

## **CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE PLANEJAMENTO**

# **Informações Básicas para a Gestão Territorial.**

**REGIÃO DE SETE LAGOAS - LAGOA SANTA  
MINAS GERAIS**

PROJETO  
3:624.13(083.94)(815.1 MG)  
81  
1 Vol.:3  
4  
registro: 01619



Univ. de Pesquisas de Recursos Minerais  
SUREG/BH - BIBLIOTECA

EX: 01

Ministério de Minas e Energia  
Secretaria de Minas e Metalurgia

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Programa Informações para Gestão Territorial

*Delcídio do Amaral Gomez*  
Ministro de Estado

*Breno Augusto dos Santos*  
Secretário de Minas e Metalurgia

*Carlos Oitf Berbert*  
Presidente

*Hermes Augusto Verner Inda*  
Diretor de Geologia e Recursos Hídricos

*Antonio Juarez Milmann Martins*  
Diretor de Recursos Minerais

*Augusto Wagner Padilha Martins*  
Diretor de Administração e Finanças

*Gil Pereira de Souza Azevedo*  
Diretor de Relações Comerciais

*Isaac Ber Borensztein*  
Superintendente de Planejamento,  
Informática e Métodos

*Giuseppina Giaquinto de Araújo*  
Superintendente de Apoio e  
Desenvolvimento Tecnológico

*Helion França Moreira*  
Coordenador Nacional do Programa GATE

*Oswaldo Castanheira*  
Superintendente Regional de Belo Horizonte

574.3:624.13 (083.94) (815.112)  
V598u  
1994  
Vol. 3  
Ex: 1

Projeto VIDA - Viabilidade Industrial  
e Defesa Ambiental

Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa

# Informações Básicas para a Gestão Territorial

## Cartografia Geotécnica de Planejamento

Série Ordenamento Territorial  
Volume 3

JAYME ÁLVARO DE LIMA CABRAL

CPRM-BH  
PROJ



01619



CPRM Belo Horizonte- 1994



Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais  
SUREG/BH - BIBLIOTECA -

**Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais  
CPRM**

**Programa Gestão e Administração Territorial  
GATE**

**Projeto VIDA  
Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental**

*Gerente de Recursos Minerais*  
Claiton Piva Pinto

*Coordenação Técnica*  
Fernando Antônio de Oliveira

*Consultor em Geotecnia*  
Prof. MSc. Edézio Teixeira de Carvalho

*Copidesque e Revisão*  
Luci de Melo Raposo  
Sueli Cardoso de Araújo

*Digitação*  
Maria Alice Rolla Becho

*Desenho de Mapas*  
Terezinha Inácia de Carvalho Pereira

*Projeto Gráfico e Editoração Eletrônica*  
Sarah Costa Cordeiro  
Wanda Alexandre Xavier França

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Informações Básicas para a Gestão Territorial: Região de Sete Lagoas-Lagoa Santa. Cartografia geotécnica de planejamento. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais [e] Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1994.

84p. ilustr: mapa. figuras. quadros. (Série Ordenamento Territorial 3)

*Projeto VIDA - Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental*

I. Planejamento territorial regional. II. Minas Gerais. III. Geotecnia. IV. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. VI Título.

CDU 918.1 (815.1)

## Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

### **Sede**

SGAN - 603 - Módulo "I" - 1º andar  
Cep: 70830-030 - Brasília - DF  
Telefone: (061)223-1059 (PABX)  
Telex: (61)1355 - Fax: (061)225-3985

### **Escritório Rio**

**Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial**  
Av. Pasteur, 404 - 3º andar - Urca  
Cep: 22292-040 - Rio de Janeiro - RJ  
Telefone: (021)295-6647 - (021)295-0032 (PABX)  
Telex: (21)32525 - Fax: (021)295-6347

**Divisão de Documentação Técnica**  
Av. Pasteur, 404 - Urca  
Cep: 22292-040 - Rio de Janeiro - RJ  
Telefone: (021)295-5997 - (021)295-0032 (PABX)  
Telex: (21)32525 - Fax: (021)295-6347

### **Superintendência Regional de Belém**

Av. Dr. Freitas, 3645 - Marco  
Cep: 66095-110 - Belém - PA  
Telefone: (091)226-4020 - (091)226-6512 (PABX)  
Telex: (91)1149 - Fax: (091)246-4020

### **Superintendência Regional de Belo Horizonte**

Av. Brasil, 1731 - Funcionários  
Cep: 30140-002 - Belo Horizonte - MG  
Telefone: (031)261-3037 - (031)261-5977 (PABX)  
Fax: (031)261-5585

### **Superintendência Regional de Goiânia**

Rua 148, 485 - Setor Marista  
Cep: 74170-110 - Goiânia - GO  
Telefone: (062)281-1709 - (062)281-1522 (PABX)  
Fax: (062)281-1709

### **Superintendência Regional de Manaus**

Av. André Araujo, 2160 - Aleixo  
Cep: 69060-001 - Manaus - AM  
Telefone: (092)663-5333 - (092)663-5614 (PABX)  
Fax: (092)663-5531

### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Rua Banco da Província, 105  
Cep: 90840-030 - Porto Alegre - RS  
Telefone: (051)233-4643 - (051)233-7311 (PABX)  
Fax: (051)233-7772

### **Superintendência Regional de Recife**

Av. Beira Rio, 45 - Madalena  
Cep: 50610-100 - Recife - PE  
Telefone: (081)228-2988 - (081)227-0277 (PABX)  
Fax: (081)227-4281

### **Superintendência Regional de Salvador**

Av. Ulysses Guimarães, 2862 - Sussuarana  
Cep: 41213-000 - Salvador - BA  
Telefone: (071)230-0025 - (071)230-9977 (PABX)  
Telex: (71)1182 - Fax: (071)371-4005

### **Superintendência Regional de São Paulo**

Rua Domingos de Moraes, 2463 - Vila Mariana  
Cep: 04035-000 - São Paulo - SP  
Telefones: (011)575-2094 - (011)574-7977 (PABX)  
Fax: (011)572-9186

### **Residência de Fortaleza**

Av. Santos Dumont, 7700 - Papicu  
Cep: 60150-163 - Fortaleza - CE  
Telefone: (085)265-1726 - (085)265-1288 (PABX)  
Fax: (085)265-2212

### **Residência de Porto Velho**

Av. Lauro Sodré, 2561 - Bairro Tanques  
Cep: 78904-300 - Porto Velho - RO  
Telefone: (069)223-3165 - (069)223-3284 (PABX)  
Telex: (69)2124 - Fax: (069)223-3165

### **Residência de Teresina**

Rua Goiás, 312 - Sul  
Cep: 64001-570 - Teresina - PI  
Telefone: (086)222-6651  
Telex: (86)2141 - Fax: (086)222-6963



**Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais**  
**SUREG / BH - SECDOT / BH - BIBLIOTECA**

Contém:

Ex. 1

09 mapas:

- Perfis Representativos da Relação entre as Unidades Geotécnicas (Pedro Leopoldo 2 Ex; Paraopeba; Lagoa Santa 1 Ex.; Sete Lagoas 2 Ex)
- Mapa de Documentação 1:100.000
- Mapa de Zoneamento do Substrato Rochoso 1:300.000
- Carta Geológica Preliminar - Unidades Geotécnicas 1:100.000

09 mapas =

Ex. 1



CPRM

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

BIBLIOTECA

SUREG - BH

# APRESENTAÇÃO

---

O Projeto Vida - Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental representa uma saudável ação conjunta - governo, empresa, comunidade - visando ao melhor conhecimento e uso dos recursos naturais, aliando desenvolvimento socioeconômico com a qualidade ambiental de uma importante parcela da região centro-meridional do estado de Minas Gerais.

Abrange uma área aproximada de 1.800 km<sup>2</sup>, representada pelos municípios de Capim Branco, Funilândia, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Prudente de Moraes, Sete Lagoas e Vespasiano, formando importante pólo industrial, com mais de 200 indústrias de diferentes portes e ramos de atuação, dispondo de significativos recursos naturais, com destaque para os bens minerais.

Os estudos empreendidos pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, apresentam à comunidade um expressivo acervo de informações sobre o meio físico capaz de subsidiar tecnicamente nas formulações de programas que visem equacionar possíveis conflitos entre as atividades econômicas e a preservação do meio ambiente.

Apontando as ações que deverão privilegiar procedimentos ambientalmente adequados ao desenvolvimento sustentado participativo e longe de esgotar o assunto, os trabalhos desenvolvidos mostram a necessidade de se avançar no aprofundamento de estudos específicos que atendam a aspectos das vocações de cada município.

CARLOS OITÍ BERBERT  
PRESIDENTE

## SUMÁRIO

---

	pag
RESUMO	
INTRODUÇÃO .....	03
FINALIDADES E OBJETIVOS .....	07
ASPECTOS FISIAGRÁFICOS .....	11
METODOLOGIA PROPOSTA PARA A ATIVIDADE GEOTÉCNICA .....	15
INVENTÁRIO DAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS .....	19
SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL .....	23
O SISTEMA CÁRSTICO .....	37
CRITÉRIOS DE ESTABELECIMENTO DO ZONEAMENTO GEOTÉCNICO .....	33
UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	37
DESCRIÇÃO SUMÁRIA DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	41
1 SUBSTRATO ROCHOSO E SOLOS RESIDUAIS .....	41
1.1 COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO INDIVISO E SOLOS RESIDUAIS.....	41
1.2 COMPLEXO CALCÍSSILTÍTICO E SOLOS RESIDUAIS .....	43
1.3 COMPLEXO CALCARENÍTICO E SOLOS RESIDUAIS .....	44
1.4 COMPLEXO METAPELÍTICO E SOLOS RESIDUAIS.....	48
2. DEPÓSITOS DE COBERTURA .....	52
2.1 COMPLEXO ARGILO-SÍLTICO C1 .....	52
2.2 COMPLEXO ARGILO-SÍLTICO C2 E C2K .....	55
2.3 COMPLEXO ARENO-SÍLTICO-ARGILOSO .....	57
2.4 COMPLEXO COLUVIONAR EM RAMPA.....	58
CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS .....	63
1 UNIDADES DE RECARGA DOS AQUÍFEROS .....	63
2 PRINCIPAIS UNIDADES DE DESCARGA .....	64
3 TIPOS DE AQUÍFEROS .....	64
EROSÃO ACELERADA.....	67

<b>ÁREAS DE MAIOR POTENCIAL DE RISCO</b> .....	71
1 VOÇOROCAMENTO/SULCOS PROFUNDOS .....	71
2 ESCORREGAMENTOS/DESLIZAMENTOS/DESBARRANCAMENTOS .....	71
3 ABATIMENTOS/AFUNDAMENTOS .....	72

<b>CONCLUSÕES</b> .....	79
-------------------------	----

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	83
---------------------------	----

<b>QUANTIFICAÇÃO DOS TERMOS QUALITATIVOS UTILIZADOS</b> .....	89
---	----

#### **ANEXOS**

MAPA DE DOCUMENTAÇÃO (1:100.000) - 1 FOLHA

MAPA DO SUBSTRATO ROCHOSO (1:100.000) - 1 FOLHA

MAPA PRELIMINAR DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS (1:100.000) - 1 FOLHA

SEÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

**RESUMO**

---

A faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa abriga importante conjunto paisagístico ligado ao domínio das rochas calcárias. Engloba a Área de Preservação Ambiental Carste de Lagoa Santa, que se estende por esse município e os de Pedro Leopoldo, Matozinhos e Funilândia, constituída por terrenos cársticos com numerosas grutas de rara beleza e importantes jazigos arqueológicos

Convivendo ao lado desse refúgio ecológico, atuam dezenas de minerações e um extenso parque industrial, onde se destacam indústrias cimenteiras e siderúrgicas. Os municípios de Sete Lagoas e Vespasiano experimentam extraordinário desenvolvimento, onde as áreas agropecuárias estão cedendo lugar à expansão urbana e industrial.

Visando a oferecer subsídios que permitam a elaboração de um planejamento racional para o desenvolvimento integrado dessa região, vem a CPRM executando o Projeto VIDA - Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental, programa de estudo pioneiro no País.

Trata-se de um projeto multidisciplinar de larga abrangência, onde as atividades de GEOLOGIA DE ENGENHARIA adquirem grande relevância por integrar os elementos naturais da região àqueles frutos do desenvolvimento.

O presente trabalho elaborado em 1992, é o resultado da análise, triagem e integração de elementos inventariados nessa primeira fase da atividade, associado a informações colhidas em viagens de reconhecimento e trabalhos de aerofotointerpretação.

Expõe-se, aqui, de maneira detalhada, a metodologia julgada a mais adequada para esse tipo de investigação, a definição e delimitação das Formações Superficiais existentes e a proposição preliminar das unidades geotécnicas selecionadas e suas relações com os problemas originados pelas ações antrópicas que atuam na região. São apresentados ainda subsídios para outras atividades do Projeto, no sentido de que sejam fornecidas, no futuro, sugestões para um planejamento integrado.

# **INTRODUÇÃO**

---

Poucos temas vêm preocupando tanto a humanidade nos últimos anos como aqueles relacionados com a utilização abusiva e irresponsável dos recursos naturais.

A fuga do homem da zona rural, em busca de melhores condições de vida, promovendo concentrações urbanas desordenadas; a proliferação e ampliação dos pólos industriais sem adequada infra-estrutura; e a destruição indiscriminada das reservas florestais para atender a interesses agropecuários e comerciais fazem com que ocorram sensíveis alterações no equilíbrio ecológico das regiões afetadas.

Como resultado, observam-se, em praticamente todos os países do mundo, regiões onde ocorreram o desaparecimento completo das comunidades vegetais e animais nativas e a contaminação dos solos, água e ar.

Até há poucos anos, a conceituação de "recursos naturais" só se limitava àqueles ligados à produção, ou seja, à obtenção dos produtos de uso imediato, úteis ao homem. Nos últimos tempos, entretanto, essa conceituação vem sendo ampliada, envolvendo em sua definição a fauna, a

vegetação, o solo, as águas e a paisagem.

A consequência imediata dessa extensão de conceito é o aparecimento de conflitos gerados entre a necessidade da demanda dos clássicos recursos naturais e a conservação e preservação desses novos elementos.

A solução desse desafio está em buscar um PLANEJAMENTO técnico e político de desenvolvimento que não se limite a considerar simplesmente fatores imediatos de ordem econômica ou aqueles oriundos do extremismo ecológico. O planejamento sistemático é indispensável para evitar os conflitos entre desenvolvimento e conservação. Oferecer subsídios para esse planejamento constitui o principal objetivo de Projetos Integrados de Meio Ambiente, a exemplo do PROJETO VIDA.

Dentro dessa ótica, o estudo do "solo" em seu mais amplo sentido de suporte das atividades do homem constitui um instrumento fundamental de análise na elaboração desse Planejamento Regional, enfocando o binômio desenvolvimento-proteção ambiental.

## **FINALIDADES E OBJETIVOS**

---

Os materiais inconsolidados, meteorizados ou alterados, situados sobre um leito rochoso, geralmente duro e consistente, são o suporte das atividades construtivas: urbanas, industriais e técnicas.

Visando a analisar a maior ou menor favorabilidade para execução dessas atividades, dentro do contexto da proteção do meio ambiente, o solo é estudado com a finalidade do estabelecimento de unidades ou classes de terrenos onde estas guardem semelhança de natureza e propriedades.

