havia sido constatada por NISHIYAMA e ZUQUETTE (1996).

Para contornar tal dificuldade, esses autores aplicaram a sistemática proposta por LOLLO (1996), que possibilitou a caracterização dos materiais residuais e retrabalhados baseada na forma dos terrenos, nos processos operantes, nas feições observáveis em fotografias aéreas, em escala de 1:60.000, e em trabalhos de campo.

Como nossa área de estudo está localizada muito próxima e apresenta características muito semelhantes em relação à área enfocada por NISHIYAMA e ZUQUETTE (1996), optou-se também pela aplicação da

técnica desenvolvida por LOLLO (1996). A aplicação desta técnica, voltada para a finalidade específica deste trabalho, em escala de 1:100.000, possibilitou a compartimentação da folha de Tupaciguara em dois níveis hierárquicos: sistemas e unidades de sistemas. Desse modo, foram identificados 3 **sistemas** e 11 **unidades de relevo**.

Concomitantemente aos trabalhos para identificação das formas de relevo, executou-se o levantamento dos processos operantes e dos atributos do meio físico para cada unidade. Os processos analisados foram o geológico-geotécnico, o geomorfológico, o pedológico e o hidrológico-hidrogeológico, conforme mostrados na Tabela 07.

DINIZ (1992); GRANT (1975a, 1975b); LESLIE e KNUEPFER (1990); LOLLO (1996); MELFI (1978); OLIVEIRA e MEIS (1985); SOARES e FIORI (1976); ZUQUETTE (1987 e 1993) e RUHE (1975) *apud* NISHIYAMA (1998) são os autores que produziram estudos e sistemáticas que foram aplicados no conjunto de processos e características apresentados na TABELA 05.

A Tabela 08 apresenta a relação entre os sistemas e unidades de terrenos com os tipos de materiais inconsolidados associados.

Tabela 07 - Processos, atributos e suas características para definição das unidades dos materiais inconsolidados

Processos, atributos e suas características			
Geológico-geotécnicos	Geomorfológicos	Pedológicos	Hidrológico-hidrogeológicos
Sedimentação	erosão (forma do relevo)	pedogênese	Capacidade de infiltração
Deposição	declividade	textura	permeabilidade
Intemperismo	forma e comprimento da encosta	hidromorfismo	escoamento superficial
Erosão	textura de relevo	linha de seixos	densidade de drenagem
Estruturas	amplitude de relevo		fontes naturais
Resistência mecânica	rupturas de relevo		gradiente fluvial
Perfil de alteração			
Tipos litológicos			

Tabela 08 - Relação entre as unidades de terrenos e os materiais inconsolidados

Unidades de relevo	Materiais inconsolidados	
	Residuais	retrabalhados
A1	Pequena espessura da Fm. Serra Geral	Colúvio da Fm. Serra Geral
A2	Pequena espessura das Formações. Serra Geral e Marília	Colúvio: das Formações Serra Geral e Marília e misto destas duas formações
A3	Pequena espessura da Formação Serra Geral e Grupo Araxá.	Colúvio proveniente da Fm. Serra Geral e Grupo Araxá
A4	Pequena espessura do Grupo Araxá	Colúvio proveniente do Grupo Araxá
B1	Espessuras relativamente grandes de materiais de textura arenosa	Colúvio arenoso com espessura relativamente grande
B2	Pequena espessura nas encostas	Colúvio no segmento côncavo da encosta
B3	Pequena espessura e textura argilosa proveniente do basalto da Formação Serra Geral	Colúvio argiloso com eventual presença de seixos e blocos rochosos na porção côncava da encosta
C1	Materiais areno-argilosos de pequena espessura, com seixos da Fm. Marília	Colúvio/colúvio misto com contribuição da Fm. Marília e eventualmente da Fm. Serra Geral
C2	Materiais areno-argilosos oriundos da Formação Marília	Colúvio areno-argiloso
C3	Pequena espessura das Formações Serra Geral e Marília	Colúvio da Fm Marília e de alúvio/colúvio com sinais de hidromorfismo e matéria orgânica
C4	-	Idem

6.3.2 Amostragem sobre materiais inconsolidados

Procedeu-se somente à coleta de amostras deformadas dos materiais inconsolidados. Para efeito estatístico foram coletadas, em locais diferentes, seis amostras de cada um dos materiais com maior representatividade em termos de sua distribuição areal.

O equipamento utilizado para a amostragem foi um trado cavadeira, de diâmetro 4 polegadas. O procedimento de amostragem obedeceu à seguinte seqüência:

- Eliminação do material inconsolidado superficial orgânico (variando no intervalo de 0,0 a 0,20 metros de profundidade).
- Amostragem do material inconsolidado (aproximadamente entre as profundidades de 0,20 a 0,60 metros).

Foi amostrado um total de 54 pontos na área de estudo.

6.3.3 Ensaios de laboratório sobre unidades de materiais inconsolidados

Para a caracterização geotécnica objeto deste trabalho foram executados, nos materiais inconsolidados amostrados, os ensaios de limites de consistência, granulometria conjunta, massa específica e ensaio de compactação (Proctor normal), segundo procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnicas, conforme discriminado abaixo:

- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização ABNT-NBR 6457/86
- Determinação do Limite de Liquidez ABNT-NBR 6459/84
- Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm para determinação da massa específica ABNT-NBR 6508/84
- Determinação do Limite de Plasticidade ABNT-NBR 71/80/84
- Análise granulométrica conjunta (densímetro) ABNT-NBR 7181/84
- Ensaio de compactação (Proctor normal) ABNT-NBR 7182/86

Também foi realizado ensaio de permeabilidade, com carga variável, no próprio material compactado. Para execução deste ensaio o material inconsolidado deformado foi compactado no próprio permeâmetro, com a mesma energia e umidade empregada no ensaio de compactação Proctor normal. A seguir, a sequência do ensaio teve a mesma rotina empregada por STANCATI et al. (1981).

Os ensaios foram executados no Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia. Os resultados desses ensaios encontram-se relacionados em tabelas correspondentes,

inseridas na descrição individual dos diferentes materiais inconsolidados mapeados.

6.3.4 Unidades de materiais inconsolidados

O conjunto de observações obtidas através da avaliação das *landforms*, processos, atributos e suas características, observações e interpretações de campo e ensaios de laboratório, para a finalidade a que se destina este trabalho, possibilitou a identificação de 12 unidades de materiais inconsolidados. Desse total, 5 unidades representam materiais inconsolidados residuais e 7 unidades os materiais inconsolidados retrabalhados.

Materiais inconsolidados residuais

- Residuais de pequena espessura da Formação Marília (RpMA)
- Residuais da Formação Marília (RMA)
- Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RpSG)
- Residuais da Formação Serra Geral (RSG)
- Residuais do Grupo Araxá (RGA)

Materiais inconsolidados retrabalhados

- Retrabalhado argiloso A (Arg A) – colúvio da Formação Serra Geral
- Retrabalhado argiloso B (Arg B) - colúvio das Formações Marília e Serra Geral
- Retrabalhado argiloso C (Arg C) - cobertura de chapadas
- Retrabalhado argiloso D (Arg D) - colúvio do Grupo Araxá
- Retrabalhado arenoso (Ar) – colúvio da Formação Marília
- Depósitos aluvionares/coluvionares indiferenciados, com ou sem camadas orgânicas (Al, Co)
- Hidromórficos (H)

6.3.4.1. Materiais inconsolidados residuais

- Residuais de pequena espessura da Formação Marília (RpMA)

São originados pelos litotipos mais resistentes da Formação Marília, representados por conglomerados e arenitos conglomeráticos, geralmente cimentados pelo carbonato de cálcio. São compostos por sedimentos de textura areno-argilo-siltosa.

Ocorrem nas encostas dos vales fluviais e, devido à maior resistência oferecida aos processos erosivos, normalmente exibem superfícies de elevada declividade. Por este fator, quase sempre apresentam espessuras inferiores a 2 metros.

Sua distribuição espacial situa-se nas porções superiores das vertentes dos afluentes dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras e ao longo das escarpas situadas ao sul da folha de Tupaciguara.

A coloração apresentada varia entre diversas tonalidades de vermelho, podendo ser caracterizada segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946), variando entre 2,5 YR, 4/4 e 5,0 YR, 5/8. Ensaio de laboratório realizados sobre amostras da unidade resultaram, em termos de valores máximos e mínimos, conforme apresentados na Tabela 09.

Tabela 09 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados residuais de pequena espessura da Formação Marília (RpMA)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		máx./min			
						p	ar	si	ag
2,73/ 2,67	46,22/ 42,57	22,63/ 21,14	17,2/ 16,6	1,76/ 1,71	6,7x10 ⁻⁷ / 1,1x10 ⁻⁷	4,3/ 2,1	51,8/ 45,0	23,7/ 17,9	33,1/ 28,2

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Residuais da Formação Marília (RMA)

Têm como origem as litologias arenosas da Formação Marília.

Ocupam as regiões de topo dos interflúvios e normalmente exibem espessuras que variam de 5 a 10 metros. Apresentam predominantemente textura arenosa, muito embora subordinadamente ocorram na unidade porcentagens variáveis de fração mais fina (silte e argila).

A coloração apresentada pelos residuais da Formação Marília contém várias tonalidades do vermelho e do amarelo, segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946), variando de 2,5 YR, 3/6 e 5,0 YR, 5/8.

Distribuem-se descontinuamente em todos os setores da área estudada, sempre ocupando as porções elevadas dos divisores de água. A Tabela 10 apresenta os valores máximos e mínimos para os ensaios realizados em amostras desta unidade.

Tabela 10 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados residuais da Formação Marília (RMA)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		máx./min			
						p	ar	si	ag
2,770/ 2,675	22,22/ 19,57	15,45/ 12,14	11,8/ 10,5	1,95/ 1,92	4,8x10 ⁻³ / 1,5x10 ⁻⁵	2,0/ 0,0	71,8/ 68,0	8,5/ 4,0	26,5/ 22,2

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RpSG)

São provenientes da decomposição dos basaltos da Formação Serra Geral. São encontrados em locais de elevada declividade, como as encostas fluviais e encostas de patamares entre derrames e por este motivo exibem pequenas espessuras, nunca superiores a 2 metros.

Apresentam textura argilo-siltosa a silto-argilosa, quase sempre contendo muitos fragmentos alterados a pouco alterados de basalto, de dimensões predominantemente centimétricos. Sua coloração varia desde o amarelado ao arroxeado e vermelho escuro.

Ocorrem ao longo das vertentes basálticas com declividade acentuada. Esta unidade foi encontrada nos vales dos rios Araguari, Uberabinha, das Pedras, Babilônia e Piedade e nos córregos do Pântano, Sucuri ou Grande e Cachoeira.

- Residuais da Formação Serra Geral (RSG)

Ao contrário dos residuais da unidade precedente, os residuais da Formação Serra Geral exibem espessuras superiores a 2 metros e raramente ultrapassam 5 metros. Sua composição textural é predominantemente argilo-siltosa e a coloração vermelho-escuro, ou 2,5 YR, 3/4 segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946).

Estão presentes ao longo dos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras, normalmente associados às porções de menor declividade. Ensaio de laboratório executados em amostras desta unidade estão contidos na Tabela 11.

Tabela 11 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados residuais da Formação Serra Geral (RSG)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		máx./min			
						p	ar	si	ag
3,056/ 2,992	57,0/ 55,6	40,60/ 39,14	31,5/ 30,8	1,567/ 1,445	4,7x10 ⁻⁶ / 1,5x10 ⁻⁶	-	15,8/ 9,5	32,7/ 27,0	59,1/ 54,6

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Residuais do Grupo Araxá (RGA)

Esta unidade engloba todos os materiais inconsolidados resultantes da decomposição dos litotipos do Grupo Araxá, representados predominantemente pelos xistos e subordinadamente pelos quartzitos.

Ocorrem em condições topográficas de média a elevada declividade e apresentam composição textural silto-argilosa, com elevado teor de minerais lamelares (micas), representados principalmente pela muscovita (sericita) e quantidades apreciáveis de blocos rochosos centimétricos a decimétricos de quartzo, quartzito e xisto, dispersos na matriz. Sua coloração é formada por várias tonalidades do cinza claro, ou 7,5 YR, 7/ a 5/, segundo a MUNSSELL COLOR CHART (1946). Apresentam valores de espessuras que raramente ultrapassam os 5,0 metros. Ensaio de laboratório executados em amostras desta unidade estão apresentados na Tabela 12.

Sua área de ocorrência está restrita aos vales dos rios Araguari e Uberabinha, sendo neste último somente nas proximidades da sua foz com o rio Araguari.

Tabela 12 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados residuais do Grupo Araxá (RGA)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		p	ar	si	ag
2,721/ 2,692	47,0/ 45,6	38,60/ 31,14	23,5/ 21,8	1,557/ 1,465	1,9x10 ⁻⁶ / 1,0x10 ⁻⁶	8/ 3	25,8/ 21,5	15,7/ 12,5	57,0/ 52,2

γ_s = massa específica dos sólidos

LL= limite de liquidez

LP= limite de plasticidade

Wot= umidade ótima

γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho

ar= areia

si= silte

ag= argila

6.3.4.2 Materiais inconsolidados retrabalhados

- Retrabalhados argilosos A (Arg A) – colúvio da Formação Serra Geral

Todos os materiais retrabalhados argilosos provenientes da contribuição dos residuais da Formação Serra Geral foram agrupados nesta unidade.

São depósitos colúviais situados no “pé” de encostas com declividade acentuada. Sua composição textural, espessura e cor pouco diferem dos residuais da Formação Serra Geral, exceto pela eventual presença de blocos de basalto e fragmentos de quartzo.

Estão presentes ao longo dos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras, em superfícies topográficas menos inclinadas. Ensaios de laboratório executados em amostras desta unidade estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13– Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados retrabalhados argilosos da Formação Serra Geral(Arg A)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		p	ar	si	ag
3,048/ 3,037	55,22/ 53,57	38,63/ 36,14	28,75/ 26,40	1,565/ 1,487	2,6x10 ⁻⁶ / 1,6x10 ⁻⁶	-	14,0/ 9,0	31,0/ 25,0	62,0/ 55,0

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Retrabalhados argilosos B (Arg B) – colúvio das Formações Marília e Serra Geral

São depósitos colúviais resultantes de contribuições tanto dos residuais arenosos da Formação Marília quanto dos residuais argilosos da Formação

Serra Geral. Situam-se portanto nas regiões mais elevadas dos vales fluviais, próximas do contato entre as litologias que compõem essas duas formações.

Sua composição textural e cor são variáveis e dependem da porcentagem do material de contribuição, muito embora na nossa área de estudo ocorra um franco predomínio da fração mais fina (silte e argila) sobre a arenosa. Entretanto, via de regra, podem predominar frações arenosas de cor vermelho pálido, quando a maior contribuição for proveniente dos residuais da Formação Marília, ou frações argilosas de cor vermelho-escuro, quando a maior contribuição for dos residuais da Formação Serra Geral. Não foram observadas espessuras superiores a 5 metros para esta unidade.

Aparecem nos afluentes dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras e no baixo curso do rio Babilônia. A Tabela 14 contém os valores dos ensaios de laboratório executados nos materiais inconsolidados desta unidade.

Tabela 14 - Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados retrabalhados das Formações Serra Geral e Marília (Arg B)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		máx./min			
						p	ar	si	ag
3,063/ 2,949	62,9/ 44,3	45,3/ 33,1	30,5/ 26,5	1,536/ 1,394	2,27x10 ⁻⁷ 8,12x10 ⁻⁸	6,0/ 1,1	14,0/ 6,0	35,4/ 27,5	60,5/ 53,5

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Retrabalhados argilosos C (Arg C) – cobertura de chapadas

Materiais desta unidade ocorrem sobre as porções mais elevadas do terreno, acima das elevações de aproximadamente 880 metros, que regionalmente correspondem às coberturas de chapada do Cerrado. Constituem superfícies topográficas com baixa declividade, nunca ultrapassando valores de 5%.

Apresentam textura argilo-areno-siltosa, de coloração predominantemente amarelada, 7,5 YR, 4/6 e 5/6, segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946) e espessura variando desde 3 até 15 metros.

Grande parte do traçado da rodovia BR-452 acompanha sua exposição na área estudada.

A Tabela 15 apresenta os resultados dos ensaios de laboratório executados nas amostras desta unidade.

Tabela 15 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados retrabalhados de cobertura de chapadas (Arg C)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		p	ar	si	ag
2,632/ 2,393	51,22/ 44,00	37,4/ 32,7	26,0/ 23,2	1,548/ 1,490	4,80x10 ⁻⁶ / 1,51x10 ⁻⁶	-	23,6/ 22,0	17,5/ 14,0	64,0/ 60,0

γ_s = massa específica dos sólidos

LL= limite de liquidez

LP= limite de plasticidade

Wot= umidade ótima

γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho

ar= areia

si= silte

ag= argila

- Retrabalhados argilosos D (Arg D) – colúvio do Grupo Araxá

Esta unidade engloba todos os materiais de origem coluvial provenientes do Grupo Araxá.

Apresentam coloração predominantemente vermelha, 7,5 YR, 5/8, segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946), e composição textural variando de argilo-arenosa a argilo-siltosa, com fragmentos angulosos de quartzo e quartzito de dimensões milimétricas a centimétricas. Foram mapeadas espessuras variando de 2 a 5 metros para esta unidade.

Ocorrem em áreas restritas no vale do rio Araguari. Ensaios de laboratório executados em materiais desta unidade estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados argilosos retrabalhados do Grupo Araxá (Arg D)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabilidade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		máx./min			
						p	ar	si	ag
2,790/ 2,695	53,5/ 51,2	31,6/ 29,2	23,4/ 22,2	1,587/ 1,495	2,4x10 ⁻⁶ / 1,9x10 ⁻⁶	2,0/ 1,0	31,5/ 28,7	16,0/ 12,0	56,1/ 50,5

γ_s = massa específica dos sólidos
LL= limite de liquidez
LP= limite de plasticidade
Wot= umidade ótima
 γ_d = massa específica seca máxima

p= pedregulho
ar= areia
si= silte
ag= argila

- Retrabalhado arenoso (Ar) – colúvio da Formação Marília

São resultantes do retrabalhamento dos materiais da Formação Marília. Possuem coloração variando de vermelho-escuro ao amarelado, 2,5 YR, 3/6 e 5,0 YR, 5/6, segundo a MUNSELL COLOR CHART (1946), e textura predominantemente arenosa, com variações na porcentagem de argila e silte. Sua espessura varia no intervalo de 2 a 12 metros.

São encontrados ao longo das encostas fluviais que apresentam condições de declividade média a altas (5 a 20%). Essa condição topográfica desfavorável, associada à textura predominantemente arenosa, imprime a esta unidade condições de maior susceptibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos acelerados(ravinas e boçorocas), comparativamente aos outros tipos arenosos.

É a unidade de maior distribuição areal, ocorrendo praticamente em toda a área estudada. Os resultados dos ensaios de laboratório executados nesta unidade estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados de ensaios nos materiais inconsolidados retrabalhados arenosos da Formação Marília (Ar)

γ_s (g/cm ³) máx./min.	Limites(%)		Compactação		Permeabili- dade (cm/s) máx./min	Granulometria (%)			
	LL máx./min	LP máx./min	Wot(%) máx./min	γ_d (g/cm ³) máx./min		p	ar	si	ag
2,969/ 2,725	36,7/ 24,7	23,8/ 13,4	15,9/ 11,8	1,957/ 1,793	2,4x10 ⁻⁵ / 2,5x10 ⁻⁶	9,0/ 0	68,0/ 50,0	14,0/ 8,0	33,1/ 23,0

γ_s = massa específica dos sólidos

p= pedregulho

LL= limite de liquidez

ar= areia

LP= limite de plasticidade

si= silte

Wot= umidade ótima

ag= argila

γ_d = massa específica seca máxima

- Depósitos aluvionares e coluvionares indiferenciados, com ou sem camadas orgânicas (Al,Co)

São compostos por materiais que foram depositados após o seu transporte fluvial ou destacados das encostas pela ação das águas pluviais e da gravidade e depositados na planície aluvionar.

Normalmente a porção coluvionar apresenta materiais com textura mais uniforme (areias ou argilas), enquanto a aluvionar exibe textura mais variada, inclusive com a presença de seixos, predominantemente de quartzo e quartzito. É comum também a ocorrência de horizontes com camada orgânica, normalmente associada aos materiais de origem aluvial. Suas espessuras são variáveis, podendo atingir até 5 metros. Apresentam cores variegadas, com predominância do vermelho-amarelado e cinza-esbranquiçado.

Em função da escala do mapeamento (1:100.000), esses materiais inconsolidados, de origens distintas, tiveram pouca representatividade, ocorrendo de forma mapeável apenas na margem esquerda do ribeirão Cachoeira, ao norte da área estudada.

- **Hidromórficos (H)**

Esta unidade ocorre em parte considerável da área estudada, embora de forma não contínua, pois está associada aos canais de drenagem em ambiente mal drenado. É bastante comum a presença de camadas orgânicas, contínuas ou alternadas, com espessuras decimétricas a métricas (em média de 1 metro). Apresenta textura predominantemente argilosa, muito embora frequentemente seja observada alguma contribuição arenosa. Sondagens a trado executadas nesses locais indicaram que esses materiais apresentam espessuras variando de 2 a 6 metros e possuem baixa resistência mecânica, pois normalmente o avanço da perfuração ocorria com o próprio peso da composição das hastes. A coloração predominante engloba o cinza escuro/preto, muito embora subordinadamente ocorram o amarelo, o ocre e o branco-acinzentado.

O desenvolvimento de um ecossistema fauno-florístico típico de ambiente de Cerrado, denominado Vereda, ocorre preferencialmente nestes campos hidromórficos.

6.3.4.3 Análise dos resultados dos ensaios de laboratório executados nos materiais inconsolidados

Os ensaios de granulometria conjunta revelaram que, na área estudada, podem ser separados dois grupos distintos de materiais inconsolidados, com possibilidade para emprego na construção de aterros. Os arenosos, originados da Formação Marília (materiais RpMA, RMA e Ar), e os argilosos, provenientes dos basaltos da Formação Serra Geral (materiais RSG, Arg A e Arg B), do Grupo Araxá (materiais RGA e Arg D) e os de cobertura de chapadas (material Arg C). Os materiais argilosos RpSG foram descartados para utilização com esta finalidade; nem mesmo foram ensaiados, por causa da grande quantidade de fragmentos rochosos alterados e pouco alterados de dimensões centimétricas dispersos na sua matriz, que dificultariam a compactação de camadas de pequena espessura para confecção de aterros.

Pelo sistema unificado de classificação dos solos (SUCS), desenvolvido por CASAGRANDE (1942) *apud* BUREAU OF RECLAMATION (1972), os solos arenosos podem ser identificados pelo símbolo SC (areia argilosa) e os argilosos por CL (argila pouco plástica). De acordo com a tabela apresentada por PARRA (1986), que possibilita o dimensionamento da inclinação dos taludes de barragens homogêneas sobre fundações estáveis, para os materiais arenosos SC, em condições de não rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório, o talude de montante teria inclinação de 2,5H:1V e o de jusante de 2H:1V. Para situação de rebaixamento rápido, a inclinação do talude de jusante permaneceria a mesma e o de montante seria de 3H:1V. Já os materiais argilosos CL, para condições de não rebaixamento rápido, seria de 3H:1V no talude de montante e 2,5H:1V no talude de jusante. Para situação de rebaixamento rápido, seria de 3,5H:1V no talude de montante e também de 2,5H:1V no de jusante.

A porcentagem da fração fina (silte e argila) presente nas unidades mais arenosas conferiu a esses materiais excelente qualidade para a sua compactação. Os baixos valores de permeabilidade obtidos nos ensaios executados em material compactado destas unidades arenosas, que variam de 10^{-5} a 10^{-7} cm/s, comprovam a qualidade desses materiais para esta finalidade. Os baixos valores de umidade ótima sugerem boa trabalhabilidade para esses materiais, em comparação com os mais argilosos.

Os materiais argilosos, em que pese a maior dificuldade para sua trabalhabilidade na confecção de aterros, em função dos altos valores de umidade ótima, também se mostram adequados para essa finalidade. Os ensaios de permeabilidade executados nesses materiais também apresentaram baixos valores, variando de 10^{-5} a 10^{-8} cm/s.