Assim, entende-se a inserção das atividades geotécnicas no bojo do Projeto VIDA, onde os

produtos finais deverão compreender:

- Estabelecimento e detalhamento de metodologia adequada;
- definição das unidades geotécnicas regionais;
- conceituação de problemas por zona geotecnicamente homogênea (aptidão), propiciando critérios básicos de planejamento regional;
- caracterização de problemas específicos, tais como: erosão, abatimentos, deslizamentos, assoreamento; subsídios para definição de áreas para a disposição de efluentes e ocupação urbana;
- zoneamento geotécnico geral.

## **ASPECTOS FISIAGRÁFICOS**

---

A área do Projeto tem uma extensão de 1890km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios de Sete Lagoas, Baldim, Funilândia, Prudente de Moraes, Matozinhos, Capim Branco, Pedro Leopoldo, Vespasiano e Lagoa Santa, no estado de Minas Gerais.

Engloba a região correspondente à Área de Preservação Ambiental Carste de Lagoa Santa (APA Carste Lagoa Santa), que compreende importante conjunto paisagístico natural.

A região é servida pelas rodovias asfaltadas BR-040 (Belo Horizonte-Brasília), MG-424 (Belo Horizonte-Pedro Leopoldo-Matozinhos-Prudente de Moraes-Sete Lagoas), MG-010 (Belo Horizonte-Lagoa Santa), MG-238 (Sete Lagoas-Jequitibá) e por várias rodovias municipais asfaltadas ligando distritos às sedes dos municípios (Fig. 1). De um modo geral, as estradas municipais, sem asfaltamento, são de boa qualidade, permitindo o tráfego de veículos em todos os períodos do ano.

É servida ainda por ramal, bitola larga, da Rede Ferroviária Federal S.A., que corta a região de norte a sul.

O município de Lagoa Santa abriga o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins). Sete Lagoas dispõe de pista de

pouso asfaltada para aviões de médio porte.

Sua hidrografia é relativamente pobre em cursos d'água. À exceção do Rio das Velhas, que constitui o limite oriental da área, a região não apresenta cursos d'água de grande volume.

A maioria dos ribeirões e córregos pertence à bacia do rio das Velhas, destacando-se o ribeirão da Mata e seus afluentes e o ribeirão Jequitibá e seus afluentes. A área é pontilhada de pequenas lagoas, onde se destacam a Lagoa Santa e a Lagoa Paulino (Sete Lagoas), por seus aspectos turísticos.

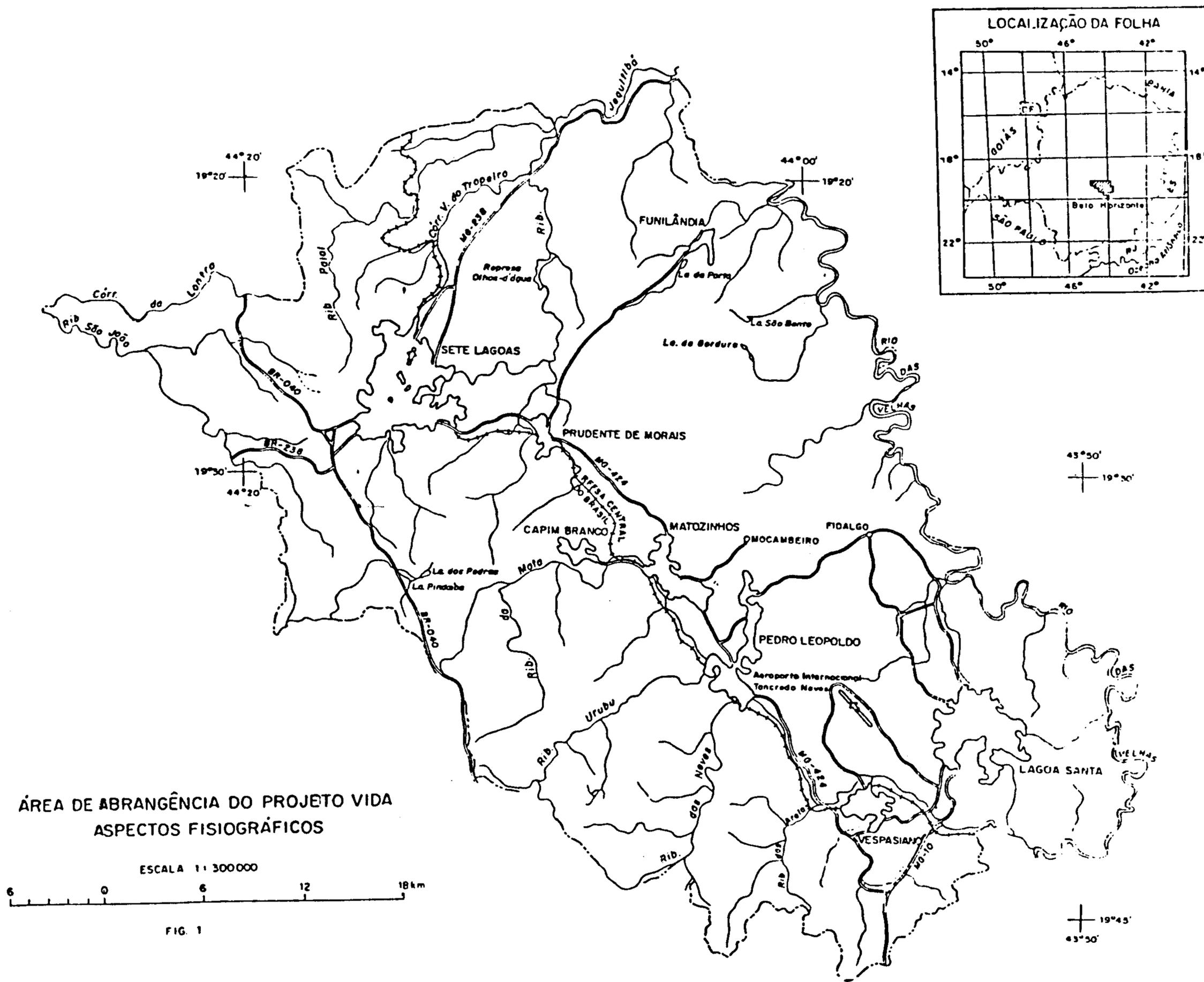
Conforme o Quadro I, o regime pluvial da região é caracterizado pela ocorrência de 6 meses chuvosos (outubro-março) e 6 meses de relativa estiagem (abril-setembro). A precipitação média anual oscila em torno de 1300mm.

Os parâmetros climatológicos médios característicos da área do Projeto são (Fonte:Hidrologia/CPRM):

- Temperatura média anual = 22,8°C;
- Pressão atmosférica média anual = 929mb;
- Umidade relativa média anual = 67,8%;
- Velocidade média anual do vento = 1,5m/s;
- Direção predominante (anual) = E,SE.

**Quadro I: TOTAIS FLUVIOMÉTRICOS MENSAIS (mm)  
MÉDIA - PERÍODO 1961-1990**

ESTAÇÃO	PEDRO LEOPOLDO	VESPASIANO	SETE LAGOAS	BELO HORIZONTE	F. VARG. BONITA	LAGOA SANTA (*)
JANEIRO	238.3	257.1	284.8	297.1	262.5	278.2
FEVEREIRO	160.4	153.5	177.1	188.0	151.3	174.3
MARÇO	123.2	131.8	136.9	163.0	136.5	144.5
ABRIL	41.9	47.2	52.4	63.6	48.9	55.7
MAIO	21.7	26.2	25.9	28.5	21.7	15.9
JUNHO	10.6	9.4	10.2	14.1	10.2	9.7
JULHO	13.3	15.1	14.6	15.1	10.6	4.8
AGOSTO	12.3	12.7	10.7	15.2	9.5	5.7
SETEMBRO	33.4	35.4	34.6	40.1	33.6	30.0
OUTUBRO	113.5	105.7	114.6	127.1	128.0	121.0
NOVEMBRO	227.0	220.4	220.4	241.0	213.1	203.4
DEZEMBRO	274.5	258.8	267.5	324.1	252.3	312.5
ANO	1270.1	1273.2	1349.5	1517.5	1296.3	1359.1



**METODOLOGIA PROPOSTA  
PARA A ATIVIDADE GEOTÉCNICA**

---

Buscando o estabelecimento de uma metodologia adequada, sujeita a modificações, face ao caráter pioneiro do Projeto, procurou-se dividir o programa dos trabalhos em três etapas.

#### 1ª Fase: INVENTÁRIO DOS DADOS EXISTENTES

- Implantação e infra-estrutura;
- Aquisição de documentação básica;
- Análise bibliográfica;
- Levantamento de dados externos;
- Acompanhamento parcial de outras atividades;
- Preparação do mapa de documentação;
- Fotointerpretação geotécnica seletiva;
- Reconhecimento geológico-geotécnico de campo (1ª fase);
- Integração das informações inventariadas;
- Relatório final da 1ª etapa, com mapas em escala 1:100.000, referentes as unidades geotécnicas.

#### 2ª Fase: PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO

- Programação da amostragem - seleção de alvos.

Essa programação objetiva uma caracterização geral das unidades mais significativas, com vistas à obtenção de parâmetros representativos típicos. Não visa a fornecer subsídios diretos a projetos de engenharia, devendo ser aplicada a domínios homogêneos recorrentes na área.

A programação de amostragem e testes foi estimada por critérios litológicos e suas correlações com possíveis problemas regionais, podendo sofrer variações em função do desenvolvimento dos trabalhos:

- Para a área de calcários: 20 pontos de amostragem para caracterização de solos;
- Para a área de ocorrência de metapelitos: 10 pontos de amostragem;
- Para áreas de ocorrência do embasamento cristalino: 10 pontos de amostragem;

- Para coberturas: 20 pontos de amostragem.

Em cada ponto, a amostragem será feita para cada horizonte pedologicamente individualizado e, em princípio, geotecnicamente homogêneo. Estima-se que os horizontes amostráveis convencionalmente variem de 2 a 3 por ponto.

- Os ensaios de caracterização de solos abrangerão os rotineiramente executados (índices físicos, granulometria e limites de consistência).
- Reconhecimento geológico-geotécnico (2ª fase), locação das obras de prospecção geotécnica;
- Coleta de amostras;
- Ensaios e testes físicos.

As amostras deformadas serão ensaiadas para determinação da umidade, massa específica dos sólidos (ensaios físicos). Os demais índices serão determinados por fórmulas de correlação (índice de vazios, porosidade, grau de saturação e massas específicas (seca e saturada).

Os ensaios de granulometria serão realizados com a finalidade de se obter a curva de distribuição granulométrica dos solos, visando à sua classificação textural e à estimativa do coeficiente de permeabilidade.

Serão ainda realizados ensaios para determinação dos limites de liquidez e de plasticidade, visando à determinação das características de plasticidade dos solos amostrados. Esses parâmetros permitirão a classificação geotécnica dos solos.

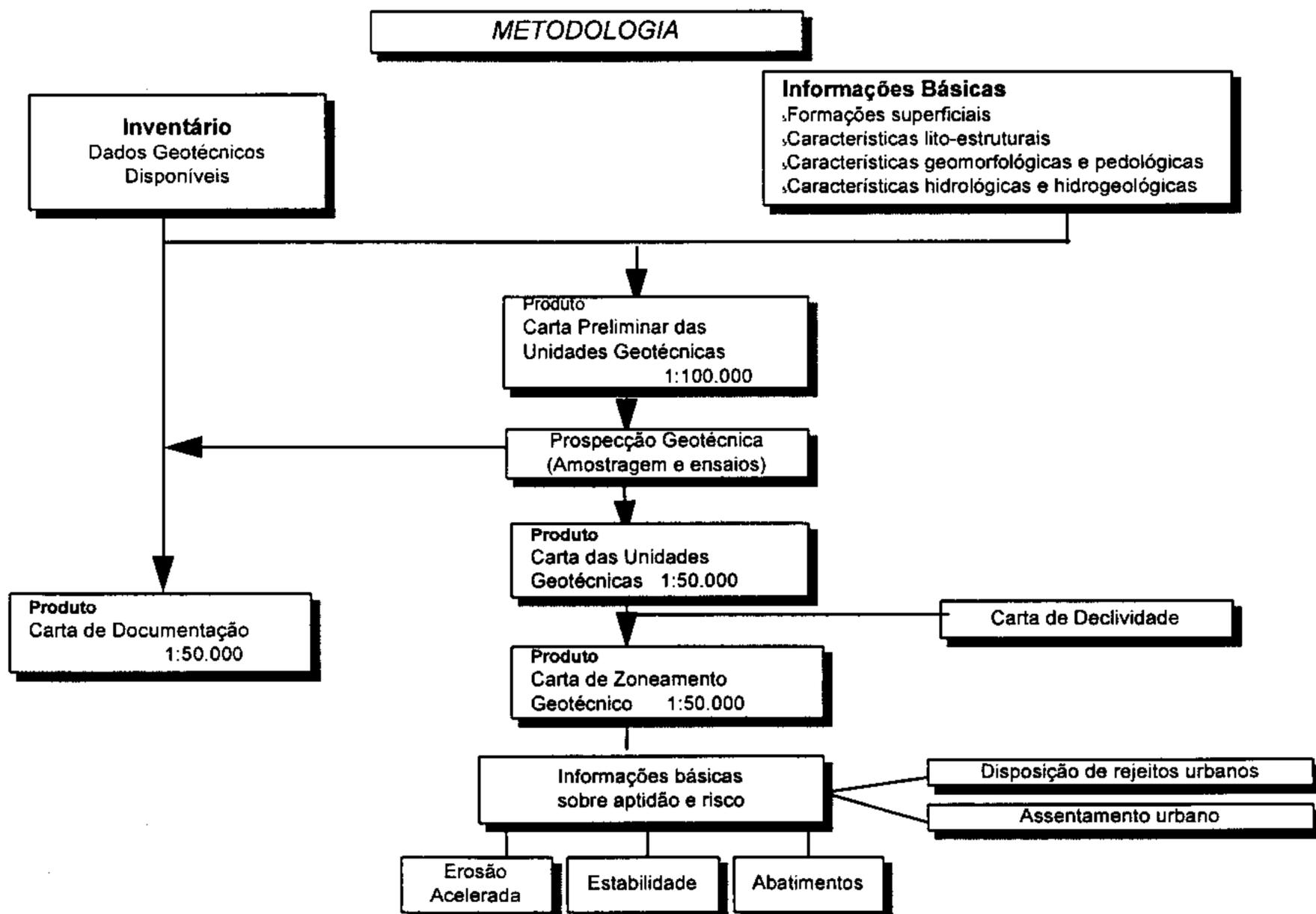
#### 3ª Fase: RELATÓRIO FINAL E CARTAS GEOTÉCNICAS MUNICIPALIZADAS

- Sistematização e processamento de dados;
- Interpretação e consolidação das informações;
- Elaboração de perfis, tabelas e mapas;

- As cartas municipalizadas, na escala 1:50.000, compreenderão:
  - Mapa de Documentação;
  - Mapa Geotécnico de Zoneamento, com adequabilidade para finalidades diversas;
  - Manual de utilização dos mapas

geotécnicos, contendo notas explicativas sobre a metodologia utilizada, caracterização das unidades e tipologia de problemas geotécnicos do município, ilustrado por figuras, fotos, tabelas e quadros.

## CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE PLANEJAMENTO



# **INVENTÁRIO DAS INFORMAÇÕES DISPONÍVEIS**

Conforme metodologia tradicional, a primeira etapa dos trabalhos consistiu no levantamento dos dados disponíveis em repartições públicas, prefeituras e empresas particulares que atuam nos campos de perfuração de poços, administração e construção de rodovias e ferrovias, indústrias cimenteiras e empresas de pesquisa geotécnica em geral.

Nessa coleta de informações, foi encontrada uma série de dificuldades, aqui abordadas, visando a facilitar os trabalhos futuros. Entre elas merecem destaque:

- As consultas realizadas através da expedição de correspondência tiveram um baixo grau de retorno;
- Há uma grande carência de registros na maioria das obras geotécnicas executadas;
- Grande parte dos dados fornecidos está geralmente incompleta e não se encontra vinculada a referências notáveis;
- A maioria dos poços tubulares (aproximadamente 60%) não possui registros de sua descrição litológica;
- As informações obtidas são originadas de obras que se concentram nas proximidades das zonas urbanas ou ao longo de algumas estradas asfaltadas.

Após triagem e análise preliminar, os elementos inventariados foram cadastrados em fichas preparadas para essa finalidade, que deverão compor o Sistema de Informações de Dados Geotécnicos - SIDAG.

Os locais de ocorrência dos dados inventariados e aqueles obtidos através de pesquisa bibliográfica e reconhecimento de campo foram cartografados em mapa, escala 1:100.000, constituindo o MAPA DE DOCUMENTAÇÃO, mostrando a disponibilidade e distribuição dessas informações.

De acordo com esse critério, foram inventariados e cartografados: furos à percussão com ensaios de penetração; poços tubulares com perfis litológicos; pontos de observação e descrição geológica, geotécnica, pedológica e geofísica; principais indústrias cimenteiras e siderúrgicas; minerações e lavras de calcário e ardósia; pontos de extração de areia e argila; fontes e poços escavados, etc.

# SÍNTESE DA GEOLOGIA REGIONAL

---

A seqüência rochosa mais antiga que ocupa a parte inferior da coluna estratigráfica compreende um conjunto de rochas polimetamórficas, representada por gnaisses de tipologia diversa, associados a granitóides e migmatitos. Essa assembléia de rochas arqueanas foi englobada sob a denominação de *Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso*. As rochas desse complexo são cortadas por um enxame de intrusões básicas e veios quartzofeldspáticos, de idades ainda não claramente definidas.

Essas rochas serviram de embasamento para a deposição dos sedimentos que deram origem às rochas supra-crustais pertencentes ao Grupo Bambuí (Supergrupo São Francisco) atribuídas ao Proterozóico Superior e, localmente, a um conjunto metaclástico distinto, de idade atribuída ao Proterozóico Inferior, não considerado neste estudo, devido a sua ocorrência restrita e distribuição irregular.

Na coluna estratigráfica adotada para os trabalhos de mapeamento geológico conforme Tuller e Ribeiro (1992), o Grupo Bambuí, na área, é subdividido em duas formações: Formação Sete Lagoas e Formação Serra de Santa Helena.

A Formação Sete Lagoas é constituída por uma seqüência de rochas carbonáticas, com intercalações de níveis argilosos. As características desses metassedimentos sugerem a existência de um mar epicontinental raso à época de suas deposições, cobrindo o paleorrelevo, constituído pelas rochas gnáissico-migmatíticas. Os estágios iniciais de formação dessa bacia deram-se pela invasão de áreas continentais pelo mar (ciclo transgressivo), inundando as partes mais baixas desse paleorrelevo. Devido à circulação restrita das águas em vários pontos da bacia, ocorreu a hipersalinidade dessas águas, com precipitação dos carbonatos mais impuros, finos e claros, componentes do membro basal da formação - Membro Pedro Leopoldo,

representados pelos litótipos: calcissiltitos e, subordinadamente, calcarenitos e margas. Com o recuo do mar (ciclo regressivo), ocorreu a deposição dos calcários mais puros, grosseiros e escuros, componentes predominantes do membro superior da Formação Sete Lagoas - Membro Lagoa Santa, representados pelos litótipos: calcarenitos, e subordinadamente, calcissiltitos e calciruditos.

Regionalmente, sob o efeito de ações tectônicas, as rochas mais impuras da Formação Sete Lagoas adquiriram laminação incipiente com abundante formação de minerais micáceos.

Um último ciclo transgressivo caracterizou-se por uma sedimentação em águas calmas e mais profundas, possibilitando a constituição de estratos plano-paralelos, característicos dos metapelitos e metargilitos da Formação Serra de Santa Helena. Os metassedimentos dessa formação assentam-se através de contato brusco ou gradacional concordante sobre os calcários do Membro Lagoa Santa da Formação Sete Lagoas. Em outros locais, capeam as rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso e, em outros, repousam diretamente sobre os calcários do Membro Pedro Leopoldo.

Um conjunto de Formações Superficiais, de idades terciária e quaternária, relacionadas a superfícies de aplainamento e à formação de planícies fluviais e cársticas, recobriu praticamente toda a área preenchendo as depressões do paleorrelevo das rochas supracrustais e do embasamento cristalino, ou constituindo depósitos horizontais sobre as superfícies arrasadas dessas rochas.

A tectônica que afetou as rochas supracrustais do Grupo Bambuí originou, na seqüência pelítico-carbonática, famílias de fraturas em direções variadas, conferindo expressiva complexidade para uma interpretação em termos de direção preferencial. A deformação parece

relacionar-se aos esforços compressivos oriundos das faixas marginais dobradas, no caso o Cinturão Brasília, a oeste, e à Faixa de Dobramentos Araçuaí, a leste (Silva, 1986). Assim, as rochas do Grupo Bambuí funcionaram como um anteparo rígido (Cráton do São Francisco), que assimilou os esforços compressivos refletidos em dobramentos acentuados

encontrados próximos às bordas e que diminuem ou desaparecem para o interior da bacia.

O Quadro II fornece um resumo da geologia regional; o Mapa do Substrato Rochoso, escala 1:100.000, exhibe a distribuição das rochas do substrato e suas relações de contato.

Unidades Crono-Estratigraf.	Unidades Lito-estratigráfica	Litótipos/Litofácies	Relação de contato	Deformação/Metamorfismo	Ambiente	
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	Aluviões e terraços aluvionares	Disc.	-----	continental	
		Depósitos argilo-silticos de cobertura. Depósitos argilosos em cavidades cársticas.	Disc.	-----	continental	
		TERCIÁRIO	Depósitos argilo-silticos de cobertura.	Disc.	-----	continental
PRÉ-CAMBRIANO	GRUPO BAMBUI	FORMAÇÃO SERRA DE SANTA HELENA	Brusca, em alguns locais gradacional.	Deformação progressiva e heterogênea, com deslocamento de baixo ângulo. Regime em condições ductil-ruptil a ductil.	Marinho (transgressivo)	
		MEMBRO LAGOA SANTA	Sequência carbonática representada predominantemente por calcarenitos e secundariamente por calcissiltitos e calciruditos. Os calcarenitos são calcários cinza escuro a negro, com abundante calcita, preenchendo vazios e fraturas.	Gradacional, às vezes indefinida.	Deslocamento progressiva e heterogênea, com deslocamento de baixo ângulo. Regime predominante ductil-ruptil.	Marinho (regressivo)
		MEMBRO PEDRO LEOPOLDO	Sequência carbonática representada por calcissiltitos e subordinadamente por calcarenitos e margas. Os calcissiltitos são calcários impuros, às vezes, dolomíticos, coloração cinza, com intercalações escuras.	Discordante (angular)	Ídem Membro Lagoa Santa, com maior efeito de ações tetônica sobre os calcários impuros.	Marinho (transgressivo)
ALTA	COMPLEXO GNÁISSICO MIGMATÍTICO-INDIVISO	As rochas são representadas por gnaisses, granitóides e migmatitos, intensamente recortadas por veios e diques de rocha básica.	-----	Deformação polifásica, gnaissificação, migmatização. Metamorfismo grau médio, com alterações hidrotermais.	-----	

(Base: Mapemaneto Geológico CPRM, Tuller & Ribeiro - 1992, com modificações)

Quadro II - RESUMO DA GEOLOGIA REGIONAL

## **O SISTEMA CÁRSTICO**

---

Os processos de dissolução atuando sobre os calcários da Formação Sete Lagoas deram origem a um conjunto de geoformas positivas e negativas que vêm despertando o interesse turístico e arqueológico, desde o início do século.

Recentemente, essas regiões, devido a problemas de preservação ambiental e ocorrências de abatimentos de terrenos em zonas pontuais urbanas, vêm merecendo especial atenção por parte de entidades governamentais.

O carste da área é representado por dois domínios característicos: um superficial (exocarste) e outro subterrâneo (endocarste). Entre as feições superficiais destacam-se as de morfologia negativa, representadas por sumidouros, dolinas, uvalas, poljes e vales cegos. Entre os de morfologia positiva citam-se os relevos de aspecto ruiforme, torres cársticas, escarpas e platôs. A morfologia do endocarste é representada pelo conjunto de dutos de dissolução, galerias e grutas que vem merecendo um estudo sistemático e detalhado por parte da equipe de espeleologia do Projeto.

Na faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa, foram identificados quatro compartimentos morfológicos distintos (CETEC, 1992):

- **Planaltos Cársticos**, representados pela abundância de exposições rochosas de calcários maciços, geralmente escarpados, e grande concentração de dolinas e sumidouros;
- **Colinas Cársticas**, representadas por colinas em substrato calcário, com ocorrência eventual de afloramentos;
- **Superfícies Onduladas sobre Depressões Cársticas**. Depressões preenchidas parcial ou totalmente por depósitos coluviais/fluviais ou lacustrinos. Algumas áreas apresentando vestígios de solos residuais. Raros afloramentos de rocha (*hums*) emergindo em meio aos depósitos ou solo residual;
- **Depressões Cársticas**, com vertentes côncavas suaves e fundo plano, com ou

sem água. Representam formas de contornos circulares ou elipsoidais, de pequena extensão superficial.

As principais regiões representativas da morfologia denominada Planalto Cárstico situam-se a nordeste de Matozinhos e na bacia do córrego da Samambaia, entre as localidades de Mocambeiro e Fidalgo. Caracterizam-se pela presença de maciços rochosos, seccionados por gargantas e abismos adaptados a sistemas de fraturas, geralmente ortogonais em direção e sensivelmente verticais. Esse conjunto origina elevações com aspecto de torres, ruiformes e extensas escarpas abruptas. As rochas que mais se apresentam com esse tipo de morfologia são os calcarenitos do Membro Lagoa Santa - Formação Sete Lagoas. (Foto 1)

As altitudes e declividades são variáveis, ocorrendo topos de exposição rochosa em níveis superiores a 800/950m e fundo das dolinas a 650/700m.

Essa geoforma (Planalto Cárstico) apresenta a maioria das cavernas encontradas na área e durante o aprofundamento do rio das Velhas (nível base regional) dispôs de gradientes hidráulicos apreciáveis para provocar intensa circulação das águas agressivas (Kohler, 1978). (Foto 2)

Os planaltos cársticos constituem a mais importante área de recarga do carste (CETEC, 1987), com circulação rápida de águas de infiltração e, conseqüentemente, grande potencial de contaminação.

As colinas cársticas encontram-se distribuídas pelas áreas de ocorrência de rochas carbonáticas, apresentando solos pouco espessos, declividade suave e afloramentos de pequeno porte, envolvidos por "mata-galeria". São comuns a presença de dolinas e uvalas, geralmente assoreadas.

Importante morfologia do carste são as áreas rebaixadas que ocorrem entre os

planaltos cársticos, destacando-se aquelas que se situam ao longo dos córregos Mocambo, Jaguará e Samambaia. Contêm geralmente depósitos coluviais e aluviais. Essas planícies cársticas apresentam um modelado suave, baixa declividade e altitudes em torno de 700m.

São geoformas tipicamente fluviocársticas, classificadas como "polje" (CETEC, 1992). Outras áreas deprimidas apresentam evidências de possível origem fluviocárstica, abrigando sedimentação coluvial/fluviol. Essas áreas ocorrem na porção norte da área estudada, predominantemente no município de Sete Lagoas.

A unidade morfológica denominada "depressão cárstica" refere-se a morfologias negativas, de contornos fechados, representadas por dolinas, uvalas e vales cegos. Podem apresentar o fundo permanentemente ocupado por água (Lapinha, Contas, Lagoa dos Mares), ou geralmente secos.

Nas áreas cársticas (holocársticas), representadas por planaltos cársticos e colinas cársticas, onde não ocorra sedimentação coluvial/fluviol ou esta seja de pequena expressão, a drenagem se caracteriza pela ausência dos cursos d'água e pela predominância de circulação

subterrânea (endocarste), que normalmente é feita entre os pontos de absorção (sumidouros, dolinas e fissuras) e as áreas de ressurgência, por onde as águas voltam à superfície através de fontes e nascentes. Esses pontos de ressurgências concentram-se, como seria de se esperar, em áreas de menor altitude, às vezes associados a lagoas (Poço Azul, Lapa Vermelha) e nas áreas de depressão cárstica.

Depreende-se assim que o conhecimento e correlação entre essas unidades morfológicas torna-se de grande importância para definição dos possíveis compartimentos dos aquíferos cársticos.

Na área do Projeto, o sistema cárstico regional apresenta dois estágios característicos de seu sistema evolutivo. A região a nordeste de Prudente de Moraes e Matozinhos, englobando os Planaltos Cársticos, onde há predomínio de estruturas circulares isoladas ou em grupos (dolinas), aparentemente ainda se encontra em fase juvenil. A segunda ocupa a área rebaixada Sete Lagoas-Lagoa Santa, onde o avanço do fenômeno de dissolução provocou a coalescência de várias dolinas, produzindo depressões de formas variadas, geralmente alongadas segundo eixos preferenciais de desenvolvimento (fase de maturidade).



Foto 1: Planalto cárstico - Abundância de exposições rochosas de calcarenitos, com grande concentração de dolinas e uvalas. Unidade geotécnica composta por solos residuais de calcário com matacões. Local: Bebida, município de Prudente de Morais (MG).



Foto 2 - Elevações escarpadas, aspecto ruiniforme, composta por calcarenitos, circundado por colinas suaves composta de residual dessas rochas. Km-13 da rodovia Pedro Leopoldo Fidalgo.

**CRITÉRIOS DE ESTABELECIMENTO DAS  
UNIDADES GEOTÉCNICAS**

---

Os solos e as rochas, em nível de amostras ou de maciços, exibem fenômeno de dispersão aleatória das suas propriedades, resultante de mudanças bruscas ou graduais, tanto verticais como laterais. Essa variabilidade conduz a dificuldades na delimitação de unidades com idênticas propriedades, a partir de resultados pontuais.

Depreende-se desse fato que a disponibilidade de boas cartas litológicas e geomorfológicas é uma necessidade imperativa para o estabelecimento inicial de domínios homogêneos, não havendo sentido, para trabalhos regionais de cartografia geotécnica, a determinação de propriedades físicas e mecânicas de solos e rochas se estas não estiverem inseridas em contexto geológico específico.

Entende-se por "unidades geotécnicas" as classes de terreno de mesma natureza e com idênticas propriedades físicas.