6.4 Mapa de uso e ocupação atual do solo (ANEXO 05)

6.4.1 Generalidades

A expressão “uso do solo” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. Visa delimitar a distribuição das áreas ocupadas principalmente pela agricultura, pastagem, vegetação natural e áreas urbanas e edificadas. Dentro do enfoque principal deste trabalho e para permitir a perfeita visualização de como ocorre a ocupação dos vales, é apresentada também a localização dos reservatórios existentes na área. Por causa da escala deste trabalho (1:100.000), a representação dos reservatórios cadastrados teve caráter apenas ilustrativo, não refletindo necessariamente as suas dimensões reais.

O conhecimento das áreas ocupadas pela agricultura, principalmente a agricultura irrigada, acaba sendo um fator primordial para mensurar a quantidade e a forma de utilização da água dos reservatórios superficiais.

6.4.2 Materiais e técnicas utilizadas

O mapa de uso e ocupação atual do solo e de inventário dos reservatórios foi elaborado a partir da interpretação da imagem TM (Thematic Mapper) de satélite (LANDSAT 5), na escala 1:100.000, utilizando-se as bandas de sensibilidade 4 e 5. Essa imagem permitiu, sem muitas dificuldades, a identificação dos reservatórios existentes. Como se dispunha somente da imagem tomada no mês de janeiro do ano de 1992, foi necessária a atualização das informações, que foram implementadas através dos levantamentos executados nos vários trabalhos de campo efetuados na área, durante o período de maio de 1999 a setembro de 2000.

A interpretação da imagem foi elaborada a partir dos critérios definidos por LIMA et al. (1989). A banda de sensibilidade 4 possibilitou a identificação das culturas temporárias (soja e milho) e das áreas reflorestadas

(*Eucalyptus*), enquanto a banda 5 foi útil na discriminação de áreas de pastagem e cerrado.

Considerando-se a finalidade deste estudo, a resolução e a escala da imagem utilizada e as informações colhidas durante os trabalhos de campo, chegou-se à separação do seguinte conjunto de unidades:

- Áreas urbanas
- Reservatórios existentes
- Mata/cerradão
- Cerrado
- Mata ciliar
- Campo hidromórfico
- Reflorestamento
- Pastagem/campo sujo
- Cultura temporária anual (soja e milho)
- Cultura temporária de ciclo inferior a 3 anos (abacaxi)
- Cultura temporária irrigada (soja e milho)
- Cultura temporária irrigada (abacaxi)
- Cultura perene irrigada (café e laranja)

6.4.3 Resultados obtidos

A análise do mapa de uso e ocupação atual do solo indica que a folha de Tupaciguara apresenta o predomínio de pastagem/campo sujo, vindo logo a seguir a cultura temporária, irrigada ou não. Refletindo esta intensa ocupação antrópica, são poucas as áreas preservadas com vegetação natural, outrora compostas preferencialmente por cerrado e cerradão/mata.

A região de maior ocupação agrícola coincide com o sistema C do mapa de *landforms* (mapa do ANEXO 03), que aponta relevo pouco acidentado e, portanto com maior facilidade de desenvolvimento da agricultura mecanizada. Nos sistemas A e B deste mesmo mapa a ocupação ocorre predominantemente para o desenvolvimento da pecuária.

A cultura do abacaxi, irrigado ou não, ocorre predominantemente dentro do sistema B do mapa de *landforms* (mapa do ANEXO 03). A produtividade desta cultura irrigada é muito alta, pois permite a sua colheita anualmente, enquanto nos locais não irrigados a colheita é feita, em média, a cada 2,5 anos.

A área estudada possui 319 reservatórios instalados. Desse total, 224 estão localizados em vales ocupados por campos hidromórficos com Veredas e 95 em vales comuns, ocupados ou não por vegetação ciliar.

A própria água utilizada para o abastecimento urbano da cidade de Tupaciguara é obtida através de reservatório instalado em área de Vereda no córrego Taperão, localizado ao sul da cidade. Já a cidade de Monte Alegre de Minas é abastecida por água captada em poços tubulares profundos.

6.5 Mapa da rede de drenagem, bacias de terceira ordem e balizamento de dados hidrológicos regionais e locais (ANEXO 06)

6.5.1 Obtenção

A rede de drenagem e as bacias hidrográficas foram confeccionadas a partir da interpretação de fotografias aéreas da USAF, em escala de 1:60.000, obtidas no ano de 1964.

A rede de drenagem resultante é composta pelos canais de fluxo perene ou permanente e os de fluxo temporário, que dão vazão somente às águas pluviais de escoamento superficial.

De posse da rede de drenagem, procedeu-se à sua subdivisão, onde o limite das bacias foi traçado sobre uma linha imaginária que une os pontos topográficos mais elevados dos espigões. Essa subdivisão obedeceu prioritariamente às bacias de terceira ordem, com base na hierarquia fluvial proposta por STRAHLER (1952). A aplicação desta técnica possibilitou a

utilização da área de algumas dessas bacias (em km²) para o cálculo do rendimento específico, conforme explicitado a seguir.

De posse deste mapa, foi desenvolvido estudo comparativo entre valores de fenômenos hidrológicos (especificamente o rendimento específico médio mensal: contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência (em l/s.km²), desenvolvidos pela COPASA (1993), de carácter regional, e os obtidos na área estudada, através de leituras de vazões em alguns cursos d'água que representam o total de água fluvial escoada em determinada bacia de terceira ordem, e que posteriormente também foram transformados para a unidade de l/s.km².

A COPASA (1993), baseada em dados hidrológicos de todo o estado de Minas Gerais, obtidos durante o período de 1939 a 1989, apresentou os estados característicos dos fenômenos hidrológicos através de rendimentos específicos ou contribuições unitárias, expressas em l/s.km². Esses estados característicos foram representados para a média de longo termo e também para os extremos, máximos e mínimos, sendo estes dois últimos de duração mensal e recorrência decenal. Foram determinados a partir das séries hidrométricas mensais, com o emprego de técnicas de regionalização e de análise estatística. A Tabela 18 apresenta os valores médios obtidos pela COPASA (1993), para a área estudada.

Tabela 18 - Valores médios de rendimento específico para a área estudada, obtidos através de dados hidrológicos de 50 anos (COPASA, 1993)

Tipo	Rendimento específico (l/s.km ²)
Rendimento específico médio mensal: contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência	3 a 4
Rendimento específico médio mensal: contribuições unitárias máximas com 10 anos de recorrência	35 a 42
Rendimento específico médio de longo termo	12 a 14

As medidas de vazões efetuadas em alguns cursos d'água foram realizadas pelo método do flutuador, durante o pico do período de estiagem (meses de agosto e setembro dos anos de 1999 e 2000), conforme procedimentos descritos pela ELETROBRAS-DNAEE (1985). O objetivo deste procedimento foi medir o volume de água que escoava na unidade de tempo, usando um flutuador, no período considerado mais seco do ano.

As leituras de vazões foram executadas preferencialmente nos vales comuns, que concentram o volume de água no fundo do canal, e os pontos foram escolhidos de maneira aleatória. Nos canais de drenagem com campos hidromórficos, devido à água não estar concentrada em um único canal e sim dissipada em várias porções do vale ocupado pela Vereda, nem sempre é possível efetuar medidas de vazões. Somente em alguns canais de drenagem ocupados por Veredas foi possível realizar tais leituras. O ANEXO 06 apresenta o mapa da rede de drenagem, bacias de terceira ordem e balizamento de dados hidrológicos regionais e locais.

6.5.2 Resultados obtidos

A análise da rede de drenagem fotointerpretada possibilitou a distinção de três situações de densidade de canais, caracterizadas como de alta, média e baixa densidade. A relação do número de canais (temporários, efêmeros e perenes) de uma bacia hidrográfica foi determinada pela distância medida perpendicularmente aos canais (quilômetro linear). Bacias com índices iguais ou inferiores a 0,5 canais/km foram consideradas de baixa densidade; superiores a 0,5 e inferiores a 1,2 canais/km, de média densidade; e maiores que 1,2 canais/km, de alta densidade.

A situação de alta densidade de drenagem ocorre nos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras e na região mais escarpada de *landforms* moderadamente dissecada (unidade B), mais ao sul da área estudada.

A condição de baixa densidade desenvolve-se preferencialmente nas porções mais elevadas das áreas pouco dissecadas de *landforms* (unidade C).

Já a condição de média densidade ocorre preferencialmente nas porções topográficamente inferiores das áreas pouco e medianamente dissecadas de *landforms* (respectivamente, unidades C e B).

Os canais de fluxo temporário desenvolvem-se com frequência em duas situações. A primeira, sobre os materiais inconsolidados residuais e retrabalhados do Grupo Araxá, no vale do rio Araguari e no baixo curso do rio Uberabinha. A segunda, nas escarpas formadas pela maior resistência dos arenitos da Formação Marília.

As leituras de vazões de canais de drenagem em bacias de terceira ordem, posteriormente transformadas em rendimento específico ($l/s.km^2$) e apresentadas no mapa do ANEXO 06, quando comparadas com o rendimento específico médio mensal - contribuições unitárias mínimas com 10 anos de recorrência efetuadas pela COPASA (1993), apresentados na TABELA 18 - de maneira geral mostraram boa correlação. Entretanto, esses resultados obtidos devem ser interpretados apenas como um indicativo para aferição, pois para determinadas situações específicas podem ocorrer valores discrepantes em relação aos valores médios obtidos. O valor mais discrepante ocorreu na bacia do rio Bonito, por causa de uma nascente d'água com vazão excepcionalmente alta em relação às que comumente ocorrem.

6.5.3 Análise dos resultados

As áreas de domínio das condições de baixa densidade de drenagem estão associadas aos locais com baixa declividade.

As condições de alta densidade de drenagem estão relacionadas aos locais com presença de substrato rochoso resistente e pouco permeável (conglomerados com cimentação carbonática da Formação Marília e basaltos da Formação Serra Geral). A maior resistência produz superfícies topográficas com elevada declividade (escarpas) e a sua baixa permeabilidade provoca, em alguns locais das encostas, exsudação de água, que favorece o

desenvolvimento de grande número de canais de drenagem, especialmente os de 1º ordem.

De maneira geral, as porções com baixa densidade de drenagem apresentam bacias de 3ª ordem mais extensas, enquanto nas porções com elevada densidade de drenagem essas bacias apresentam menor extensão.

Conforme relatado no capítulo 2.3 deste trabalho, o dimensionamento de reservatórios sempre é dificultado pelo caráter estocástico dos futuros deflúvios superficiais. Entretanto, através da boa correlação observada entre os rendimentos específicos locais (obtida com as leituras de vazão de alguns córregos) e os valores regionais apresentados pela COPASA (1993), em nível indicativo e por causa da consistência dos dados de 50 anos, é extremamente interessante a utilização dos valores de rendimento médio de longo termo divulgado por esse órgão para o dimensionamento de reservatórios, pelo menos para a área estudada.

7 - CARTAS DERIVADAS INTERPRETATIVAS

7.1 Generalidades

Neste trabalho, à exceção da carta de declividade, foi empregado o sistema de superposição controlada, utilizando os mapas básicos para a obtenção das cartas derivadas e interpretativas.

7.2 Carta de declividade

Por representarem espacialmente as variações topográficas da superfície do terreno, as cartas de declividade têm se constituído em uma ferramenta de grande importância para os trabalhos de mapeamento geotécnico.

Conforme a proposta metodológica desenvolvida por ZUQUETTE (1987), os mapas topográficos, que irão gerar as cartas de declividade, devem apresentar escalas adequadas à escala do mapeamento. No caso de mapeamento em escala 1:100.000, a equidistância mínima desejável entre as curvas de nível deve ser de 20 metros. Para valores maiores, pode-se ter áreas relativamente extensas, mapeáveis na escala adotada, não sendo consideradas.

Por esse motivo, a carta de declividade elaborada para este trabalho foi obtida a partir de mapas topográficos confeccionados pelo Ministério do Exército, com escala de 1:25.000 e equidistância entre curvas de nível de 10 metros. A razão do emprego dessas informações topográficas nesse nível de detalhamento deveu-se à não adequabilidade do mapa topográfico produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1976) para a finalidade de elaboração da carta de declividade, apresentada em escala 1:100.000 e equidistância de 50 metros entre as curvas de nível.

Neste trabalho, optou-se pela metodologia proposta por DE BIASI (1970), que determina a declividade através da utilização de um ábaco contendo intervalos de classe preestabelecidos, que ao ser deslocado entre duas curvas de nível do mapa topográfico, indica áreas homogêneas de igual

declividade. Como esse autor não especificou como seria a determinação da declividade nos vales fluviais e nos topos de elevações circundados por uma mesma curva de nível, foi necessária a utilização de um ábaco complementar, proposto por SANCHES (1993), para preencher esta lacuna.

Os limites dos intervalos de declividade são previamente escolhidos, em função da escala do mapeamento, das características de inclinação dos terrenos, da finalidade da carta e dos valores limites de declividade para cada tipo de ocupação. Para a representação dos valores de declividade na carta correspondente, foram adotadas cinco classes de declividades, propostas por ZUQUETTE (1987): 0 a 2%; 2 a 5%; 5 a 10%; 10 a 20% e maior que 20%.

As cartas de declividades resultantes dos mapas topográficos em escala 1:25.000 passaram por uma redução, a fim de viabilizar a sua utilização, da escala original para 1:100.000, porém mantendo-se o mesmo grau de detalhamento.

Conforme o esperado, a carta de declividade preliminar resultante tornou-se um documento de difícil leitura, por causa dos inúmeros pequenos polígonos gerados por frações do terreno com o mesmo índice de declividade. Por esse motivo, esse produto foi submetido a um processo de generalização.

7.3 Carta de declividade generalizada (ANEXO 07)

Estabeleceu-se que seria realizada uma generalização por vizinhança, ou seja, os pequenos polígonos trocariam de classe, influenciados por outros maiores que lhes fossem vizinhos, salvo aqueles situados próximos à rede de drenagem, que seriam generalizados para classes de menor declividade, para não descaracterizar o traçado dos vales.

Para execução de tal tarefa, optou-se pela utilização da técnica desenvolvida por GUERRA (1998), que consiste na eliminação de polígonos pequenos, através de um teste estatístico. Para a finalidade de emprego da carta de declividade neste trabalho, verificou-se que a generalização das

unidades com área em mapa inferiores a 50 mm² (correspondente a 0,5 km² do terreno) mostrou-se adequada, pois além de manter as características originais de distribuição espacial do documento original, permitiu uma maior facilidade de leitura para a carta gerada.

7.3.1 Resultados

A generalização da carta de declividade preliminar permitiu uma melhor visualização e conseqüente utilização do atributo declividade para a caracterização do meio físico e para a obtenção de outras cartas interpretativas e derivadas. Mesmo porque muitas áreas delimitadas na carta de declividade em escala 1:25.000, como classes de declividade, não apresentam qualquer significado espacial na escala de 1:100.000.

A interpretação da carta de declividade generalizada possibilitou o reconhecimento de três compartimentos distintos quanto à presença de unidades de classes de declividade.

O primeiro, onde predominam as classes de declividade de 10 a 20% e maiores que 20%, ocorre nos vales dos rios Araguari, Uberabinha e das Pedras. Está associado às áreas do sistema A do mapa de *landforms*, e é representado pelos xistos e quartzitos do Grupo Araxá e os basaltos da Formação Serra Geral.

O segundo compartimento contém a predominância de classes de declividades de 2 a 5% e 5 a 10%, muito embora em três locais bem definidos - a sudeste da folha, no baixo curso do rio Babilônia e ao norte/noroeste da cidade de Monte Alegre de Minas - ocorram expressivamente declividades de 10 a 20%. Nos locais de afloramento das porções mais resistentes da Formação Marília é comum a presença de declividades superiores a 20%. Corresponde à área abrangida pelo sistema B do mapa de *landforms* e associa-se às litologias arenosas e conglomeráticas da Formação Marília. No caso do baixo curso do rio Babilônia, está associado às escarpas produzidas pelos derrames de basaltos da Formação Serra Geral.

Já no terceiro compartimento ocorrem preferencialmente condições de baixa declividade, com predominância das classes de 0 a 2% e 2 a 5%, muito embora a parte inferior das encostas dos vales e seus talvegues exibam normalmente declividades de 5 a 10% e, mais raramente, até de 10 a 20%. Compreende a área de domínio do sistema C do mapa de *landforms* e está associado às porções de chapadas ou cimeiras do Cerrado.

7.4 Carta de predisposição à erosão (ANEXO 08)

7.4.1 Generalidades

A carta de predisposição à erosão reflete a tendência para a instalação de processos erosivos, não considerando as variáveis quanto ao progresso do processo e o tipo final de feição a ser desenvolvida. Portanto, esta carta tem como objetivo principal identificar as áreas mais predispostas ao aparecimento de feições erosivas, que poderão gerar remoção de materiais da superfície do terreno e produzir carga sedimentar para o assoreamento de canais e reservatórios.

7.4.2 Obtenção

A elaboração da carta de predisposição à erosão baseou-se na sistemática proposta por PEJON (1992), a qual consiste em atribuir pesos às diferentes variações dos atributos, de acordo com sua maior ou menor influência no desenvolvimento da predisposição à erosão. Quanto maior a influência, maior o peso atribuído à variação do atributo.

Nesta relação *atributo x peso*, optou-se pela adoção do modelo empregado por GUERRA (1998), que considera o princípio do desenvolvimento do processo erosivo conforme o esquema apresentado na Figura 34 e segundo o sistema representado pelo fluxograma de relações, constante na Figura 35.

Para a confecção da carta de predisposição à erosão foram avaliados os seguintes atributos: tipos litológicos, materiais inconsolidados, uso e ocupação atual do solo e declividade associada com a precipitação.

Adotaram-se três classes de predisposição à erosão, caracterizadas como baixa, moderada e alta predisposição. A somatória dos pesos atribuídos a cada atributo inferior a 9 pontos definiu a classe de baixa predisposição; entre 9 e 16 pontos, a de moderada predisposição; e superior a 16 pontos a de alta predisposição.

A Tabela 19 mostra as variações dos atributos avaliados e as suas respectivas pontuações, de acordo com a sua maior ou menor influência no desenvolvimento da predisposição à erosão.

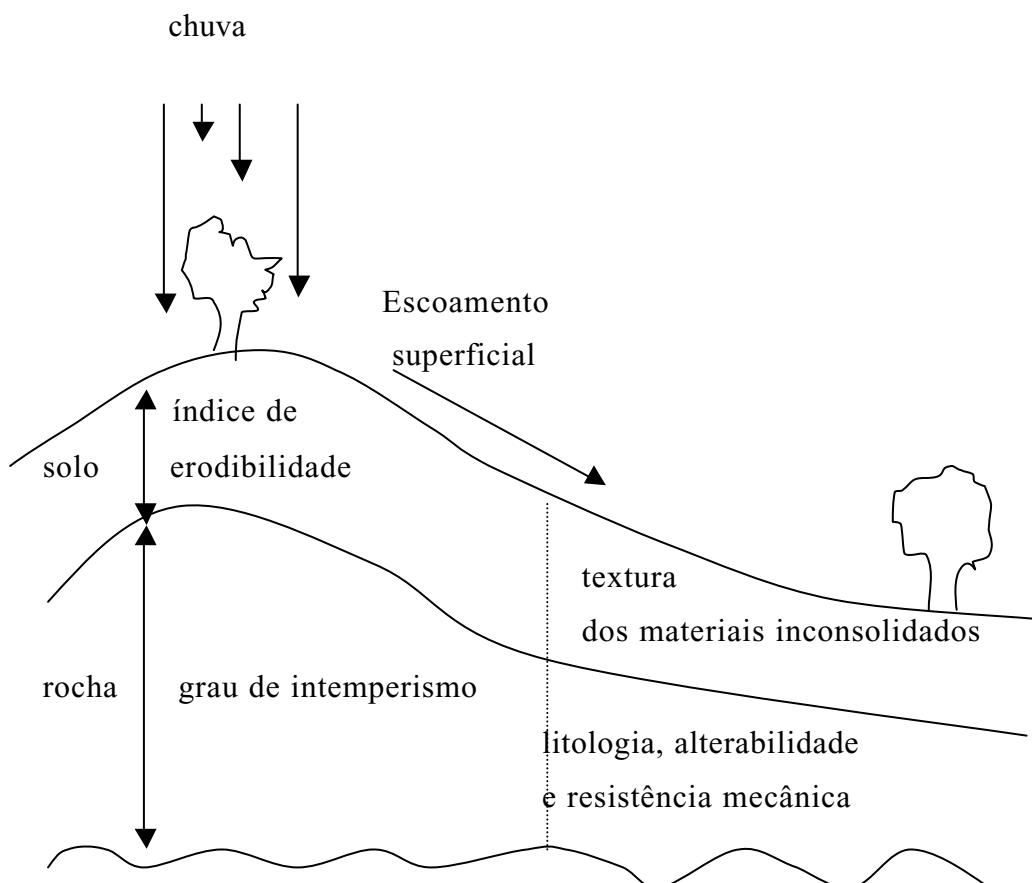


Figura 34 - Forma de desenvolvimento do processo erosivo (GUERRA, 1998)

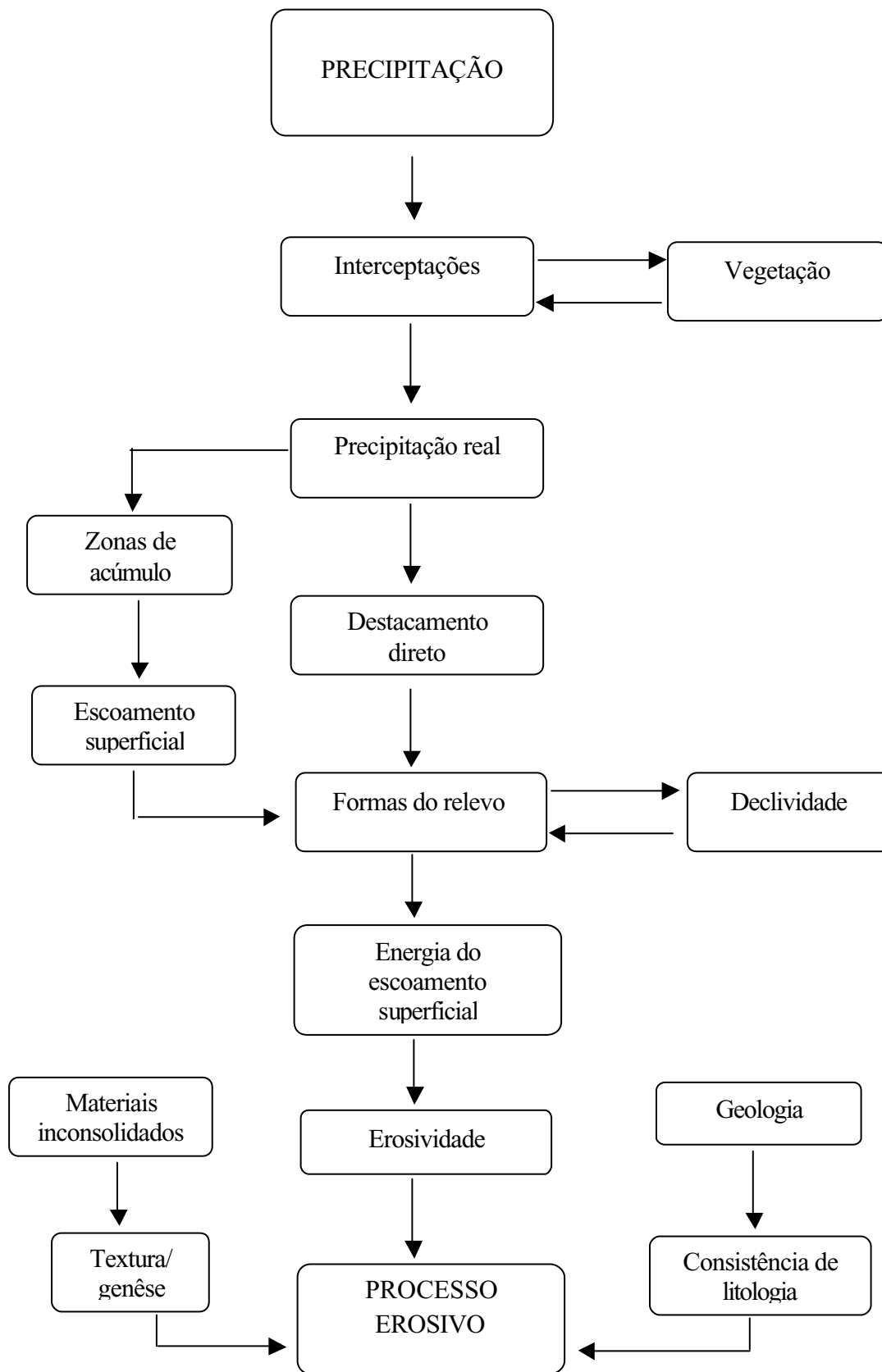


Figura 35 – Fluxograma para elaboração da Carta de predisposição à erosão (GUERRA, 1998, adaptado)