Face às considerações expostas, às características geológicas da área e à escala de trabalho, adotou-se para classificação das unidades estabelecidas, o critério LITOGENÉTICO, onde os dados disponíveis apoiam-se, em primeira instância, no conhecimento da geologia regional da área. O conceito de geologia regional aqui exposto envolve, além de litologia, a geologia estrutural, a estratigrafia, a sedimentologia e geomorfologia.

A aplicação desse "critério" corresponde a reconhecer classes de terrenos com a mesma gênese e idêntica história geológica, não eliminando as informações de caráter estratigráfico que conferem aos mapas geotécnicos a terceira dimensão das cartas geológicas.

Com base no critério litogenético, as unidades geotécnicas foram designadas como "complexos litológicos", face à escala e finalidade do trabalho.

As Formações Superficiais *lato sensu* são os materiais recentes resultantes da alteração da rocha *in situ* (solos residuais) ou materiais transportados (coberturas colúvio-aluvionar, rampas de colúvio, aluviões, terraços, etc.). Suas características de composição e modo de jazimento resultantes de sua gênese continental fazem com que essas formações exibam os mais importantes problemas geotécnicos. O substrato rochoso, mais consistente e compacto, tem características geotécnicas geralmente mais favoráveis. A análise da bibliografia disponível sobre a faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa demonstrou a inexistência de trabalhos regionais que descrevessem ou delimitassem as formações superficiais da área.

À exceção de poucos trabalhos de âmbito local (Kohler, 1991), a maioria enfatiza unicamente a geologia do substrato rochoso.

Na ausência desse conhecimento, buscou-se através de superposições de informações e cartas inventariadas, a preparação de mapas preliminares onde se delineiam as Formações Superficiais.

As delimitações e descrições relativas ao substrato rochoso, com pequenas modificações, foram extraídas do levantamento geológico, escala 1:50.000, realizado pela CPRM (1992), complementado por informações da bibliografia analisada e reinterpretações aerofotogeológicas.

Os complexos litogenéticos correspondentes aos solos residuais e depósitos de cobertura foram delimitados pela justaposição simples dos mapas geomorfológicos (CETEC, 1992) e geológicos (CPRM, 1992). Justaposições secundárias e terciárias foram levadas a efeito com os mapas pedológicos (CETEC, 1992) e topográficos. Modificações e correções localizadas foram posteriormente efetuadas através de dados de campo, obtidos em trabalhos de reconhecimento.

O mapa preliminar assim preparado sofreu uma rápida verificação de campo, ficando demonstrada a necessidade da execução de uma reinterpretação aerofotogeológica parcial para verificação e correção dos limites dos depósitos de cobertura, relacionados às superfícies de erosão. Informações disponíveis sobre espessuras, composição, propriedades e características

dessas Formações Superficiais são normalmente pontuais e restritas, advindas dos dados inventariados.

Fica assim evidenciado o caráter preliminar do mapa conseguido, que deverá ser aprimorado por futuros levantamentos específicos das Formações Superficiais.

# **UNIDADES GEOTÉCNICAS**

---

Baseados no exposto em capítulos anteriores, foram estabelecidas as seguintes unidades geotécnicas:

• Referentes ao Substrato Rochoso:

- **Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso (CG)**, localmente cortado por intrusivas básicas e quartzofeldspáticas;
- **Complexo Calcissiltítico (CS)**, correspondendo ao conjunto de rochas carbonáticas do Membro Pedro Leopoldo, Formação Sete Lagoas;
- **Complexo Calcarenítico (CA)**, correspondendo ao conjunto de rochas carbonáticas do Membro Lagoa Santa, Formação Sete Lagoas;
- **Complexo Metapelítico (CP)**, correspondendo aos metassedimentos da Formação Serra de Santa Helena.

• Referentes aos Solos Residuais:

- **Residual das rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso (CGr)**;
- **Residual das rochas do Complexo Calcissiltítico (CSr)**;
- **Residual das rochas do Complexo Calcarenítico (CAr)**;
- **Residual das rochas do Complexo Metapelítico (CPr)**.

• Referentes aos Depósitos de Cobertura:

- **Complexo Argilo-Siltítico C1**, compreendendo os sedimentos relacionados à superfície de aplainamento terciária;

- **Complexo Argilo-Siltítico C2 e C2k**, compreendendo os sedimentos relacionados à superfície de aplainamento quaternária e a depressões cársticas de maior amplitude;
- **Complexos Arenó-Siltítico-Argiloso e Siltítico-Argilo-Arenoso (Ca,t)**, correspondendo a sedimentos fluviais, tais como aluviões, terraços e planícies em processo de colmatagem;
- **Complexo Coluvionar em rampa (Rc)**, compreendendo os sedimentos dos depósitos de vertente e colúvios não-diferenciados.

- **Afloramentos e Pedreiras (Er)**, exposições rochosas em extensão apreciável.

É importante ressaltar que os depósitos de cobertura C1 e C2, de extensão considerável em todos os municípios, possivelmente apresentem pequena espessura (menor que 1,00m) em pelo menos 30% de sua área de ocorrência. Por outro lado, para efeito deste trabalho, foram consideradas inicialmente unidades distintas e independentes do substrato, admitindo-se que essas formações comportem-se geotecnicamente da mesma forma ao passar de um substrato para outro, como geralmente ocorreu no estudo pedológico. Esse fato, entretanto, deverá ser melhor analisado durante a fase dos trabalhos de campo, principalmente nas transições gnaisse-calcário e calcário-metapelitos.

**DESCRIÇÃO SUMÁRIA  
DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS**

---

A bibliografia analisada, os dados inventariados, a reinterpretação aerofotográfica realizada e as observações de campo efetuadas durante o rápido reconhecimento geológico-geotécnico forneceram subsídios para uma descrição sumária e preliminar das unidades geotécnicas.

Deve-se, entretanto, ressaltar que a maioria das informações obtidas com relação às características geotécnicas de cada unidade refere-se a áreas restritas ou apresenta caráter pontual. Dessa maneira, seria bastante prematuro efetuarem-se generalizações dessas características de forma a tratar cada complexo como uma unidade de zoneamento definida.

Informações coletadas dos poços tubulares existentes restringem-se a zonas urbanas ou a locais próximos a elas. As sondagens à percussão com ensaios de penetração (SPT) situam-se ao longo de trechos da MG-424, MG-238, MG-10 e Aeroporto Tancredo Neves (Confins) ou em pontos isolados das cidades da região.

As características texturais dos complexos litológicos inconsolidados foram obtidas por observações de campo, ensaios granulométricos realizados pelo CETEC (1992) para estudos pedológicos e descrições litológicas dos furos à percussão realizados para ensaios de penetração. Não houve disponibilidade para análise de famílias de curvas granulométricas dos níveis de cada unidade, parâmetros que serão obtidos nas etapas subsequentes.

Não se obtiveram parâmetros físicos e mecânicos para avaliação das rochas do substrato.

Dessa forma, algumas generalizações conseguidas são pautadas nas características litológicas e nos aspectos aerofotográficos, geomorfológicos e pedológicos dessas unidades.

O Quadro IV resume as principais características geomorfológicas, pedológicas, hidrogeológicas e geotécnicas dos solos residuais e depósitos de cobertura.

## 1. SUBSTRATO ROCHOSO E SOLOS RESIDUAIS

### 1.1 COMPLEXO GNÁISSICO-MIGMATÍTICO INDIVISO E SOLOS RESIDUAIS (CG/CGr)

As rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso e seus solos residuais ocupam aproximadamente 1/3 da área estudada, constituindo uma faixa de direção NW/SE. Ocorrem ainda em janelas abertas pela erosão, em áreas de metapelitos e calcários.

São constituídas predominantemente por rochas maciças representadas por gnaisses associados a granitóides e migmatitos.

Entre as rochas gnáissicas predominam os gnaisses a hornblenda, biotita-gnaisses e diopsídio-anfibólio-gnaisses. São em geral rochas leucocráticas, granulação variando de fina a grossa e foliação preferencialmente de baixo ângulo.

Os granitóides apresentam coloração cinza-clara a esbranquiçada, com xenoblastos de outras rochas.

Nas porções migmatizadas, a rocha é bandada, com dobras desarmônicas, e intensamente recortada por veios quartzofeldspáticos e pegmatóides.

Todo o conjunto exhibe abundantes juntas, fraturas, e corpos injetados, gerando o aparecimento de um enxame de diques de rochas básicas, com posicionamento preferencial NW/SE.

Os tipos básicos mais comuns são representados por gabronoritos, diabásios e anfibolitos, com coloração cinza-

esverdeada-escuro e granulação fina a grossa.

Os afloramentos ou exposições rochosas desse complexo são relativamente escassos e as poucas pedreiras existentes encontram-se paralisadas.

A meteorização das rochas desse complexo dá origem a solos de coloração predominante vermelha, rósea e amarelada, bem estruturados, com espessuras que podem atingir 60m.

O relevo regional é fortemente ondulado a montanhoso.

As geoformas predominantes são colinas com vales amplos e vertentes geralmente côncavas, com alta declividade. Nas áreas onde ocorrem intrusões, predominam as montanhas de cristas alinhadas com vertentes retilíneas e declives acentuados.

Na porção norte da área, predominam os latossolos vermelho-escuros e os cambissolos álicos. Nas folhas Cachoeira da Prata/Pedro Leopoldo/Contagem e Lagoa Santa/Belo Horizonte predominam terrenos podzólicos vermelho-amarelados, distróficos.

Algumas amostras ensaiadas para estudos pedológicos (CETEC, 1992) forneceram a

seguinte composição granulométrica do horizonte B, dessa unidade:

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL.AREIA/SILTE
14	24	22	54	0,92
15	33	17	50	0,34
27	17	24	59	1,41

A porosidade desse horizonte é muito alta, oscilando entre 52% e 58%; o PH é bastante variável, geralmente entre 4,7 e 6,3.

A permeabilidade dos solos da unidade é geralmente moderada, predominando o escoamento superficial denso.

As características de resistência foram avaliadas a partir de ensaios de penetração realizados em trechos da rodovia MG-424. A Figura 2 condensa alguns resultados desses ensaios de SPT considerados mais representativos da unidade.

Observa-se que, geralmente, o perfil superior entre as profundidades de 0 a 12m é constituído por material argilo-silte-arenoso, mole.

Abaixo dessa profundidade, ocorre material de textura silte-areno-argilosa, algumas vezes contendo palhetas de mica. Intercalações de areias siltosas, coloração cinza e níveis de pedregulhos são bastante freqüentes.

SPT	. Consistência (finos) .Compacidade (granulares)	Resistência à Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof. (m)
3 a 15	mole a rija (consist.) pouco compacta (compac)	0,25 - 1,00	0 m
8 a 30	Rija a muito rija (consistência)	2,0 - 4,0	12m 20m

Fig. 2 - Características de Resistência dos Solos CGr

## 1.2 COMPLEXO CALCISSÍLTITICO E SOLOS RESIDUAIS (CS/CSr)

O Complexo Calcissiltítico engloba o conjunto de rochas do Membro Pedro Leopoldo, da Formação Sete Lagoas.

É representado na área em estudo por calcissiltitos e, local e subordinadamente, por margas, biocalcissiltitos, milonitos protoderivados e calcarenitos (Tuller e Ribeiro, 1992).

Os calcissiltitos são calcários maciços ou laminados, impuros, às vezes dolomíticos, coloração cinza-clara a cinza-média, com intercalações escuras de metapelitos e/ou calcarenitos, em leitos delgados, algumas vezes rítmicos. Tais calcários, na classificação de Folk (1962) são descritos como microesparitos, esparitos e micritos.

As margas exibem cor cinza-clara a rósea, são finamente laminadas em camadas milimétricas a decimétricas plano-paralelas, intercaladas por camadas argilosas, geralmente milimétricas. Tanto nos calcários impuros como nas margas, os teores de carbonato variam de 85% a menos que 50% (School, 1972), com maior frequência em torno de 75%. Seus componentes clásticos são constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos (albita/oligoclásio), filossilicatos (muscovita, sericita, biotita e clorita), além de epidoto, zirconita, turmalina e pirita.

Alguns níveis desses calcários apresentam leitos milimétricos a centimétricos de calcita grosseira alternados com leitos de dolomita criptocristalina.

Os biocalcissiltitos e biocalcarenitos são laminitos algais constituídos por extratos carbonáticos rítmicos de coloração cinza-clara e esverdeada, marrom-arroxeadada e creme, com intercalações mais escuras de metapelitos em lentes ou camadas centimétricas.

Os milonitos protoderivados, conhecidos regionalmente como "pedra de Lagoa Santa", resultam de ações tectônicas sobre

as demais rochas do Membro Pedro Leopoldo. São essencialmente calcissiltitos laminados, de coloração cinza a esverdeada, ricos em sericita, quartzo e argilominerais.

Apresentam teores em carbonato de cálcio geralmente inferiores ou próximos a 50% e teores em sílica, alumina, magnésio e ferro bastante altos. Ocupam preferencialmente a parte basal do Membro Pedro Leopoldo, embora possam ocorrer em qualquer nível.

Em trabalhos anteriores realizados na área (Kohler, 1978), essas rochas foram muitas vezes descritas como calciofilitos. São freqüentemente utilizadas como pedras de revestimentos, tendo sua principal área de extração na região de Lagoa Santa.

Em função do percentual de impurezas, os solos residuais das rochas dessa unidade podem atingir espessuras de 20 a 30m, principalmente quando o maciço rochoso encontra-se fraturado ou finamente laminado.

Apresentam coloração vermelho-escura a amarelada, em função de seu conteúdo de hidróxidos de ferro e manganês. São sedosos, maciços e com perfis de meteorização irregular. Constituem-se essencialmente em quartzo, sílex, óxidos de ferro e manganês e argilo-minerais.

O relevo característico das áreas de ocorrência dessa unidade é ondulado a suavemente ondulado. Compreende colinas de topos arredondados, com vertentes predominantemente convexas. Ocorre ainda, associado a depressões cársticas, com vertentes côncavas e suaves.

Seus horizontes superficiais (horizonte B), em função do relevo em que se situam, são podzólicos vermelho-amarelos ou cambissolos, álicos ou distróficos.

A falta de elementos informativos, a partir dos dados inventariados, não permite que

se façam maiores considerações sobre as propriedades geotécnicas desse complexo.

A análise dos elementos fisiográficos e geomorfológicos sugere que as áreas de ocorrências desses solos residuais têm uma permeabilidade variável, de média a alta, onde a infiltração é regida pelo fraturamento do substrato rochoso. A drenagem superficial é pouco densa e se faz predominantemente através do sistema do endocarste.

Algumas amostras coletadas na etapa de reconhecimento geológico-geotécnico indicam uma textura argilo-siltica e silte-arenosa para seus horizontes superficiais.

A área de ocorrência dessa unidade é potencialmente favorável a abatimentos, como os que ocorrem na cidade de Sete Lagoas.

### 1.3 COMPLEXO CALCARENÍTICO E SOLOS RESIDUAIS

Os calcarenitos são as rochas carbonáticas predominantes do Membro Lagoa Santa, representados por calcários maciços cinza-escuros a pretos, quando frescos. Na classificação de Folk (1962), esses calcários são classificados como esparitos e microesparitos.

Apresentam abundantes venulações de calcita branca, preta e cor-de-mel, preenchendo vazios e fraturas da rocha.

Quando quebrados, exalam forte cheiro de enxofre, devido à presença de minerais sulfetados.

Os teores em carbonato de cálcio são normalmente altos (95% a 99%), tendo como impurezas: quartzo, micas, cloritas, pirita e matéria orgânica (School, 1972).