TABELA 19 - Atribuição de pontos para os atributos do meio físico para confecção da carta de predisposição à erosão (PEJON, 1992, adaptado)

Classes de predisposição à erosão	Alta	Moderada	Baixa
Total de pontos de cada classe	> 16	09 a 16	<9
Declividade (%)	> 20 (5)	5 a 10 (3)	0 a 2 (1)
Materiais inconsolidados (textura/genêse)	- Arenosos (retra- balhados) da Fm Marília - Depósitos aluv./coluv. - Hidromórficos - Arenosos (res. peq. esp) da Fm. Marília - Arenoso residual da Fm. Marília (4)	- Argilosos (res.peq. esp) da Fm. Serra Geral - Argilosos (retr.) da Fm. Serra Geral - Arenosos/argilosos Fms. Marília/S. Geral (3)	- Argilosos (residuais) da Fm. Serra Geral - Argilosos (retrabalhados) de cobertura de Chapadas (1)
Substrato rochoso (litologia)	Arenitos da Fm. Marília (5)	Xistos e quartzitos do Grupo Araxá (4)	Conglomerados e arenitos com cimentação carbonática da Fm. Marília (2)
Uso e ocupação atual do solo	- Cultura temporária (soja/milho) - Cultura temporária irrigada (soja/milho) (5)	- Campo hidromórfico - Pastagem/campo sujo - Cultura perene irrigada (café/laranja) (4)	- Reflorestamento - Cerradão/mata - Mata ciliar (2)

() = pontuação atribuída aos atributos analisados

7.4.3 Resultados

A área estudada foi caracterizada, quanto à predisposição à erosão, em termos de três classes: baixa, moderada e alta predisposição.

A situação de baixa predisposição é a de menor incidência na área estudada e ocorre em duas situações distintas: a primeira, em alguns locais dispersos ao longo dos vales dos rios Araguari e Uberabinha, nos trechos de jusante do rio Piedade, ribeirão Sucuri ou Grande e córrego do Pântano, sempre associados com materiais inconsolidados residuais e retrabalhados originados da Formação Serra Geral e vegetação tipo mata/cerradão e mata galeria; e a segunda, em pequenas porções dispersas de superfícies aplanadas, associadas aos materiais inconsolidados argilosos de cobertura de chapada, com declividade inferior a 5% e cobertura vegetal mata/cerradão, localizadas nas proximidades da área urbana do município de Tupaciguara.

A classe de moderada predisposição ocorre praticamente em toda a área mapeada, associando-se principalmente aos materiais inconsolidados residuais geneticamente relacionados à Formação Marília, juntamente com declividades de até 10% e com cobertura vegetal tipo mata/cerradão ou mata galeria, e aos materiais inconsolidados residuais e retrabalhados provenientes da Formação Serra Geral e do Grupo Araxá.

A condição de alta predisposição é predominante na área estudada, e está associada preferencialmente aos materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Marília, com situação de declividade superior a 10% e sem cobertura vegetal permanente.

Situação de vegetação ciliar em materiais inconsolidados retrabalhados ou residuais originados da Formação Serra Geral configuram condição de baixa predisposição à erosão.

As áreas que englobam as cabeceiras dos campos hidromórficos sempre configuram situação de alta predisposição à erosão. Dentro deste contexto,

genericamente toda situação de campo hidromórfico, que se desenvolve em materiais inconsolidados retrabalhados originados da Formação Marília, foi associada com a condição de alta predisposição à erosão.

7.4.4 Análise dos resultados

A situação mais crítica para o desenvolvimento de situação de alta predisposição à erosão está relacionada com os materiais inconsolidados residuais e principalmente os retrabalhados provenientes da Formação Marília, associados a declividades superiores a 10% e à falta de cobertura vegetal adequada e permanente. O fator determinante para esta situação detectada é a ocupação antrópica, provocado pelo desmatamento da vegetação natural para a implantação de atividade agrícola/pecuária.

Como esta situação é predominante na área estudada, percebe-se a alta probabilidade para a remoção de materiais da superfície do terreno pela ação do fluxo d'água concentrado. Este processo, responsável pelo aumento progressivo de remoção da carga sedimentar, além de levar à completa inutilização do solo agrícola, irá provocar o assoreamento de reservatórios instalados nos canais de drenagem.

Desta forma, é imprescindível que a ocupação antrópica/agrícola desenvolvida nestas áreas seja feita com as técnicas de conservação do solo adequadas (por exemplo, terraceamento e curvas de nível), além de ações que possibilitem preservar ou recompor a vegetação de entorno dos canais de drenagem, para minimizar o carreamento de partículas sólidas pelas águas pluviais e impedir solapamentos e escorregamentos das suas margens, procedimentos que contribuirão para diminuir o assoreamento nos reservatórios ali instalados.

7.5 Carta de avaliação geoambiental em áreas de Cerrado para a implantação de pequenos reservatórios superficiais de água (ANEXO 09)

7.5.1 Procedimentos para elaboração

A carta de avaliação geoambiental da folha de Tupaciguara, voltada para a finalidade de implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, foi desenvolvida com base nos levantamentos de campo específicos sobre o assunto, informações produzidas e representadas nos mapas básicos e nas cartas derivadas e interpretativas, somadas às informações contidas nas leis ambientais estaduais e federais vigentes sobre a ocupação dos canais de drenagem.

Inicialmente foram separados os diferentes tipos de canais de drenagem existentes na área, ou seja, os de vales comuns, que desenvolvem vegetação ciliar, e os com campos hidromórficos que desenvolvem os ecossistemas típicos da região, denominados Veredas. Os ambientes com Veredas apresentam restrições para este tipo de ocupação antrópica, seja pelas leis ambientais que as consideram como áreas de preservação permanente, seja pela baixa qualidade geotécnica e grande espessura e extensão lateral dos materiais inconsolidados ali presentes, sendo estes últimos os fatores condicionantes para a dificuldade de sua remoção.

Em seguida, devido a essa restrição de ocupação, é sugerida a aplicação do sistema de derivação controlada de água, que permite o armazenamento da água em reservatórios construídos fora dos campos hidromórficos. O sistema de derivação proposto, mostrado na Figura 36, é constituído por um canal lateral e reservatório(s) implantado(s) fora da área de preservação permanente, de maneira a não agredir esse frágil ecossistema.

O volume de água a ser desviado e a quantidade de reservatórios construídos serão função da quantidade de água disponível e das necessidades previstas pelos usuários, sempre obedecendo, para o caso do estado de Minas Gerais, o controle efetivo do limite máximo para derivações a fio d'água, que

é de 30% do $Q_{10,7}$ (vazão mínima natural de dez anos de recorrência com sete dias de duração). Este padrão normativo visa manter o fluxo de 70% para a porção jusante do ponto de captação e deve ser gerenciado pelos órgãos governamentais que fornecem as outorgas de água, juntamente com os próprios usuários da água, representados pelos Comitês de Bacias criados para gerenciar o uso dos recursos hídricos. Este conjunto de procedimentos permitirá o controle do uso dos recursos hídricos, evitando o conflito entre os usuários e a super-exploração de determinadas bacias.

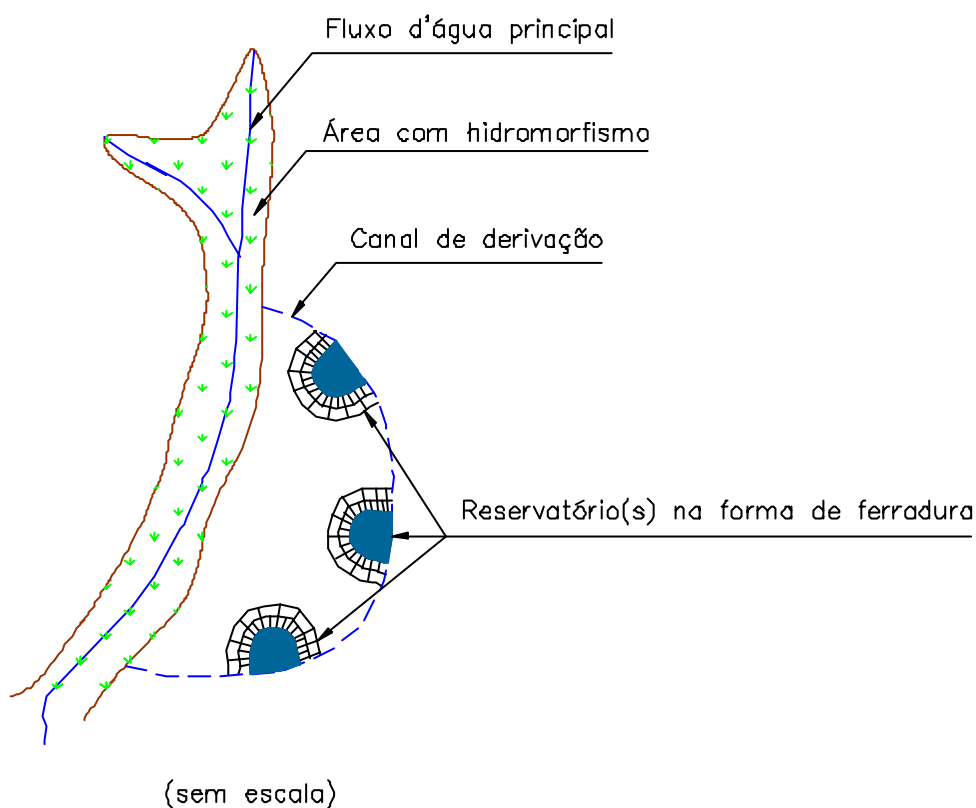


Figura 36 - Sistema de derivação proposto, para implantação de reservatório(s) fora da área de preservação permanente (Vereda).

A finalidade do canal lateral é possibilitar o transporte por gravidade de um determinado volume de água derivado do canal de drenagem até o reservatório(s). Este canal deve ser construído com a menor declividade possível e ser protegido com capim ou vegetação natural, devido à alta predisposição à erosão a que os materiais ali presentes estão sujeitos (ver

carta no ANEXO 08). Mesmo assim, é interessante a construção de um tanque para sedimentação de partículas sólidas imediatamente antes da entrada do reservatório, para minimizar a possibilidade do seu assoreamento ao longo do tempo.

No sistema de água corrente implantado, a água não aproveitada no reservatório(s) seria devolvida novamente ao canal lateral e posteriormente ao canal de drenagem. Esses reservatórios teriam aproximadamente o formato de “ferradura”, aproveitando a própria declividade da encosta.

Na construção deste(s) reservatório(s) alternativo(s) para armazenamento de água fora da área de preservação permanente, deverão ser obedecidos os mesmos critérios geotécnicos preconizados para os barramentos convencionais, ou seja, espessura das camadas de material inconsolidado nunca superior a 0,20 m, manter as condições de umidade do material sempre próximas da umidade ótima, compactar com rolo compactador (pé de carneiro), proteção do aterro contra processos erosivos, manutenção, etc. Outra grande vantagem desse tipo de aterro, pela menor solicitação hidráulica em relação aos aterros implantados dentro dos canais de drenagem, é que não há necessidade de ser construído o sistema de drenagem interna (filtros).

Para os canais de drenagem comuns, com ou sem vegetação ciliar, devido à falta de restrições para sua ocupação em relação às leis ambientais, geometria favorável dos vales associada normalmente a pequena extensão lateral e espessura dos corpos de materiais inconsolidados ali presentes, os reservatórios podem ser implantados dentro do próprio canal, sempre com o cuidado de recompor a vegetação ciliar. Entretanto, em condições topográficas favoráveis, também é recomendável a aplicação do sistema de derivação para estes tipos de vales, pois implicará a sensível diminuição da degradação ambiental.

Nos locais com entalhamento fluvial profundo, especificamente nas unidades A1 e A3 do sistema A do mapa de *landforms*, formados por relevos escarpados com desnível de até 50 metros, onde se desenvolvem declividades

próximas ou superiores a 20%, estão localizados os locais mais favoráveis para a implantação de reservatórios visando ao aproveitamento hidrelétrico.

A análise dos mapas de uso e ocupação do solo, substrato rochoso, materiais inconsolidados e *landforms* e as cartas de vulnerabilidade à erosão, favorabilidade/limitações para emprego dos materiais inconsolidados, potencial de rendimento específico e vazão e declividade generalizada possibilitou a delimitação de áreas específicas para a implantação de reservatórios.

7.5.2 Resultados

A análise geoambiental da área estudada possibilitou a separação dos canais de drenagem que apresentam restrições à ocupação para instalação de pequenos reservatórios superficiais de água.

Fatores ambientais e geotécnicos impõem proibições de ocupação para os canais de drenagem com campos hidromórficos que desenvolvem vegetação em ambiente de Vereda. A solução proposta para o desenvolvimento sustentado desses locais foi a alternativa de construção de reservatórios fora da área desses frágeis ecossistemas ambientais. Na nossa área de estudo o sistema proposto foi implantado experimentalmente na fazenda Garapinha, com derivação do córrego São Sebastião (afluente da margem esquerda do rio da Babilônia), e os resultados obtidos foram considerados excelentes (Figuras 37 e 38). Estes locais estão situados em áreas com alta predisposição à erosão, o que justifica todo o cuidado para prevenir o desencadeamento de processos erosivos (execução de curvas de nível e recomposição vegetal) e consequentemente evitar o rápido assoreamento dos reservatórios instalados.



Figura 37 – Reservatório implantado (à direita da fotografia) fora da área de preservação permanente (à esquerda), através do sistema proposto de derivação de água com canal lateral. As setas em destaque mostram a posição do referido canal (córrego São Sebastião, Fazenda Garapinha). (20/05/2000)



Figura 38 – Detalhe da Figura 37. Situação do canal lateral de derivação nas proximidades da entrada do reservatório (20/05/2000).

Os canais de drenagem comuns que desenvolvem vegetação ciliar, que a princípio não sofrem restrições de ocupação, quando ocupados para a finalidade precípua deste trabalho devem, obrigatoriamente, ter suas margens recompostas por essa vegetação ciliar após a implantação de reservatórios.

Os vales comuns situados nas áreas escarpadas com maior probabilidade para implantação de aproveitamento hidrelétrico (unidades A1 e A3 do mapa de *landforms*), cujas bacias hidrográficas de 3º ordem apresentam valores de rendimento específico variando de 3,0 a 6,3 l/s.km² (valores de vazão mínima da drenagem fluvial da ordem de 0,05 a 0,2 m³/s), com os desníveis topográficos máximos de até 50 metros, propiciariam aproveitamentos hidrelétricos com potencial máximo de cerca de 85 kW. Somente a bacia do rio Bonito, com rendimento específico de 22,02 l/s.km² (vazão fluvial mínima de 0,9 m³/s) apresenta potencial maior, da ordem de 380 kW.

8- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação geoambiental em áreas de Cerrado para implantação de pequenos reservatórios superficiais de água, objeto deste trabalho, possibilitou algumas conclusões e recomendações, conforme disposto nos itens descritos a seguir:

1-A metodologia de Mapeamento Geotécnico para avaliações do meio físico proposta por ZUQUETTE (1987 e 1993) mostrou-se muito útil para a execução deste trabalho.

2-O trabalho pioneiro de mapeamento geotécnico, em escala de 1:100.000, desenvolvido na região por NISHIYAMA (1998), possibilitou um importante balizamento para a obtenção dos atributos do meio físico utilizados neste trabalho.

3- Além da importância de conhecer o meio físico ou o geoambiente com o objetivo de ocupar os canais de drenagem para armazenar água, é fundamental que sejam aplicadas técnicas construtivas adequadas na construção de aterros para a formação de reservatórios, pois os acidentes provocados pelo rompimento destes também produzem sérias degradações ambientais.

3- A solução proposta para execução de reservatórios fora dos canais de drenagem com Veredas, através do sistema de derivação, mostrou-se extremamente interessante, na medida em que permite a preservação desses ecossistemas naturais. Além disso, a destruição desses ambientes, através da construção de barragens tradicionais, vem contribuindo para a diminuição do volume dos mananciais hídricos desses locais, provocados pelo processo da evaporação laminar e retirada da vegetação.

4- O controle das outorgas de água pelos órgãos responsáveis (governamentais e de Comitês de Bacias), em cumprimento à lei estadual de Minas Gerais do Q_{10,7}, é de fundamental importância para o controle racional do uso da água e do desenvolvimento sustentável das bacias. De um lado,

possibilita um fluxo de água constante dentro do canal de drenagem, permitindo a manutenção das condições para o equilíbrio do seu ecossistema e, de outro lado, beneficia os usuários da água sem que se estabeleça qualquer tipo de conflito ou super-exploração de determinadas bacias. Nos outros estados da federação, lei similar também deveria ser implementada/utilizada.

5-A análise dos resultados dos ensaios de caracterização geotécnica executada nos materiais inconsolidados mostrou que tanto as unidades mais argilosas (materiais RSG, Arg A, Arg B, RGA, Arg C e Arg D) como as mais arenosas (materiais RpMA, RMA e Ar) são adequadas para a construção de aterros para implantação de reservatórios. Entretanto, as unidades mais arenosas, que possuem uma maior distribuição areal que as argilosas, apresentam maior facilidade de trabalhabilidade para esta finalidade específica, devido aos menores valores de umidade ótima apresentados.

6-Dentro da premissa implantada neste trabalho, de se estabelecer uma metodologia para o conhecimento do meio físico com a finalidade de preservar e racionalizar o uso da água superficial em áreas de Cerrado, sugere-se que estudos similares sejam desenvolvidos para a água de subsuperfície.

7-A dificuldade para dimensionar reservatórios, em função do caráter estocástico dos futuros deflúvios superficiais, foi parcialmente contornada pela boa correlação apresentada entre os rendimentos específicos locais, obtidos com as leituras de vazão de alguns córregos, com os valores regionais apresentados pela COPASA (1993). No nível de balizamento e aferição, os resultados apresentados por este órgão, pelo menos para a área estudada, podem perfeitamente ser utilizados, muito embora para determinadas situações específicas possam ocorrer valores discrepantes em relação aos valores médios obtidos.

8-A técnica de avaliação do terreno, em termos da homogeneidade das feições de relevo (*landforms*), além de possibilitar a identificação do significado que essas feições apresentam relativamente aos materiais rochosos e

inconsolidados a elas associadas, foi uma ferramenta de grande utilidade para a individualização dos locais com maior ou menor potencialidade para instalação de reservatórios superficiais de água, principalmente para o aproveitamento hidrelétrico.

9-Os reservatórios existentes ou que venham a ser instalados na área estudada devem prever perda de água por evaporação. As correlações obtidas para estimar valores de evaporação indicam para o seu período de maior estiagem, (maio a setembro) valores de evaporação da ordem de 4,3 mm/dia.

10-A existência de áreas ocupadas irregularmente por reservatórios não justifica novas ocupações, pois estas se constituem de ilegalidades e há muito têm comprometido o ambiente de Veredas. A atuação do poder público para deter esse processo de ocupação é uma atitude fundamental e necessária. A desativação do maior número possível de reservatórios dentro de áreas de Vereda, trocando-os pelos reservatórios de derivação, deverá minimizar as agressões sofridas até então, possibilitando a regeneração e a continuidade desse ecossistema, tão importante para a preservação e manutenção dos recursos hídricos disponíveis.

11-O uso do potencial hídrico superficial do Cerrado, no Triângulo Mineiro, precisa ocorrer com baixo nível de depredação, estabelecendo um relacionamento harmônico e sustentável entre o homem e a natureza. Neste sentido, as pessoas que ocupam esses locais precisam saber e demonstrar que podem viver no Cerrado e do Cerrado.

12-Considera-se, portanto, plenamente recomendável, como caráter orientativo, o emprego da metodologia desenvolvida neste trabalho em outras regiões, especialmente em ambientes de Cerrados, com vistas à ocupação do meio físico para a implantação de pequenos reservatórios superficiais de água.

9- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. Contribuição à Geomorfologia da área dos Cerrados. Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, 1971, EDUSP, p. 97-103.
- ALMEIDA, F.F.A. de. Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo, 1980. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A. 187 p. (Relatório IPT, 14091).
- ALMEIDA, M.A. de; STEIN, D. P.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A.; PONÇANO, W.L.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.A. de. Geologia do Oeste paulista e áreas fronteiriças dos estados de Mato Grosso do Sul e Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriú, 1980. Anais...Camboriú, SBG, v.5, p.2729-2812.
- ALWARD, R.; EISENBART, S. and VOLKMAN, J. Micro-Hydro Power: Reviewing an Old Concept. The National Center for Appropriate Technology, 1979, Montana, USA.
- ANNANDALE, G.W. Reservoir Sedimentation. Elsevier Science Publishers, Netherlands, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. Geologia de Engenharia. ABGE, 1998, 584 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-6459/84. Determinação do limite de liquidez, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-6508/84. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica dos sólidos, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-7180/84. Determinação do limite de plasticidade, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-7181/84. Ensaio de granulometria conjunta (densímetro), 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-7182/84. Ensaio de compactação (Proctor normal), 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-6457/86. Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, 1984.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR-6508/84. Ensaio de permeabilidade, 1984.
- BACCARO, C.A.D. Estudo dos processos geomorfológicos de escoamento pluvial em área de cerrado – Uberlândia, MG. São Paulo, 1990. Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo.
- BARBOSA, O. Petrografia sedimentária e estratigrafia. Anais da Escola de Minas de Ouro Preto, nº 25, p.35-50, 1934.
- BARBOSA, O. Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia. Noticiário nº 3, SBG, 1955, p. 3-5.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, A. R. da Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Ministério das Minas e Energia – Boletim DNPM. Rio de Janeiro, nº 136, 1970.
- BARBOSA, E.M., CASTRO, P.T.A. Sedimentação Cenozóica da Bacia do Paraná: Ocorrência no Triângulo Mineiro-MG. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 7 e Simpósio Nacional de Estudos tectônicos, 4, Belo Horizonte, 1993. Anais... Belo Horizonte, SBG/MG, p. 30-40.
- BARCELOS, J.H.; SUGUIO, K. Distribuição regional e estratigráfica das formações cretácicas do oeste mineiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Camboriu, 1980. Anais...Camboriu, SBG, v2,p. 683-690.
- BARCELOS, J.H.; LANDIM, P.M.B.; SUGUIO, K. Análise das sequências cretácicas do Triângulo Mineiro (MG) e suas correlações com as do Estado de São Paulo. In: Simpósio de Geologia Regional, 2, Curitiba, 1981. Anais...Curitiba, SBG, p. 90-102
- BARCELOS, J.H. Reconstrução paleogeográfica da sedimentação do Grupo Bauru baseada na sua redefinição estratigráfica parcial em território paulista e no estudo preliminar fora do Estado de São Paulo. Rio Claro, 1984. Tese (Livre Docência)-Universidade Estadual Paulista-UNESP.
- BARCELOS, J.H.; SUGUIO, K.; GODOI, A.M.; HIRATA, R.A.; GONTIJO, R.C. Aspectos litoestratigráficos da Formação Uberaba, Cretáceo da Bacia do Paraná. Geociências, São Paulo, Editora UNESP, v.5/6, p.31-42.
- BLYTH, F. G. H. & FREITAS, M. H. de A Geology for Engineers. Edward Arnold, 325 p., 1984.
- BOLTON, M. A guide to soil mechanics. London, 1979.