A matéria orgânica que confere a cor negra a esses calcários pode atingir teores de 0,52% da rocha total, ocorrendo em lâminas micrométricas e milimétricas, no espaço

intergranular ou no interior dos cristais de calcita. Acredita-se que a matéria orgânica constitua um importante agente fornecedor de CO<sub>2</sub> às soluções infiltradas, contribuindo para a aceleração do processo de dissolução. A maior incidência de cavidades e cavernas nos calcários escuros do Membro Lagoa Santa parece corroborar essa hipótese.

Os calcarenitos são os calcários utilizados para fabricação de cal e cimento; seus teores em óxidos encontram-se expressos no Quadro III.

Em alguns níveis e locais restritos, ocorrem, associados aos calcarenitos, leitos de até 5m de biolititos estromatólitos (bioesparitos), níveis de calcário oolítico (oosparito) e zonas brechadas (pelesparitos).

Toda seqüência de rochas carbonáticas apresenta elevado grau de fraturamento em direções as mais variadas. Aparentemente existem duas famílias de fraturamento de direções preferenciais (Fig. 3): N10-29E e N50-69E.

Fraturamentos segundo os planos de acamamento são também bastante comuns, constituindo as denominadas *lapiez*.

O baixo teor de impurezas dos calcarenitos faz com que seus solos residuais sejam geralmente de pequena espessura, tendo em vista que a dissolução é o principal processo atuante na meteorização.

Contudo, em zonas altamente fraturadas, a percolação das águas de infiltração produz uma meteorização direcional, ocorrendo perfis extremamente irregulares entre o solo e a rocha fresca ou saprolitizada.

Nos solos residuais oriundos de calcarenitos maciços, com atitude de fraturamento de alto ângulo, o perfil de intemperismo origina pináculos rochosos característicos. Nos calcarenitos laminados, em condições de fraturamento semelhante, ocorrem os

"blocos rochosos flutuantes" imersos na massa argilosa.

Teores em óxidos (%)	Companhia de Cimento Portland Itaú (Vespasiano)			Cimento Cauê S.A. (Pedro Leopoldo)		Mineração Lapa Vermelha (Pedro Leopoldo)	SOEICOM S.A
	Fab. de Cal	Fab. de Cimento	Calc. Silicoso	Calc. Inf.	Fab. Cimento	Fab. de Cal	----
CaO	54.63	52.60	47.87	41.94	55.41	55.26	54.99
MgO	0.21	0.40	0.92	---	0.09	0.40	0.33
SiO <sub>2</sub>	1.38	3.70	10.80	18.83	1.08	0.82	0.62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.16	0.23	0.43	3.57	0.40	0.12	0.31
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.17	0.29	1.31	0.28	0.20	0.24
Tit.	98.05	94.78	87.80	75.00	97.62	---	97.80
PF	43.02	41.13	38.13	33.51	42.90	43.29	43.21

Quadro III: Composição em óxidos dos calcarenitos utilizados para fabricação de cimento e cal.

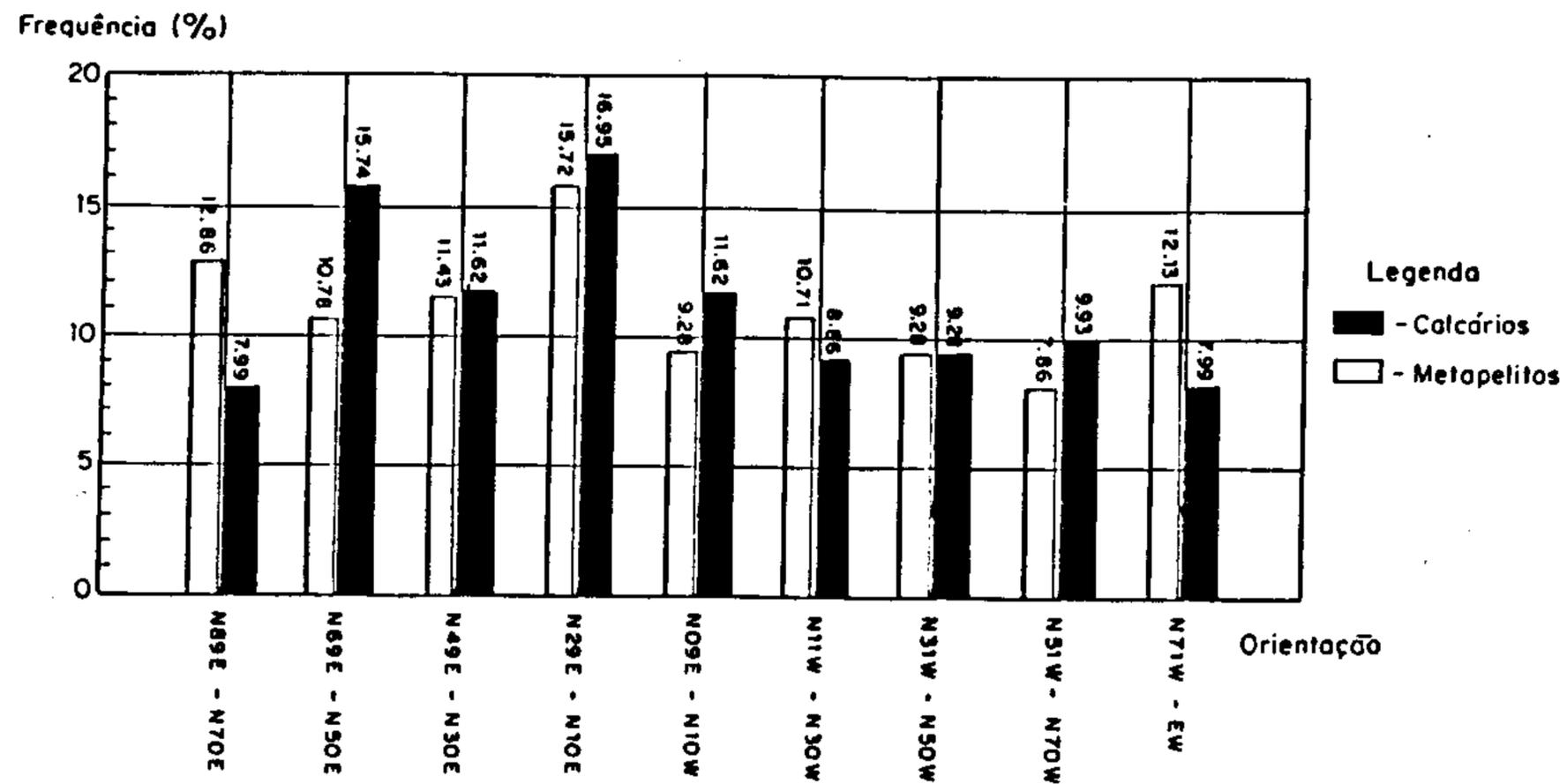


Fig. 3 - DIREÇÕES DE FRATURAMENTO POR LITOLOGIA

Fonte: CETEC/PLAMBEL - 1987

Esses aspectos podem ser bem observados nas pedreiras de Pedro Leopoldo, Vespasiano e Lagoa Santa, especificamente naquelas das Companhias de cimento Cauê, Itaú, Lapa Vermelha e SOEICOM S/A.

Os solos residuais dos calcarenitos são bastante sedosos, coloração avermelhada ou amarelada, raras vezes cinza.

O relevo regional das áreas ocupadas por essa unidade é predominantemente ondulado a suavemente ondulado, exceto nas áreas de ocorrência das exposições rochosas, onde torna-se montanhoso escarpado.

Seus horizontes pedológicos apresentam tipologia característica em função da morfologia do terreno a que pertencem.

Nas depressões cársticas ocorrem cambissolos álicos, enquanto nas colinas predominam os solos podzólicos álicos. Latossolos ocupam grande parte das vertentes dessa unidade nas folhas Sete Lagoas/Baldim e Cachoeira da Prata/Pedro Leopoldo/Contagem. As áreas de maciços calcários com escarpamento constituem nessas folhas os Planaltos Cársticos.

Amostras ensaiadas para estudos pedológicos (CETEC, 1992) forneceram a seguinte composição granulométrica até a

profundidade de 1,80m (horizonte B):

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL SILTE/ARG
03	63	16	21	0.25
03	62	12	20	0.29
05	65	25	10	0.38
05	67	22	11	0.33
07	81	14	5	0.17
21	84	10	5	0.17
21	53	44	3	0.83

Através desses resultados, observa-se o predomínio da textura argilo-siltica pouco arenosa nos níveis superficiais dos solos da unidade. A porosidade dos horizontes é média a alta (45% a 52%) e o PH varia de 4,7 a 5,1.

A permeabilidade dos terrenos é alta, onde a taxa de infiltração é regulada pela estrutura do solo e pelo grau de fraturamento e cavidades de dissolução do substrato rochoso.

A drenagem superficial é ausente ou pouco densa, caracterizada pela presença de vales cegos e cursos intermitentes.

As características de resistência foram avaliadas a partir de ensaios de penetração (SPT), realizados ao longo de trechos da MG-424 e MG-10.

A figura 4 condensa resultados de ensaios de SPT considerados mais representativos desses solos residuais.

SPT	. Consistência (finos)	Resistência à Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof. (m)
3 a 15	mole a rija (consistência)	0,25 - 2,00	0 m
10 a 30	rija a muito rija (consistência)	2,00 - 4,00	7m 20m

Fig.4 - Características de Resistência dos Solos CAr

Observa-se que nos níveis superiores da unidade (0 a 7m), o material apresenta textura argilo-síltica. Abaixo, até 20m, a textura é silte-argilo-arenosa. Níveis de pedregulhos ocorrem raramente.

#### 1.4 COMPLEXO METAPELÍTICO E SOLOS RESIDUAIS

Os metassiltitos são as rochas predominantes desse Complexo, apresentando-se, em geral, com estratificação plano-paralela (Tuller e Ribeiro, 1992). São constituídos de quartzo, sericita, micas e argilo-minerais.

Em raros locais da área exibem xistosidade ardosiana característica. Toda a seqüência encontra-se recortada por abundantes veios de quartzo e/ou quartzofeldspato, relacionados a zonas de fraturas. Segregações de quartzo em bolsões são observadas em vários pontos, principalmente na parte norte da área (Foto 3). Nesses locais o quartzo é extraído para utilização como fundente metalúrgico. Venulações de quartzo estriado são também bastante freqüentes segundo os planos de acamamento ou xistosidade da rocha.

Camadas de metargilitos são localmente observadas em intercalações rítmicas ou não no pacote de metassiltitos.

A coloração das rochas do complexo é normalmente cinza-média a clara, às vezes adquirindo tons esverdeados.

Exposições de rocha fresca são raras, ocorrendo eventualmente nos vales mais profundos ou quando possuem mergulhos fortes, no topo das colinas íngremes. Em geral apresentam-se saprolitizadas, mantendo nítidos vestígios da estrutura original, em pacotes pouco coesivos recortados por linhas de quartzo leitoso ou hialino.

Ao se decompor, adquirem tonalidades amarelada, rosa ou avermelhada, de acordo com seu estágio de meteorização.

A profundidade de decomposição das rochas metapelíticas parece estar intimamente relacionada com a postura estrutural de suas camadas e o seu grau de fraturamento. Onde os metapelitos apresentam atitudes próximas da horizontal, a meteorização atinge pequena profundidade, originando solos residuais pouco espessos que, raramente, atingem 5,00m, antes de atingir o saprólito. Ao contrário, onde se apresentam perturbadas tectonicamente, com fortes mergulhos e dobramentos apertados, a meteorização é mais profunda e intensa, atingindo às vezes 40m de profundidade. Nesses locais, devido à abundância de veios e buchos de quartzo intercalados, ocorrem, como produtos residuais, espessas camadas de cascalho detrítico de quartzo, de granulometria extremamente variável. (Fotos 4 e 5). Na foto 6 é mostrado o beneficiamento desse material.

As cascalheiras, assim denominadas regionalmente, são utilizadas para capeamento de estradas ou formação de subleito de rodovias asfaltadas em construção.

Kohler (1978, 1991) descreve, na região de Lagoa Santa, níveis de cascalho com seixos de quartzo angulosos e subarredondados em matriz argilo-síltica, sustentando o relevo regional das rochas metapelíticas ou recobrando as vertentes em declive. Nesse trabalho, esse autor denomina os metapelitos de filitos e assinala, em seu perfil da região, espessuras superiores a 100m para tais rochas intemperizadas.

O relevo dos terrenos metapelíticos é em geral fortemente ondulado a montanhoso, predominando as colinas com topos arredondados, vertentes convexas e vales encaixados. Essas vertentes são em geral ravinadas e de média a alta declividade.

Os solos predominantes na maior parte da área de ocorrência são cambissolos álicos. Ao norte (folhas Paraopeba e Sete



Foto 3: Segregação de quartzo leitoso em saprólitos de metapelitos. Venceslau Brás, município de Sete Lagoas (MG).



Foto 4: Cascalho residual oriundo de veios de quartzo leitoso, resultante da meteorização de rochas do Complexo Metapelítico. Município de Lagoa Santa (MG)



Foto 5: Extração de quartzo leitoso para fundente, oriundo de segregação em rochas do Complexo Metapelítico. Venceslau Brás, município de Sete Lagoas (MG).



Foto 6: Processo de limpeza e classificação de seixos de quartzo leitoso utilizados como fundente de alto forno. Venceslau Brás, município de Sete Lagoas (MG).

Lagoas/Baldim), algumas vertentes retilíneas apresentam solos litólicos.

Ao sul, observa-se a predominância de terrenos tipo podzólico vermelho-amarelo. Latossolos são bastante escassos.

Durante o levantamento pedológico (CETEC, 1992), foram ensaiadas 4 amostras referentes ao horizonte B em terrenos da unidade.

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL. SILTE/ARG
02	44	49	7	1,11
20	41	57	2	1,39
23	48	52	-	1,13
24	41	56	-	1,37

De acordo com esses resultados, a textura dos níveis superficiais (horizonte B) seria silte-argilosa com pouca ou nenhuma areia.

A porosidade do horizonte é muito alta, oscilando entre 57% e 69% e o pH, entre 5,3 e 5,5.

Quando apresentam alto grau de meteorização, os solos residuais dos metapelitos apresentam baixíssima coesão e alto grau de umidade retida. Nessas condições, são facilmente atacáveis pela erosão acelerada, com propensão a

apresentar importantes escorregamentos (fluxo de lama) em épocas de maior pluviosidade. A MG-424, trecho Matozinhos-Prudente de Moraes, apresenta inúmeros cortes nesse material associado a depósitos de cobertura (C1), onde os taludes exibem abundante erosão em sulco e evidências de deslizamentos. Aspectos semelhantes são observados nas vertentes ao norte e nordeste de Lagoa Santa, onde a erosão em sulco linear arrasou os depósitos de cobertura e penetrou a mais de 40m no solo residual de metapelitos, em grande extensão linear. (Fotos 7 e 8)

As características de resistência desses solos residuais foram avaliadas através de ensaios de SPT executados no Aeroporto Tancredo Neves (Confins), tendo em vista a inexistência de informações referentes a outros locais.

A Figura 5 condensa os resultados desses ensaios, que aparentemente estão um pouco elevados para serem considerados como representativos da unidade.

O perfil superior, entre 0 e 12m, apresenta textura argilo-siltica, pouco arenosa, com raros níveis de pedregulho. O perfil inferior, até 20m, apresenta textura silte-argilosa.

SPT	. Consistência (finos)	Resistência à Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof. (m)
5 a 25	média a muito rija (consistência)	0,5 a 2,0	0 m
15 a 40	muito rija a dura (consistência)	2 a >4	12m
			20m

Fig. 5- Características de Resistência dos Solos CPr

## 2 DEPÓSITOS DE COBERTURA

King (1956) descreveu com muita propriedade para aquela época, a evolução da paisagem de parte do território brasileiro, com ênfase em sua parte oriental.

Segundo King, "desde o início do Paleozóico, grande porção do território brasileiro constituiu uma imensa massa continental.

Nesse território destacaram-se duas formas principais de relevo, presentes, por vezes, lado a lado, ou alternando-se outras vezes no tempo. A primeira compreendeu os ciclos de desnudação e erosão, e a segunda, ciclos de agradação ou sedimentação. Na combinação dessas duas seqüências, acha-se escrita a história da evolução da paisagem do leste brasileiro, desde sua emersão".

### 2.1 COMPLEXO ARGILO-SÍLTICO C1

As observações de King (1956) levaram-no a denominar de Pediplano Sul-Americano a superfície esculpida durante o Terciário Inferior, atingindo grande uniformidade de aplainamento. Essa superfície aparece freqüentemente como extensas chapadas, ou farrapos, elevando-se sobre o sistema de vales ou planícies onduladas, oriundo de ciclos posteriores de erosão.

Esse nível de aplainamento foi identificado em levantamentos geomorfológicos executados na faixa em estudo, CETEC (1987), como superfície do Terciário Superior e denominada como Superfície Matozinhos, mais tarde recebendo a designação de Superfície Ondulada 2 -SO2 (CETEC, 1992). Apresenta altitudes que variam de 800 a 900m, baixa declividade regional sendo freqüentemente constituída por depósitos permeáveis, capeando em sua maior extensão os metassedimentos das formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, do Grupo Bambuí e, em menor proporção, constituindo os topos peneplanizados do relevo constituído pelas rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso.

O Complexo Argilo-Síltico C1 compreende o conjunto de sedimentos, predominantemente coluviais, relacionados a esse nível de aplainamento (800-900m), coloração vermelho-escura a amarelada.

Os ciclos de erosão Velhas retrabalharam grande parte desses depósitos, deixando superfícies em forma de retalhos irregulares. Sua maior extensão de ocorrência situa-se na porção central da área estudada.

O relevo regional é plano a suavemente ondulado, com declividades inferiores a 8%, exceto em seus limites, onde podem atingir valores superiores a 20%. Nesse caso é bastante comum constituírem rampas de colúvio, suavizando os declives dos metassedimentos subjacentes.

Seus solos superficiais (horizonte B) são latossolos vermelho-escuros, álico e, mais raramente, nos pedimentos associados, latossolos vermelho-amarelos. A determinação da granulometria dos sedimentos superficiais (horizonte B) levada a efeito pelo CETEC (1992), durante a realização dos estudos pedológicos, forneceu os seguintes resultados:

AMOSTRA (nº)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL. SILTE/ARG
04	73	19	8	0.26
04	74	16	10	0.24
09	79	17	4	0.21
13	49	27	24	0.55
16	78	16	16	0.20

A porosidade é muito alta, oscilando entre 55% a 63%; o PH varia de 5,2 a 5,6.

A determinação da umidade e limites de consistência em duas amostras coletadas durante o reconhecimento geológico revelou os seguintes valores:

AMOSTRA (nº)	1606.002	1605.003
Umidade (%º)	16.86	18.85
Limite de liquidez (%)	56.00	52.00
Ind. plasticidade (%)	16.00	12.00
Classif. geotécnica	MH	MH
Plasticidade	média	média

A permeabilidade desses terrenos é muito alta e a drenagem superficial inexistente.



Foto 7: Vista aérea da voçoroca linear instalada no Morro do Cruzeiro, município de Lagoa Santa (MG), em terrenos de alta declividade constituídos por residuais de metapelitos. (Fonte: Projeto de Recuperação Ambiental do Lago da Cidade de Lagoa Santa - CETEC)



Foto 8: Erosão em sulco linear de grande extensão e profundidade em solos residuais do Complexo Metapelítico. Morro do Cruzeiro, município de Lagoa Santa (MG).

SPT	. Consistência (finos)	Resistência à Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof. (m)
5 a 20	média a muito rija (consistência)	0,5 - 4,0	0 m
20 a 50	muito rija a dura (consistência)	2,0 > 4,0	12m 20m

Fig. 6- Características de Resistência dos Solos C1

Praticamente, toda água pluvial precipitada infiltra-se abastecendo os aquíferos subjacentes ou originando nascentes nos limites basais do Complexo.

Face à carência de informações, as características de resistência da unidade foram avaliadas através de ensaios de penetração (SPT) realizados no Aeroporto Tancredo Neves (Confins).

A Figura 6 condensa os resultados de SPT considerados mais significativos.

Nessa área, a textura do material mostrou-se bastante homogênea, com o aumento da resistência com a profundidade. Até a profundidade de 20m o material é predominantemente argilo-siltico, pouco arenoso. Os horizontes superficiais (até 6.00m) foram geralmente perfurados a trado, sem execução dos ensaios de penetração. Apresentam-se ricos em matéria orgânica e alguns níveis de pedregulho.

É bastante freqüente a ocorrência de *stone lines* de seixos de quartzo em níveis variados do pacote coluvial. Em sua base, ocorrem *stone lines* ou mesmos níveis de até 2m de cascalho subanguloso a rolado, imersos em matriz argilo-siltica avermelhada. Tais ocorrências foram observadas em cortes da MG-424, trecho Matozinhos-Prudente de Morais-Sete Lagoas e em Lagoa Santa. Nas imediações

de Lagoa Santa apresentam espessuras superior a 20m (Kohler, 1978).

## 2.2 COMPLEXO ARGILO-SÍLTICO C2 e C2K

O nível mais rebaixado de aplainamento determinado na faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa corresponde a uma extensa superfície, representada por baixas colinas e áreas aplainadas, que ocorre em altitudes de aproximadamente 700-800m. Essa superfície foi designada como superfície Lagoa Santa (CETEC, 1987) e Superfície Ondulada 1 - SO1/ Superfície Aplainada - Sa (CETEC, 1992).

O ciclo de erosão que deu origem a essa peneplanície denominada Velhas (King, 1956) raramente atingiu, na área estudada, a fase de aplainamento generalizado. Não são raras as elevações remanescentes, isoladas ou em grupos, constituídas por metassedimentos do Grupo Bambuí, emergindo dessa superfície.

O aspecto geral é assim de uma paisagem ondulada, esplendidamente pedimentada e dissecada por ciclo de erosão mais recente.

O ciclo de erosão Velhas retrabalhou a maior parte dos depósitos do Complexo Argilo-Siltico C1 e dos metassedimentos supracrustais, provocando a agradação e sedimentação de novos depósitos coluviais/aluviais que constituem parte da nova Superfície Ondulada 1 - SO1 e dos

depósitos das grandes depressões cársticas de mesma altitude. A superfície SO1 é assim constituída por metassedimentos do Grupo Bambuí penneplanizados e pelos depósitos de cobertura que jazem sobre esses metassedimentos.

O Complexo Argilo-Siltico C2 compreende o conjunto de sedimentos, predominantemente coluviais, relacionados a esse nível de aplainamento, exibindo coloração vermelha a amarela.

Sua área de ocorrência é bastante extensa, ocupando a maior parte da Superfície Rebaixada Lagoa Santa-Sete Lagoas (CETEC, 1992). Sua espessura é variável, oscilando entre poucas dezenas de centímetros a mais de 40m.

Apresenta relevo regional plano a suavemente ondulado, de baixa declividade.

A unidade pedológica predominante são os latossolos vermelho-escuros, geralmente álicos. A nordeste de Sete Lagoas, constituindo uma das poucas exceções onde os limites dessa geoforma (superfície SO1) não se confundem com o dos solos, ocorre grande extensão de latossolos vermelho-escuro, distróficos.

À exceção da Folha Lagoa Santa, os solos dos pedimentos associados a essa superfície (SO1) são constituídos por latossolos vermelho-amarelos, distróficos. Os solos desses pedimentos na região de Lagoa Santa são podzólicos vermelho-escuros, geralmente álicos.

A unidade apresenta predominância de escoamento superficial, embora pouco denso, direcionada para o rio das Velhas e, ao norte, para a bacia do rio Paraopeba.

A unidade argilo-siltica C2K é constituída por sedimentos colúvio/alúvio/lacustrinos, depositados em áreas cársticas rebaixadas, em altitudes compatíveis com a superfície SO1.

Constituem verdadeiras planícies, apresentando um modelado suave, baixa declividade e altitudes em torno de 700m. Em seus terrenos predominam latossolos vermelho-escuros, álicos.

As áreas de maior expressão da unidade situam-se ao longo dos córregos Mocambo, Jaguará e Samambaia e, na bacia do Ribeirão São João, Folha Paraopeba.

De acordo com os ensaios pedológicos realizados pelo CETEC (1992) em 6 amostras superficiais, a classificação granulométrica do horizonte B dessa unidade tem a seguinte composição:

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL. SILTE/ARG
06	72	21	7	0.29
18	78	15	7	0.19
19	70	16	14	0.23
22	68	22	12	0.32
25	61	12	27	0.20
28	65	19	16	0,29

A porosidade desse horizonte é muito alta, oscilando entre 67% e 71%, o valor de PH varia entre 4,2 e 5,5.

A permeabilidade dos sedimentos do complexo oscila entre média a baixa, em função da área de ocorrência e/ou da profundidade considerada.

A determinação do grau de umidade e limites de consistência em 5 amostras de superfície coletadas durante os trabalhos de reconhecimento na parte norte da área revelou os seguintes valores:

AMOSTRA (n°)	1014.009	1010.004	1016.001	1021.01A	912.001
Umidade (%)	13.43	20.91	25.69	20.65	24.72
Lim. Liquidez (%)	48.00	61.00	66.00	51.00	67.00
Índ. Plasticidade (%)	17.00	19.00	23.00	12.00	25.00
Classificação. Geotécnica	MI	MH	CH	MI	MH
Plasticidade	média	média	alta	média	muito alta

SPT	Descrição	Grau de Resistência	Resist. a Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof.(m)
3 a 8	Silte a argila siltica-arenosa, coloração vermelha a amarela	Consistência: mole a média	0,25 - 1,0	0m a 3,5m
10 a 40	Silte-argiloso a argila-siltica, coloração vermelha a amarela	Consistência: média a dura	0,5 - 4,0	3,5m a 18m

Fig. 7 - Características de Resistência dos Solos C2

A figura 7 condensa resultados de ensaios de penetração realizados em trechos das MG-424 e MG-10.

A parte superficial (0 a 3,5m) apresenta textura argilo-siltica, coloração vermelha a marrom.

Abaixo predomina a textura silte-argilosa, arenosa em alguns locais, coloração amarela a vermelha.

Não se dispõem de elementos inventariados para caracterização geotécnica preliminar da unidade C2K.

### 2.3. COMPLEXO ARENO-SÍLTICO-ARGILOSO

A atuação dos vários ciclos de erosão, representados por importantes processos de entalhamento dos terrenos, ocasionou progressivamente o aprofundamento dos cursos d'água da região. O trabalho de erosão lateral e vertical desses cursos, associado, algumas vezes, a contribuições coluviais, deu origem através da deposição dos sedimentos carreados às denominadas "formas fluviais" (CETEC, 1992).

Entre as principais formas destaca-se a planície fluvial (aluviões de várzea), faixa do vale composta de sedimentos, bordejando os cursos d'água e periodicamente sujeita à inundação por transbordamento.

Os depósitos fluviais, situados acima da planície fluvial atual, constituem os terraços que ocorrem na área estudada em dois níveis diferentes.

Tanto as aluviões como os terraços apresentam-se morfologicamente planos, baixa declividade, exibindo solos hidromórficos, tipo gley pouco húmico, geralmente eutróficos.

As aluviões e terraços constituem sedimentos de textura variável em função dos terrenos que lhes deram origem e da profundidade do horizonte considerado. Os elementos bibliográficos e informações disponíveis, não permitem uma separação desse complexo em subunidades, o que certamente só poderá ser efetuado, em caráter precário, na segunda fase de prospecção geotécnica. Explica-se desse modo a adoção da terminologia "Complexo Areno-Siltico-Argiloso" englobando os sedimentos fluviais que ocorrem na área e que, certamente, em função das diferentes localizações e níveis de observação, conterão textura e comportamento geotécnico diferenciados.

Contudo, dentro dos objetivos do presente trabalho, procurou-se, a partir das informações disponíveis, tecer algumas considerações sobre esses terrenos.

Nos estudos pedológicos realizados (CETEC, 1992), foram ensaiadas 4

SPT		. Consistência (finos) . Compacidade (granulares)	Resistência à Compressão Simples (kg/cm <sup>2</sup> )	Prof. (m)
2	3	mole a rija (consist.)	0,25 - 2,0	0 m
a	a	pouco compacta (compac.)	(2 a 10)	4m
10	5			
5	6	média a muito rija (consist.)	0,5 - 5,0	20m
a	a	pouco compacta (compac.)	(5 a 30)	
30	10			

Fig. 8 - Características de Resistência dos Solos Ca,t

amostras nos horizontes superficiais (horizonte B) do complexo.

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL. SILTE/ARG.
11	18	26	56	1.44
-	24	58	18	2.41
17	9	14	77	1.55
8	51	31	18	0.61

A porosidade desse horizonte varia de 52% a 64% (muito alta) e os valores do pH oscilaram entre 6,0 e 7,3.

As características de resistência foram avaliadas através de ensaios de penetração realizados em trechos da MG-424 e do ramal ferroviário em implantação ao sul de Sete Lagoas.

Os resultados julgados mais representativos dessas áreas foram condensados na figura 8.

Os sedimentos superficiais (0-4m), nessas áreas, são predominantemente argilosos, com granulometria silte-arenosa em menor proporção. São constituídos por materiais argiloso de coloração cinza, marrom e amarela.

De 3 a 10m ocorre uma alternância de sedimentos com textura silte-areno-argilosa, e arenoso-silte-argilosa. Abaixo dos 10m, predominam os sedimentos silte-arenosos. Observa-se que, nos ensaios realizados em depósitos aluvionares, onde as rochas cristalinas constituem a fonte principal de origem dos sedimentos, predomina a textura

arenosa ou argilosa, em função do nível considerado. Esses depósitos de várzea constituem os principais portos de areia e fontes de extração de argila para a construção e cerâmica, principalmente aqueles que margeiam o ribeirão das Neves, Areias e córrego da Mata.

Por outro lado, onde os metapelitos ou rochas calcíferas constituem a fonte de abastecimento das aluviões, predomina a textura silte-argilosa ou argilo-síltica, com eventuais níveis de areia-silteosa.

A maioria dos terrenos constituídos por sedimentos desse complexo está sujeita a inundações sazonais, nos períodos de maior pluviosidade.

#### 2.4 COMPLEXO COLUVIONAR EM RAMPA

O processo de colúviação pode ser considerado intenso na área do Projeto. Ao sopé das colinas, suavizando o gradiente de jusante das vertentes de maior declividade, principalmente aquelas de origem metapelítica ou gnáissica, formam-se depósitos de materiais oriundos da erosão e transporte gravitacional, conhecidos como rampa de colúvios ou depósitos de vertente.