- BOWEN, R. Geology in engineering. Elsevier Applied Science Publishers LTD, 411 p., 1984.
- BREUSERS, H.N.C.; KLAASSEN, G.J.; BRAKEL, J.; ROODE, F.C. Environmental impact and control of reservoir sedimentation. In: International Congress on Large Dams, 14, 1982, Rio de Janeiro. Compte Rendu...Rio de Janeiro: CIGB/ICOLD, v.2, p. 353-372.
- BROWN, L. N. Pequenas barragens de terra. Berkeley:Eta, 1958.
- BUREAU OF RECLAMATION. Design of small dams. A Water Resources Technical Publication, 1972.
- BUTZER, K.W. Early Hydraulic Civilization in Egypt. Univ. Chicago Press, Chicago, 1976.
- CAMPOS, R. Sobre transporte de sedimentos e assoreamento de reservatórios. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH, Fortaleza, 1994.
- CASAGRANDE, A. Percolação de água através de barragens de terra. Manual do Engenheiro. Globo, vol. 5, tomo II, 1964.
- CASTRO, A.G.B. Assoreamento das lagoas do Miguelão, Codorna e Ingleses: uma causa comunitária. In: Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 1, 1991, Ouro Preto. Atas...Ouro Preto: Escola de Minas da UFOP/Fundação Gorceix/CNPq/ABRH, p.118-121.
- CHAMPS, J.R.B. O problema de assoreamento da represa da Pampulha e as medidas adotadas para seu controle. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, 1, 1991, Ouro Preto (MG).
- COIADO, E.M. Estudo do assoreamento e da qualidade d'água do reservatório de Cariobinha. Campinas, 1993, Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.
- COIADO, E.M.; CAMPOS, R.; VEIGA, A.L. Eficiência de retenção de sedimentos de um pequeno reservatório. In: XIV Simpósio Latino-Americano de Hidráulica, Santiago, Chile, 1994.
- COIMBRA, A.M. Arenitos da Formação Bauru: estudo de áreas-fonte. São Paulo, 1976, Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- COPASA. Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais. Trabalho executado pela Hidrosistemas para a Copasa, 1993, 264 p.

- CRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1981, 313 p.
- CULLEN, A.H. Rios prisioneiros, a história das barragens. Ed. Itatiaia, Belo Horizonte, 1964. Trad. Regina R. Junqueira.
- DAEE Projeto de Pequenas Barragens. Curso (convênio DAEE/USP), 1992.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. Geomorfologia (São Paulo), v.21, p.8-13, 1970.
- DEL GROSSI, S.R. De Uberabinha a Uberlândia: os caminhos da natureza. São Paulo, 1991, Tese (Doutorado) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo.
- DERBY, O. Águas minerais do Araxá, p.9-15, 1886.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Manual de observação de superfície. Ministério da Agricultura, Brasília, 1977.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Carta geológica do Brasil ao milionésimo, Brasília. Folha de Goiânia, SE-22. V1, 1975.
- DINIZ, N.C.D. Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguaí com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração. São Carlos, 1992, 2v., Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- EITEN, G. Classificação da vegetação do Brasil. Brasília, CNPq, 1983.
- ELETROBRÁS/DNAEE Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Ministério das Minas e Energia Elétrica, 1982.
- ELETROBRÁS/DNAEE Manual de Minicentrais Hidrelétricas. Ministério das Minas e Energia Elétrica, 1984.
- ELETROBRÁS/DNAEE Manual de Microcentrais Hidrelétricas. Ministério das Minas e Energia Elétrica, 1985.
- ELETROBRÁS A problemática de desenvolvimento de pequenas centrais hidrelétricas – PCH no Brasil (curso). IEE/USP, 1994.
- ELETROBRÁS Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Diretoria de Planejamento e Engenharia, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro. EMBRAPA-SNLCS/EPAMG/DRNR, Rio de Janeiro, 1982.

- FALCÃO, J.A.; BORGES, V.A. Cartilha do construtor de pequenas barragens de terra. Fortaleza: MINTER/DNOCS, 1974.
- FELL, R.; MACGREGOR, P. and STAPLEDON, D. Geotechnical Engineering of Embankment Dams, A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1992.
- FERNANDES, L.A. Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil). São Paulo, 1998, Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. Estratigrafia e evolução geológica da Bacia Bauru (Ks, Brasil). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, 1998. Anais...Belo Horizonte, SBG, p.101.
- FERREIRA JUNIOR, P.D. Modelo deposicional e evolução diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo superior da Bacia do Paraná, na região do Triângulo Mineiro. Ouro Preto, 1996, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto.
- FÚLFARO, V.J.; PERINOTTO, J.A.J. A Bacia Bauru: estado da arte. In: Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, 4, Águas de São Pedro, 1996. Boletim. Rio Claro. Universidade Estadual Paulista, p.297-303.
- FORNASARI FILHO, N. (coord.); BRAGA, T. de O.; GALVES, M.L.; BITTAR, O.Y.; AMARANTE, A. Alterações no Meio Físico Decorrentes de Obras de Engenharia. São Paulo, IPT, 1992. (Publicação IPT 1972), 165 p.
- GENOVEZ, A. M. Avaliação da regularização de vazões em pequenas bacias com dados esparsos. São Carlos, 1987, Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING GROUP PART REPORT The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Quaterly Journal of Engineering Geology, v.28, part 3, p. 207-242, 1995.
- GUERRA, S.M.S. Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Suape – PE. Rio Claro, 1998, Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- GUIDICINI, G.; OLIVEIRA, A.M.S.; CAMARGO, F.P.; KAJI, N. Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. In: Semana Paulista de Geologia Aplicada, 4, São Paulo, 1972, p.275-282.

- HAMM, H.W. Low Cost Development of Small Power Sites. Volunteers in Technical Assistance, Inc, 1967, Maryland.
- HARVEY, A. Micro-Hydro Design Manual. Intermediate Technology Publications, 1993, London.
- HASUI, Y. A Formação Uberaba. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais...SBG, p. 167-169.
- HASUI, Y. O cretáceo do oeste mineiro. Boletim SBG, São Paulo, 1969.
- HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E. Aspectos lito-estruturais e geofísicos do soerguimento do Alto Paranaíba. Geociências, São Paulo, Editora UNESP, v.10, p.57-77, 1991.
- HARRIS, C. M. Pequenas barragens e reservatórios. Rio de Janeiro:Eta, 1957.
- HAZEN, A. Storage to be provided impounding reservoirs for municipal water supply, Trans. ASCE, vol. 77, 1914.
- HERMANN, R.M. Dimensionamento e operação de sistemas com reservatórios múltiplos. São Paulo, 1971, Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- HJULSTRÖM, F. Studies of morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. Bull. Geol. Inst. Univ. Uppsala, 25, 1935, p. 521-527.
- HOEK, E. & BRAY, J. Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London, 309p., 1974.
- HUSSAK, E. Sobre a estrutura geológica da região do Estado de Goyaz, examinada pela Comissão Exploradora do Planalto Central, parte II. Rio de Janeiro, 1894, H. Lamberts & Cia.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Folha topográfica de Tupaciguara – escala 1:100.000 (SE-22-Z-B-V), 1976
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. Mapa geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000, São Paulo, 1981, IPT (Monografias, 6).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. Estudos geológico-geotécnicos para caracterização e classificação de maciços rochosos para projetos de engenharia (túneis, lavra a céu aberto e barragens). São Paulo, 1984, IPT (Relatório, 19569).
- INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR ENGINEERING GEOLOGY AND THE ENVIRONMENT. Bulletin IAEG nº 33, p.3-37, Germany.

- INVERSin, A.R. Micro Hydropower Sourcebook. NRECA International Foundation, 1986, Washington D.C.
- JIANDONG, T.; NAIBO, Z.; XIANHUAN, W.; JING, H. and HWISHEN, D. Mini Hidropower. John Wiley & Sons, 1997, 312 p., England. Unesco Energy Engineering Series.
- LIMA, S. do C.; ROSA, R.; FELTRAN F^o, A. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia (MG) através de imagens TM LANDSAT. Revista Sociedade & Natureza, 1(2), p. 127-145, 1989.
- LIMA, S. do C.; SILVEIRA, F.P. A preservação das veredas para a manutenção do equilíbrio hidrológico dos cursos d'água. 3^o Encontro Nacional dos Estudos sobre o Meio Ambiente, Londrina, 1991. Anais...Londrina, v.1, p. 204-218.
- LIMA, S. do C. As veredas do ribeirão Panga no Triângulo Mineiro e a evolução da paisagem. São Paulo, 1996, Tese (Doutorado), Fac. Fil. Ciências e Letras, Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.
- LITTLE, A.L. The engineering classification of tropical residual soils. In: International conference on soil mechanics and foundation engineering, 7, Proceedings, v.1, p.1-10, 1969.
- LOLLO, J.A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas. São Carlos, 1996, 2v. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- LOLLO, J.A.; ZUQUETTE, L.V. Utilização da técnica de avaliação do terreno em cartografia geotécnica: sistemática proposta e resultados obtidos para a quadrícula de Campinas. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2, São Carlos (SP), 1996, Anais ABGE, v.1, p. 3-12.
- MARANESI, D. A. Intrusões arenosas em basalto e gnaisse na Usina Hidroelétrica Miranda, próximo a Uberlândia-MG. Boletim do 5^o Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil/1^o Simpósio sobre el Cretácico de América Del Sur, 1999 - Serra Negra (SP), Brasil.
- MEDEIROS, C. H. de A. C. Síntese de metodologias propostas para elaboração de estudos geológico-geotécnicos de fundações de barragens ênfase para pequenas barragens (região semi-árido). São Carlos, 1986,

- Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MELO, D. Contribuição ao estudo geomorfológico das veredas – região de Pirapora (MG). Belo Horizonte, 1978. Monografia de conclusão do curso de graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- MILWARD, G.B Contribuição para a geologia do Estado de Goiás. São Paulo, 1935, Esc. Profis. Salesianas, 98 p.
- MINISTÉRIO DO EXÉRCITO Folhas topográficas: Serra do Café(SE.22-Z-B-V-1-N0, Alto Alegre(SE.22-Z-B-V-1-S0), Monte Alegre de Minas (SE.22-Z-B-V-3-NO), Córrego dos Bentos(SE.22-Z-B-3-SO), Serra do Brilhante(SE.22-Z-B-V-1-NE), Andorinha(SE.22-Z-B-V-1-SE), Serrinha (SE.22-Z-B-V-3-NE), Cabeceira da Onça(SE.22-Z-B-V-3-SE), Tupaciguara(SE.22-Z-B-V-2-NO), Taperão(SE.22-Z-B-V-2-SO), Fazenda do Café(SE.22-Z-B-V-4-NO), Igreginha(SE.22-Z-B-V-4-SO), Garimpo(SE.22-Z-B-V-2-NE), Palmital(SE.22-Z-B-V-2-SE), Xapetubas(SE.22-Z-B-V-4-NE) e Palma da Babilônia(SE.22-Z-B-V-4-SE). Escala 1:25.000. Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, 1984.
- MIRANDA, A.N. Behavior of small earth dams during initial filling. Colorado State University, 1988, Thesis for degree of doctor of Philosophy, Fort Collins, Colorado, USA.
- MOLLE, F., CADIER, E. Manual do pequeno açude. Recife, SUDENE-DPG-PCN-DPP-APR, 1992.
- MUNSELL COLOR CHARTS INC. Munsell soil color charts. Baltimore, 1946, 22 p.
- NISHIYAMA, L., ZUQUETTE, L.V. Relação entre formas de relevo e materiais inconsolidados da região de Uberlândia-MG e a dinâmica dos processos atuais e pretéritos. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2 e Encontro Regional de Geotecnica e Meio Ambiente, 1. São Carlos (SP), 1996, Anais ABGE, v.1, p. 241-249.
- NISHIYAMA,L., ZUQUETTE, L.V. Águas subsuperficiais: procedimentos para levantamento e estimativa de informações para elaboração e apresentação do mapa de profundidade da zona saturada. Geociências, São Paulo, Editora UNESP, v.16 (2), p. 581-607, 1997.