Sob a influência das águas de escoamento superficial, materiais carregados dos solos residuais através dos efeitos da erosão podem avançar pelas planícies aluviais, recobrando-as parcial ou totalmente.

Dessa maneira, foram gerados depósitos com grandes espessuras, que atingem 20m em alguns locais, avançando para a jusante dos vales fluviais, chegando às vezes a assoreá-lo completamente ou interdigitando-se parcialmente com os sedimentos fluviais.

Em vários pontos da área foram observadas associações de sedimentos coluviais e níveis de cascalho fluvial, com seixos rolados de até 20cm, atestando a presença de drenagem torrencial. Em outros, grandes depósitos coluviais encontram-se preenchendo amplas depressões, regularizando o paleorrelevo.

Esse conjunto de sedimentos heterogêneos, mal selecionados e sem graduação, textura argilo-siltica ou areno-argilo-siltica predominante, constitui a unidade geotécnica denominada Complexo Coluvionar em Rampa.

Possui declividades fortes nas partes elevadas das colinas, suavizando-se para jusante, vertentes côncavas características.

Sobre as planícies aluviais ou interdigitando-se com elas, apresentam morfologia plana a suavemente ondulada. Apresentam caracteristicamente solos podzólicos vermelho-amarelos, distróficos.

Duas amostras pedológicas (horizonte B), estudadas pelo CETEC (1992), evidenciam a seguinte composição granulométrica:

AMOSTRA (n°)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA (%)	REL. SILTE/ARG.
10	66	26	8	0.39
12	30	17	43	0.34

A porosidade é muito alta, oscilando entre 61% e 71%, o PH varia entre 5,5 e 7,8.

Não se dispõem de informações para a realização de uma caracterização geotécnica desses terrenos, contudo, sabe-se que apresentam baixa resistência, alta permeabilidade e propensão a escorregamentos sob a influência das águas infiltradas, nas áreas de maior declividade.

**QUADRO IV - CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS, PEDOLÓGICAS, HIDROGEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS**

COMPLEXO LITOLÓGICO (unidades geotécnicas)	GEOFORMAS PREDOMINANTES	RELEVO	TIPOS DE SOLO (Horizonte B)	POROSIDADE (%) (Horizonte B)	PERMEABILIDADE (Drenagem Interna e Externa)	TEXTURA PREDOMINANTE	RESISTÊNCIA Até 20m (SPT)	GRAU DE RISCO		
								VOÇORAMENTOS/SULCOS PROFUNDOS	DESLIZAMENTOS/ESCORREGAMENTO	ABATIMENTOS EM SUPERFÍCIE
Solos residuais das rochas do Complexo Gnáissico Mig-matítico Indiviso  CGr	Colinas com vales amplos e baixas vertentes, geralmente côncavas. Alinhamentos de cristas com vertentes retilíneas, associados a intrusões.	Fortemente ondulado a montanhoso.	Latossolo Cambissolo Podzólico	MUITO ALTA (52 - 58)	MÉDIA A BAIXA PERMEABILIDADE Drenagem superficial densa. Declividades geralmente superior a 20%. Nível freático próximo da superfície, em períodos chuvosos.	Argila - siltico - arenosa. Siltico - areno - argilosa, eventualmente com pedregulhos.	Até 10m - Consistência média a rija. Abaixo - Compacidade média a compacta.	MÉDIA A ALTA PROPENSÃO em vertentes côncavas e convexas de alta declividade.	MÉDIA PROPENSÃO em vertentes côncavas e convexas de alta declividade.	Não há propensão
Solos residuais das rochas carbonáticas calcissiltíticas  CSr	Colinas de topos arredondados, vertentes côncavas e suaves.	Ondulado, suavemente ondulado a plano.	Cambissolo Podzólico	MÉDIA ALTA (42 - 56)	ALTA A MÉDIA PERMEABILIDADE Infiltração regida por fraturamento ou cavidades de dissolução do substrato. Drenagem superficial pouco densa. Nível freático variável.	Argilo - siltico Siltico - arenoso	Não se dispõe de informações para estimativa.	Não há propensão	Não há propensão	MÉDIA PROPENSÃO
Solos residuais das rochas carbonáticas calcareníticas  CAr	Planaltos cársticos em áreas de maciços calcários com escarpamento.	Ondulado a suavemente ondulado. Zonas escarpadas.	Podzólico Cambissolo Latossolo	MÉDIA ALTA (45 - 52)	ALTA PERMEABILIDADE Grau de infiltração regida por fraturamento ou dissolução do substrato. Nível freático variável. Drenagem superficial ausente ou pouco densa.	Argilo - siltico Silte - argilo - arenoso, eventualmente com pedregulhos.	Até 10m - Consistência mole a muito rija. Abaixo - Consistência mole a dura.	Não há propensão	Não há propensão	BAIXA PROPENSÃO
Solos residuais das rochas da seqüência metapelítica  CPr	Colinas com topos arredondados, vertentes côncavo-convexas, com vales encaixados. Vertentes ravinadas íngremes.	Fortemente ondulado a montanhoso.	Cambissolo Litólico Podzólico	MUITO ALTA (57 - 69)	BAIXA PERMEABILIDADE Escoamento superficial predominante. Nível freático profundo. Declividades altas. Drenagem superficial ausente ou pouco densa.	Argilo - siltico Siltico - argiloso com ou sem pedregulhos.	Até 10m - Consistência mole a rija. Abaixo - Consistência média a muito rija.	MÉDIA PROPENSÃO em vertentes retilíneas de alta declividade.	MÉDIA A ALTA PROPENSÃO em mantos residuais com estruturas herdadas.	MÉDIA A ALTA PROPENSÃO capeando CS em cotas abaixo de 800 metros.
Complexo de cobertura argilo-siltica C1  C1	Superfície aplainadas, em forma de chapadas, baixa declividade. Bordas com declividades acima de 30%.	Plano a suavemente ondulado. Escarpado nas bordas.	Latossolo	MUITO ALTA (55 - 63)	MUITO ALTA PERMEABILIDADE Drenagem superficial inexistente. Constitui importante área de recarga do aquífero cárstico. Quando sobre metapelitos a descarga se faz na alta vertente.	Argilo - siltico Argilo - siltico - arenoso com pedregulhos na base.	Até 10m - Consistência mole a muito rija. Abaixo - idem	ALTA PROPENSÃO em zonas de borda.	ALTA PROPENSÃO em zonas de borda.	MÉDIA PROPENSÃO capeando CA ou CS.
Complexo de cobertura argilo-siltico C2 e C2K  C2 e C2K	Superfícies onduladas, baixa declividade. Colinas de vertentes suaves.	Suavemente ondulado a onduiado. Fortemente ondulado nas bordas	Latossolo	MUITO ALTA (67 - 71)	MÉDIA A BAIXA PERMEABILIDADE Escoamento superficial pouco denso, exceto sul da área. Descarga sobre metapelitos abastece drenagem superficial. Nível freático variável, geralmente até 10 metros.	Argilo - siltico Siltico - argiloso Argilo - siltico - arenoso, com pedregulhos na base.	Grande variação de resistência em função do local ensaiado. Até 3m -(N=2 a 14) Abaixo -(N=7 a 50)	MÉDIA PROPENSÃO em zonas de borda.	BAIXA PROPENSÃO em zonas de borda.	ALTA PROPENSÃO capeando CPT e CA ou CP em cotas abaixo de 800 metros.
Complexo arenoso-siltico-argiloso de origem fluvial  Ca,t	Planícies bordejando os cursos d'água. Terraços com rebordos erosivos.	Plano a suavemente ondulado.	Gley pouco úmico	MUITO ALTA (52 - 64)	ALTA PERMEABILIDADE Aquífero de pouca importância, devido a pequena extensão. Nível freático próximo à superfície (Hidromorfismo).	Areno - siltico - arenoso Siltico - argilo - arenoso, com pedregulhos na base.	Variação de resistência em função do local ensaiado. Até 3m -(N=3 a 8). Abaixo -(N=5 a 30)	Não há propensão	Não há propensão	Não há propensão
Depósitos coluvionares em rampa  Rc	Vertentes em rampa, côncavas, suavizando o relevo. Rampas de baixa declividade sobre depósitos fluviais.	Suavemente ondulado a plano.	Podzólico	MUITO ALTA (61 - 71)	ALTA PERMEABILIDADE Depósito detríticos mal selecionados. Aquífero de pouca importância.	Argilo - Siltico Argilo - arenoso com ou sem pedregulhos na base.	Não se dispõe de informações para estimativa.	ALTA PROPENSÃO em vertentes de alto declividade.	ALTA PROPENSÃO	Não há propensão

**CONDIÇÕES HIDROGEOLÓGICAS  
DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS**

---

## 1. UNIDADES DE RECARGA DOS AQÜIFEROS

### a) Complexo Argilo-Siltico C1

Por serem constituídos de sedimentos bastante homogêneos, não encerrando importantes intercalações de materiais impermeáveis, as rochas desse complexo litológico constituem excelentes elementos de recarga dos aquíferos sotopostos. Embora haja a predominância de argila em sua composição textural, apresentam estrutura que favorece as condições de excelente drenagem interna.

Quando capeiam rochas dos complexos Metapelítico (CP) e Gnáissico-Migmatítico Indiviso (CG), esses sedimentos absorvem as águas meteóricas e, devido à sua posição topográfica elevada, as restituem à drenagem superficial, através de nascentes e veredas. Apenas uma pequena parcela das águas infiltradas alimenta o aquífero fraturado sotoposto. Nessas áreas, sua importância reside na manutenção das vazões dos riachos, córregos e ribeirões (CETEC, 1987).

Os sedimentos do Complexo Argilo-Siltico C1 adquirem papel muito importante na dinâmica dos recursos hídricos da região, quando recobrem diretamente as rochas carbonáticas carstificadas. Nessa situação atuam como excelente coletor das águas infiltradas, alimentando diretamente o aquífero cárstico.

### b) Complexo Argilo-Siltico C2

Os sedimentos desse complexo apresentam permeabilidade bastante variável, de acordo com o local de ocorrência e o horizonte considerado dentro do complexo.

Como ocorrem geralmente em áreas deprimidas, em altitudes em torno de 750m e capeando rochas do Complexo Metapelítico (CP), constituem aquíferos

porosos, com nível freático geralmente alto. Constituem aquíferos de pouca importância, utilizados para atendimento urbano local através de cisternas ou poços escavados.

Nos locais onde as condições topográficas permitem, expondo o lençol freático suspenso, dá origem às surgências de baixa vazão, que alimentarão os córregos e riachos da área de ocorrência.

Quando capeiam diretamente as rochas carbonáticas (Complexos Calcarenítico ou Calcissiltítico) podem comportar-se como unidade de recarga do aquífero cárstico. Essa situação é entretanto bastante incomum.

### c) Complexo Areno-Siltico-Argiloso

As aluviões e terraços que ocorrem na área de abrangência do Projeto VIDA são, geralmente, de pequena extensão e espessura.

Devido à presença de camadas argilosas, esses depósitos não constituem importante áreas de recarga dos aquíferos sotopostos. Comportam-se como aquíferos porosos de pequena importância, para atendimento local de residências, através de poços escavados.

Suas águas apresentam graus variados de contaminação e a zona de saturação situa-se normalmente próximo à superfície. Seus terrenos apresentam geralmente hidromorfismo, à exceção dos terraços, pela sua posição topográfica mais elevada.

### d) Complexo Coluvionar em Rampa

Apesar dos terrenos desse complexo apresentarem alta permeabilidade, têm pequena importância na dinâmica dos recursos hídricos regionais, devido à sua ocorrência relativamente restrita. Apresentam a ocorrência de surgências sazonais, geralmente de baixíssima vazão.

### **e) Rochas do Complexo Calcarenítico**

As rochas desse complexo, componente da geoforma "Planalto Cárstico", constituem as zonas de recarga mais importantes do aquífero (CETEC, 1987).

Em decorrência de sua alta permeabilidade secundária e sua condição topográfica elevada, as águas meteóricas incidentes sobre eles, são rapidamente infiltradas. Devido a esse fato, a vulnerabilidade à contaminação dessas águas é bastante grande, merecendo condições especiais de proteção ambiental.

## **2 PRINCIPAIS UNIDADES DE DESCARGA**

As águas infiltradas nos planaltos cársticos (Complexo Calcarenítico) ou nos sedimentos coluviais de cobertura (Complexos C1, C2 ou C2K) são parcialmente restituídas à superfície através de surgências ou lagoas.

Entre as lagoas merecem destaque a Lagoa dos Mares, Confins, Sumidouro, Santo Antônio (CETEC, 1987). Em forma de surgências de grande vazão, citam-se as situadas nos vales dos córregos Jaguará, Gordura, Samambaia e alguns trechos do Vale do Rio das Velhas, próximo à Lagoa do Sumidouro.

## **3 TIPOS DE AQUÍFEROS**

Pode-se identificar três tipos de aquíferos ocorrentes na área de abrangência do Projeto VIDA - porosos, fissurados e cársticos (CETEC, 1987).

Os primeiros dizem respeito ao Complexo Argilo-Siltico C2 e C2K e aos sedimentos do Complexo Arenoso-Siltico-Argiloso. Constituem reservatórios pouco significativos.

Os aquíferos fissurados são encontrados na área de ocorrência da Unidade Metapelítica e do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso. São geralmente aquíferos pobres, com pouca água subterrânea armazenada em seu sistema de fratura.

O mais importante sistema de aquífero regional é o cárstico, que vem merecendo detalhado estudo por parte da equipe de hidrogeologia do Projeto VIDA, tendo em vista sua capacidade de circulação, infiltração e armazenamento de água subterrânea. Constitui a base de fornecimento de água urbana, rural e industrial dos principais municípios da região.

São normalmente controlados pelo grau, tipo e direções de fraturamento dos complexos Calcarenítico e Calcissiltítico. No âmbito endocarste, o aquífero está confinado a fraturas devido à baixa porosidade dos calcários.

# **EROSÃO ACELERADA**

---

A erosão é um processo natural de modelamento do relevo, que atua de forma lenta e gradual. A erosão acelerada difere da erosão natural por tratar-se de um processo rápido de destruição do solo, onde normalmente a ação antrópica tem uma influência considerável.

A remoção da camada superficial do solo pela ação do escoamento pluvial difuso é conhecida como erosão laminar ou em lençol, sendo tanto mais rápida quanto mais desprotegido estiver o solo.

Ocorre de maneira generalizada por toda a área do Projeto, havendo incidência nas colinas côncavo-convexas de metapelitos e gnaisses, mesmo em vertentes de menor declividade. Manifestam-se também freqüentemente nos terrenos que compõem a unidade argilo-siltica C2.

Outro tipo de erosão característica da área é a erosão em sulco. É um tipo de erosão vertical, resultante do escoamento superficial concentrado. Geralmente inicia-

se no trecho superior das vertentes, na transição da cobertura detritica para a vertente litólica.

Ocorre normalmente de duas formas: regueiras e voçorocas.

As regueiras são canais pouco profundos que se formam a partir de qualquer incisão no terreno. Quando estas interceptam o lençol freático, evoluem em direção à cabeceira, com desmoronamento das bordas da incisão, passando a constituir voçorocas, que é uma das manifestações mais graves da erosão acelerada (Foto. 8).