- NISHIYAMA, L. Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia-MG. São Carlos, 1998. 2v. Tese (Doutorado em Geotecnia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- NOYES, R. Small and Micro Hydroelectric Power Plants: Technology and Feasibility. Noyes Data Corporation, 1980, New Jersey.
- OLIVEIRA, A.M.S. Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: exemplo do reservatório de Capivara. São Paulo, 1994, Tese (Doutorado) – FFLCH, Universidade de São Paulo.
- OMETTO, J.C. Bioclimatologia Vegetal. Ed. Agronômica Ceres Ltda, São Paulo, 1981, 425 p.
- ORTOLANI, A.A.; PINTO, H.S.; PEREIRA, A.R.; ALFONSI, R.R. Parâmetros climáticos e a cafeicultura. Instituto Agronômico (Campinas). 26 p. Relatório preliminar, 1970.
- PAIVA, J.M.O. de Sedimentação de reservatórios de barragens. São Paulo, 1993, Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PARRA, P.C. Projeto de pequenas barragens de aterro. II curso de controle da poluição na mineração. Santa Catarina, 1986, Ministério das Minas e Energia (DNPM).
- PEDRO JUNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B. de; MACEDO, L.A. Guia para o observador dos postos agrometeorológicos do Instituto Agronômico. Instituto Agronômico (Campinas), Boletim Técnico n° 116, 1987.
- PEJON, O.J. Mapeamento geotécnico da Folha de Piracicaba-SP (1:100.000): Estudo de aspectos metodológicos de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos. São Carlos, 1992, 225 p. Tese (Doutorado em Geotecnia)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PINTO, N.L de S.; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, J.A.; GOMIDE, F.L.S. Hidrologia Básica. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1976, 278 p.
- PONÇANO, W.L.; GIMENEZ, A.F.; LEITE, C.A.G.; CARLSTRON FILHO, C.; PRANDINI, F.L.; MELO, M.S. Silting of reservoirs in southern Brazil: first results and methodological approach. In: International

- Congress on Large Dams, 14, 1982, Rio de Janeiro. Proceedings...Rio de Janeiro, ICOLD, p. 517-536.
- PRICE, D.G. A suggested method for the classification of the rock mass weathering by a ratings systems. Quaterly Journal of Engeneering Geology, v.26, p.69-76, 1993.
- RADAMBRASIL Levantamento de recursos naturais. Folha SE22 – Goiânia. Rio de Janeiro, v. 31, 76 p., 1983.
- REIS, J.C. Proposição metodológica para estudo e mensuração do processo de assoreamento de reservatórios, utilizando o SIG. Viçosa, 1995, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa (MG).
- RIBEIRO, A.G.; MEDEIROS, C.S. A sustentabilidade ecológica da agricultura irrigada na chapada do Brasil Central. O caso da Bacia do Ribeirão Pantaninho, pág. 87-104. In: Shiki, S. Sustentabilidade do sistema agroalimentar no Cerrado. Uberlândia, Edufu, 2000.
- RIPPL, W. The capacity of storage reservoirs for water supply. Proc. Institution of Civil Engineers, vol. 71, 1883.
- SANCHES, M.C. A propósito das cartas de declividade. In: Simpósio de Geografia Física Aplicada, 5, 1993, São Paulo. Anais...São Paulo, FFLCH, 1993.
- SCHNITTER, N.J. A history of dams: The useful pyramids. Rotterdam, Bolkema, 1994. Brookfield.
- SCHUMM, S.A. The fluvial system. Wiley Interscience, New York, 1977.
- SCHREIBER, G. P. Usinas Hidrelétricas. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 1978, 235 p.
- SMITH, N.A.F. A history of dams. Peter Davies, London, 1971.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48 (Suplemento), p.313-324, 1975.
- SOARES, P.C., FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícias Geomorfológicas, Campinas (SP), v. 16, nº 32, p. 71-104, 1976.
- SOARES, P.C.; LANDIM, P.M.B.; FÚLFARO, V.J.; SOBREIRO NETO, A.F. Ensaio de caracterização estratigráfica do cretáceo no Estado de São

- Paulo: Grupo Bauru. Revista Brasileira de Geociências, nº 10, 1980, p.177-185.
- SOUZA, A.P. Pequenas barragens de terra (notas de aulas). FCMBB, Botucatu, 1971.
- STANCATI, G.; NOGUEIRA, J.B.; VILAR, O.M. Ensaios de Laboratório em Mecânica dos Solos. Departamento de Geotecnia, EESC-USP, São Carlos, 1981.
- STEADMAN, P. Energía, Medio Ambiente y Edificación. Hermann Blume Ediciones, Madrid, 1978, 312 p.
- STRAHLER, A.N. Dynamic basis of Geomorphology. Geol. Soc. America Bulletin, 63, 1952, p. 923-938.
- SUGUIO, K. Formação Bauru: Calcários e sedimentos detríticos associados. São Paulo, 1973, 2v, Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SUGUIO, K. Fatores paleoambientais e paleoclimáticos e subdivisão estratigráfica do Grupo Bauru. In: Mesa Redonda: A Formação Bauru no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, São Paulo, 1980. Coletânea de trabalhos e debates. São Paulo, SBG, p.15-30 (publicação especial, 7).
- TAYLOR, D.W. Fundamentals of soil mechanics. John Wiley and Sons, New York, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology, Laboratory of Climatology, v.8, n.1, p.104, 1955.
- TUCCI, C.E.M. (organizador) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, Ed. UFRGS/EDUSP/ABRH, 1993, 943 p.
- VARLET, H. Aménagement – Utilisation et Prix de Revient des Usines Hydrauliques. Éditions Eyrolles, Paris, 1961, 211 p.
- VARLET, H. Usines Hydrauliques – Barrages – Reservoirs. Éditions Eyrolles, Paris, 1966, 335 p.
- WAGNER, E. Desenvolvimento dos Cerrados. In: Geodert, W. (Editor) Solos dos Cerrados. EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1986, 422p.
- WINGETER, W. Pequenas barragens de terra. Campinas, 1966.
- WMO Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, Switzerland, Technical Note nº 83, 1966, 121 p.

- ZAHED, K.F. Algumas metodologias para o dimensionamento e operação de reservatórios. São Paulo, 1984, Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos, 1987, 2v, 478 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- ZUQUETTE, L.V. Importância do Mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, 1993. 2v.368p. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; RODRIGUES, J.E. Mapeamento geotécnico: parte 1 – atributos e procedimentos básicos para elaboração de mapas e cartas. Geociências, São Paulo, Editora UNESP, v.17 (2), 1997.

APÉNDICE 1

RESULTADOS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO OBTIDOS PARA AS PRINCIPAIS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS, COLETADOS ENTRE AS PROFUNDIDADES APROXIMADAS DE 0,20 A 0,60m

Ponto nº	Unidade M.I.	γ_s (g/cm ³)	Limites(%)		Compactação		Permeabilidade (cm/s)	Granulometria (%)				
			LL	LP	Wot(%)	γ_d (g/cm ³)		p	ar	si	ag	
01	2	2,682	19,9	12,5	11,1	1,936	$3,5 \times 10^{-5}$	0,5	70,1	6,2	23,2	
02	8	2,454	47,3	33,9	24,5	1,518	$2,5 \times 10^{-6}$	-	22,7	16,3	61,0	
03	6	3,041	53,3	36,1	28,7	1,565	$2,6 \times 10^{-6}$	-	14,0	31,0	55,0	
04	10	2,875	34,8	21,4	14,1	1,875	$1,8 \times 10^{-6}$	1,0	52,4	13,8	32,8	
05	7	2,949	48,7	38,1	28,3	1,394	$1,1 \times 10^{-7}$	4,0	11,4	29,5	55,1	
06	2	2,692	20,2	13,4	10,9	1,950	$2,7 \times 10^{-5}$	2,0	68,0	7,8	22,2	
07	10	2,969	24,75	13,45	11,8	1,793	$2,4 \times 10^{-5}$	1,0	68,0	8,0	23,0	
08	8	2,393	44,0	32,7	23,2	1,490	$2,9 \times 10^{-6}$	-	22,9	16,3	60,8	
09	7	3,010	62,9	42,3	30,5	1,536	$8,1 \times 10^{-8}$	1,1	6,4	32,0	60,5	
10	7	3,063	49,3	35,3	29,4	1,432	$1,9 \times 10^{-7}$	2,1	9,0	35,4	53,5	
11	4	2,999	55,9	40,1	30,8	1,445	$1,5 \times 10^{-6}$	-	9,5	31,4	59,1	
12	1	2,690	43,6	21,9	16,9	1,730	$4,3 \times 10^{-7}$	3,5	48,5	18,5	29,5	
13	10	2,725	36,7	23,8	15,9	1,957	$2,5 \times 10^{-6}$	2,9	50,0	14,0	33,1	
14	1	2,730	45,6	22,3	17,2	1,760	$1,1 \times 10^{-7}$	2,1	45,0	19,8	33,1	
15	4	2,992	55,6	29,1	31,1	1,463	$2,9 \times 10^{-6}$	-	12,3	29,2	58,5	
16	8	2,632	51,2	37,4	26,0	1,548	$1,5 \times 10^{-6}$	-	22,0	14,0	64,0	
17	10	2,851	28,4	16,4	13,1	1,850	$1,1 \times 10^{-6}$	9,0	51,0	10,0	30,0	
18	1	2,710	42,5	21,1	16,6	1,710	$6,7 \times 10^{-7}$	2,1	51,8	17,9	28,2	
19	2	2,770	22,2	15,4	11,8	1,940	$4,8 \times 10^{-5}$	-	71,8	5,0	23,2	
20	2	2,675	19,5	12,1	10,5	1,924	$1,5 \times 10^{-5}$	0,2	69,3	4,0	26,5	
21	10	2,934	29,3	18,2	12,6	1,871	$1,2 \times 10^{-5}$	-	59,0	11,9	29,1	
22	1	2,671	44,1	21,9	16,8	1,735	$3,7 \times 10^{-7}$	4,3	45,0	18,0	32,7	
23	1	2,711	46,2	22,6	17,1	1,752	$3,1 \times 10^{-7}$	2,3	45,6	23,7	28,4	

RESULTADOS DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO OBTIDOS PARA AS PRINCIPAIS UNIDADES DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS, COLETADOS ENTRE AS PROFUNDIDADES APROXIMADAS DE 0,20 A 0,60m

Ponto nº	Unidade M.I.	γ_s (g/cm ³)	Limites(%)		Compactação		Permeabilidade (cm/s)	Granulometria (%)				
			LL	LP	Wot(%)	γ_d (g/cm ³)		p	ar	si	ag	
24	7	2,985	44,3	33,1	26,5	1,441	$2,2 \times 10^{-7}$	6,0	12,0	27,6	54,4	
25	8	2,492	45,2	34,8	24,5	1,510	$4,8 \times 10^{-6}$	-	23,6	16,4	60,0	
26	2	2,720	21,74	14,1	11,4	1,933	$2,2 \times 10^{-5}$	-	69,0	8,5	22,5	
27	2	2,700	20,8	13,7	11,0	1,924	$1,9 \times 10^{-5}$	0,9	68,8	6,2	24,1	
28	5	2,699	46,2	33,2	22,7	1,550	$1,6 \times 10^{-6}$	7,6	25,4	14,0	53,0	
29	6	3,037	54,3	38,6	27,4	1,501	$1,5 \times 10^{-6}$	-	10,0	28,0	62,0	
30	8	2,497	47,8	34,9	26,4	1,521	$2,1 \times 10^{-6}$	-	22,2	17,5	60,3	
31	10	2,797	28,4	19,4	13,6	1,871	$1,9 \times 10^{-5}$	4,0	61,0	9,8	25,2	
32	9	2,695	51,2	29,2	22,8	1,531	$2,1 \times 10^{-6}$	1,0	30,8	14,4	53,8	
33	9	2,790	53,5	31,6	23,4	1,587	$1,9 \times 10^{-6}$	1,0	28,7	14,2	56,1	
34	5	2,721	46,7	36,8	22,6	1,470	$1,9 \times 10^{-6}$	8,0	25,8	14,0	52,2	
35	4	3,010	56,4	39,91	31,5	1,567	$3,2 \times 10^{-6}$	-	10,9	32,7	56,4	
36	4	3,056	57,0	40,6	31,2	1,522	$1,9 \times 10^{-6}$	-	11,0	30,4	58,6	
37	7	2,998	51,9	38,6	27,8	1,445	$1,3 \times 10^{-7}$	2,0	14,0	30,0	54,0	
38	8	2,620	44,9	34,8	24,3	1,497	$3,2 \times 10^{-6}$	-	23,1	14,9	62,0	
39	9	2,705	52,9	31,2	22,2	1,495	$2,4 \times 10^{-6}$	2,0	31,5	16,0	50,5	
40	5	2,711	46,3	37,7	23,5	1,551	$1,5 \times 10^{-6}$	5,0	23,9	14,7	56,4	
41	6	3,048	55,2	38,3	27,9	1,487	$1,8 \times 10^{-6}$	-	13,0	25,0	62,0	
42	1	2,691	44,1	22,3	17,0	1,754	$1,6 \times 10^{-7}$	4,0	47,3	18,1	30,6	
43	4	3,011	56,9	39,9	30,9	1,449	$4,7 \times 10^{-6}$	-	15,8	29,6	54,6	
44	5	2,699	46,2	38,6	22,8	1,557	$1,0 \times 10^{-6}$	5,8	21,5	15,7	57,0	
45	7	3,091	54,2	39,7	29,7	1,494	$9,4 \times 10^{-8}$	2,5	6,0	32,7	58,8	
46	9	2,727	52,4	29,8	23,1	1,521	$2,1 \times 10^{-6}$	1,5	27,5	16,0	55,0	