Praticamente todas as regueiras e voçorocas predominam a montante das vertentes côncavas, em declividades elevadas dos metapelitos e gnaisses. Os sedimentos que compõem a unidade litológica C1 e, mais raramente C2, exibem um desenvolvimento linear, onde atingem grande extensão e profundidade vertical.

# ÁREAS DE MAIOR POTENCIAL DE RISCO

---

## 1 VOÇOROCAMENTO/SULCOS PROFUNDOS

Esse é o tipo de erosão que envolve grandes deslocamentos de massas, apresentando conseqüências danosas pelo assoreamento dos cursos d'água e lagoas, destruição de leitos de estradas e construções urbanas e redução de áreas agricultáveis.

São os seguintes os complexos litológicos de média a alta propensão de ocorrência desse tipo de erosão:

a) Solos residuais de rochas metapelíticas, tipo Cambissolos, situados em vertentes de alta declividade;

b) Solos residuais de rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico-Indiviso (Foto 9), tipo cambissolos e latossolos vermelho-amarelos, em vertentes côncavas e convexas, de declividade moderada a alta;

c) Terrenos do Complexo Argilo-Siltico C1 e C2 em suas zonas de borda, latossolos vermelho-escuros. Nesses terrenos, as voçorocas têm uma feição linear, apresentando grande desenvolvimento vertical. Localizam-se preferencialmente nas bordas do compartimento mais alto do relevo, próximas à transição das coberturas detriticas para as vertentes côncavas litólicas.

Kohler (1978) chama a atenção para a evolução das voçorocas retilíneas nas vertentes nor-nordeste de Lagoa Santa, provocando o assoreamento das drenagens superficiais e lagoas e colocando em risco edificações existentes no local (Morro do Cruzeiro).

d) Terrenos em rampas de colúvio onde adquirem forma digitada, deslocando massas de materiais vertente abaixo, provocando assoreamento dos cursos d'água e obstrução de rodovias. Esses terrenos apresentam solos tipo podzólicos

vermelho-amarelos, normalmente distróficos.

## 2 ESCORREGAMENTOS/DESLIZAMENTOS/DESBARRANCAMENTOS

São movimentos de massa originados pela infiltração acentuada das águas pluviométricas, provocando o aumento de seu grau de saturação. No desbarrancamento há o trabalho de solapamento da base do terreno pelo escoamento concentrado.

Via de regra, esses tipos de ações erosivas têm origem em atividades antrópicas, alterando o sentido da drenagem natural ou retirando, através de escavações, as bases de sustentação de terrenos inclinados.

Face aos mergulhos geralmente suaves das rochas regionais, as poucas ocorrências de deslizamentos observadas são de pequeno porte, constituindo-se em escorregamentos que atingem apenas os mantos de alteração ou formações inconsolidadas.

As áreas de maior potencial de ocorrência situam-se nos seguintes terrenos:

a) Terrenos em rampa de colúvio, em relevo de declividades, moderadas a altas, apresentando solos podzólicos vermelho-amarelos distróficos;

b) Mantos de alteração saprolitizados de rochas do Complexo Metapelítico contendo estruturas herdadas da rocha original, em solos tipo cambissolos álicos; (Foto 10)

c) Solos residuais das rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso, em vertentes convexas e retilíneas, solos podzólicos vermelho-amarelos;(Foto 11)

d) Terrenos das bordas das superfícies aplainadas do Complexo Argilo-Siltico C1 e mais raramente do Complexo Argilo-Siltico C2, apresentando latossolos vermelho-escuros.

### 3 ABATIMENTOS/AFUNDAMENTOS

Embora sejam bastante conhecidas as características de dissolução das rochas carbonáticas e o relativo perigo que esse fato representa para qualquer tipo de edificação assentada sobre terrenos sobrepostos a essas rochas, seu índice de risco natural é relativamente baixo.

Entretanto, quando as condições naturais são conturbadas por atividades antrópicas, esse índice pode se multiplicar várias vezes e o número de incidência de acidentes aumentar drasticamente.

Face a esse aumento do grau de risco, provocado por alterações ambientais, há necessidade de um estudo subsuperficial criterioso ao se planejarem programas de desenvolvimento urbano e industrial para as áreas cujo substrato seja constituído por essa classe de rocha.

Mesmo que a região disponha de coberturas inconsolidadas de espessuras apreciáveis sobre os calcários, os colapsos podem ocorrer nesses materiais sobrejacentes às rochas carbonáticas carstificadas, comprometendo as propriedades geotécnicas dessas coberturas.

De acordo com Tan (1978), diferentemente dos processos geológicos, a formação e desenvolvimento de vazios nos calcários são relativamente rápidos quando submetidos a determinadas ações antrópicas que acelerem esse processo. Estudando as regiões cársticas da Malásia, Tan cita algumas ações antrópicas de maior potencial de aceleração dos processos de dissolução e do aumento da incidência de risco, observadas também nas áreas urbanas de maior desenvolvimento da faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa.

Entre essas ações destacam-se:

- Rebaixamento do lençol freático por bombeamento excessivo das águas do aquífero cárstico para atender a áreas

urbanas e industriais ou permitir a execução de obras em subsuperfície;

- Alterações nas condições subsuperficiais do capeamento. Algumas vezes a água de superfície não consegue interagir diretamente sobre o substrato devido à presença de níveis ou camadas impermeáveis. Nesse caso, a água subterrânea, em contato com o calcário, está saturada em bicarbonato de cálcio, perdendo sua capacidade de dissolução. Quando essas camadas são rompidas ou retiradas por ações antrópicas de qualquer natureza (escavações para fundações profundas, por exemplo), a água não-saturada da superfície com maior poder de dissolução passa a reagir diretamente com o substrato, acelerando o processo.

- O pH da água subterrânea em rochas calcárias pode localmente baixar devido à poluição atmosférica, à presença de tubulações de ferro ou aço enterradas, vazamentos de esgotos urbanos e industriais, etc. Essas águas acidificadas aceleram o processo de dissolução se atingirem os horizontes carbonáticos.

O carste da faixa Sete Lagoas-Lagoa Santa está sujeito à maioria das ações antrópicas citadas, principalmente nos centros urbanos mais desenvolvidos. Por outro lado, sabe-se que esse sistema encontra-se ainda em evolução, como atestam os teores de bicarbonato de cálcio de suas águas subterrâneas e a presença de um gradiente hidráulico, provavelmente ainda apreciável na maior parte desse aquífero, em relação ao nível de base (rio das Velhas).

#### *ABATIMENTOS NA REGIÃO DE SETE LAGOAS*

A ocorrência de abatimentos na região urbana de Sete Lagoas, nos bairros Bela Vista (1988) e São Geraldo (1991), embora de pequenas proporções e sem resultados catastróficos, chamou a atenção das autoridades municipais e estaduais no sentido de investigar esses incidentes. Registros de abatimentos em outros locais da área cárstica não mereceram maior



Foto 9: Voçoroca semi-estabilizada em vertente de alta declividade. Constituída por solos residuais de rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso. Boa Vista, município de Campim Branco.



Foto 10: Desbarrancamento em talude da rodovia MG-10, em residuais de rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico Indiviso. Município de Vespasiano (MG).



Foto 11: Erosão em sulco em talude da rodovia MG-424 em residuais do Complexo Metapelítico e sedimentos coluviais. Km 50, município de Matozinhos (MG).

atenção por situarem-se fora da área urbana ou não trazerem conseqüências de danos materiais.

O substrato rochoso de Sete Lagoas é, em sua maior parte, constituído por rochas do Complexo Calcissiltítico (CS), capeadas por solos residuais de metapelitos (CPr) e/ou sedimentos do Complexo Argilo-Siltítico C2. As áreas de ocorrência dos abatimentos citados situam-se sobre esse substrato rochoso (CS).

Estudos acompanhados de levantamento geofísico e sondagens rotativas testemunhadas foram realizados pelo CETEC (1988) no abatimento ocorrido no bairro Bela Vista, em Sete Lagoas.

As sondagens revelaram a existência de um pacote inconsolidado e semi-inconsolidado sobreposto às rochas carbonáticas frescas, apresentando evidências de dissolução até os 76m. O material inconsolidado evidenciou um depósito de cobertura de espessura variando de 15 a 23m, constituído por material argiloso, coloração vermelha a amarela, muito plástico (Complexo Argilo-Siltítico C2). Abaixo, até aproximadamente 57m, ocorrem rochas argilosas sedosas, coloração amarelada, evidenciando vestígios da estrutura original (solo residual e saprólitos de metapelitos - CPr).

A partir de 57m, apresenta-se rocha carbonática, marmorizada, coloração branca ou amarela, muito fraturada e com evidências de dissolução até 76m de profundidade. A partir desse nível, a rocha é a mesma, tornando-se maciça e compacta, sem sinais de dissolução.

Durante as atividades de campo do Projeto VIDA, essas áreas (bairros Bela Vista e São Geraldo - Sete Lagoas), mereceram especial atenção, tendo sido realizadas vistorias em áreas e residências afetadas, tentativas de correlação das estruturas regionais com os fenômenos citados através de análise aerofotogeológica e levantamentos geofísicos através do método elétrico de bloco.

As observações de campo efetuadas durante o reconhecimento geológico-geotécnico regional mostraram que as fraturas de alto ângulo alargadas pela dissolução são preenchidas por material derivado das coberturas existentes sobre o calcário, sejam elas solos residuais, materiais argilosos originados de metapelitos meteorizados ou sedimentos dos complexos litológicos C1 e C2.

Quando a cobertura é constituída pelos complexos argilo-siltítico C1 ou C2, é bastante comum ocorrerem seixos de quartzo subarredondado e às vezes arredondado, envoltos em massa argilosa de coloração vermelho-escura ou amarela, preenchendo as fraturas e cavidades do calcário. Esse assoreamento das fraturas e cavidades pode ser observado em praticamente todas as exposições artificiais (Ex.: na MG-424, nas Pedreiras Lapa Vermelha e CAUÊ, etc.).

Com base nesse conjunto de informações e após análise e integração de elementos hidrogeológicos disponíveis, elaborou-se sugestão de modelo evolutivo para esse tipo de abatimento que, a princípio, nos permitiu a seleção de áreas de risco, com base em sua constituição litológica e parâmetros hidrogeológicos.

Admite-se que durante o período de estiagem, devido ao menor abastecimento do aquífero cárstico e à maior retirada de águas através do sistema de bombeamento, o nível estático do aquífero cárstico encontra-se o mais rebaixado possível, bem como o nível freático do aquífero livre.

Com a chegada da estação chuvosa, lentamente ocorre a subida do nível estático do aquífero confinado e imediatamente a subida do nível freático do aquífero livre.

Através do aumento das taxas de infiltração da água pluviométrica que alimenta o aquífero cárstico, ocorre a elevação de águas agressivas, não saturadas, acelerando o fenômeno de dissolução da rocha.

O processo possivelmente é gradual e lento, podendo tornar-se mais acelerado pela maior incidência de pluviosidade.

Sob regime de maior pressão e dissolução acelerada por águas mais agressivas, rompe-se pontual ou linearmente a capa de calcário, iniciando-se a erosão das camadas confinantes. O processo desenvolve-se até que os sedimentos da cobertura (CPr) tornem-se instáveis, ocorrendo o seu arqueamento e/ou colapso.

O movimento pode ser lento, com uma simples acomodação do material sobrejacente (bairro São Geraldo) ou abrupto (bairro Bela Vista).

Em ambos os casos, esse movimento é transmitido até a superfície, ocasionando nas camadas superficiais lentas acomodações (1º caso = Bairro São Geraldo) ou acomodamentos abruptos através da formação de cavidades (2º caso = Bairro Bela Vista).

O estilo de abatimento é função do tipo de ruptura das camadas sobrepostas, bem como da pressão ascendente exercida pela subida do nível estático do aquífero confinado, até o horizonte pouco permeável (CPr).

Durante os períodos chuvosos, as águas dos aquíferos livres provocariam em superfície (3 a 5m) a erosão superficial das

paredes da cavidade e sua progradação (bairro Bela Vista). Após o abaixamento desse nível (estiagem), ocorreriam ainda recalques de acomodação (bairro São Geraldo) na parte superficial do pacote.

Com a queda da pressão e descida do nível estático do aquífero cárstico, ocorre o fluxo de material da cobertura para o interior das fendas e cavidades do calcário, provocando o entupimento dos dutos e a conseqüente paralisação do processo.

Baseado no exposto, conclui-se que as áreas de maior propensão à ocorrência de abatimentos situam-se nos seguintes terrenos:

- Terrenos constituídos por sedimentos do Complexo Argilo-Siltico C2, capeando camadas de metapelitos intemperizadas (CPr), sobre calcissiltitos (CS) ou calcarenitos (CA) carstificados, prioritariamente em depressões amplas;
- Com menor propensão a abatimentos citam-se terrenos constituídos por solos residuais de calcissiltitos (CSr); terrenos constituídos por solos residuais e saprolitizados de metapelitos (CPr), sobre ou calcarenitos (CA) carstificados e terrenos constituídos por sedimentos do Complexo Argilo-Siltico C1, capeando ou não metapelitos intemperizados (CPr), sobre calcarenitos (CA) carstificados.

Nº do Poço	Cota (m)	Material Inconsolidado (Espessura)	Substrato Rochoso (Espessura)	NE (m)	ND (m)	Vazão (l/s)
617	----	Argila arenosa amarela (48m)	Calcário (74m)	29.0	35.5	19.44
618	----	Argila arenosa amarela com blocos de calcário (54m)	Calcário branco cinza e rosa (69m)	36.0	45.0	44.44
643	----	Argila branca/amarela (44m)	Metapelito passando a calcário branco a bege (46m)	49.0	----	12.50
656	----	Argila arenosa amarela (35m)	Mármore sericítico com gnaïsse na base (77m)	14.0	16.0	41.67
657	----	Argila siltica amarela a cinza (35m)	Calcário cinza com evidências de dissolução (20m)	24.0	----	----
659	----	Argila arenosa amarela (48m)	Calcário cinza (66m)	30.0	38.8	33.33
660	----	Argila siltosa (34m)		24.0	25.0	10.55

Obs.: Perfil litológico do material inconsolidado obtido a partir do perfil de sondagem (Base: Cadastro de Pontos D'Água - Hidrogeologia, 1992).

#### **Quadro V: Elementos Hidrogeológicos e Geotécnicos de Poços Tubulares Situados Próximos ao Abatimento do Bairro Bela Vista - Sete Lagoas**

## **CONCLUSÕES**

---

## **DEFINIÇÃO DE METODOLOGIA ESPECÍFICA**

O caráter pioneiro do Projeto VIDA exigiu que, inicialmente, fosse proposta uma metodologia baseada no conceito geotécnico-ambiental, a ser aplicada em áreas predominantemente cárstica.

Esse programa inicial sofreu, durante o transcorrer da primeira etapa, alterações e adaptações visando a adequá-lo ao conjunto litológico definido e suas relações com os principais problemas encontrados.

A metodologia específica, julgada mais adequada, encontra-se exposta, com certo grau de detalhe.

## **DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FORMAÇÕES SUPERFICIAIS**

Definiram-se e delimitaram-se, ainda que em caráter preliminar, as Formações Superficiais que ocorrem em grande extensão em toda a área do Projeto.

## **SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS**

A definição das unidades geotécnicas foi realizada através de critérios litológicos

(complexos litológicos), utilizando-se os demais atributos como elementos de 2ª ordem, com a função de caracterizadores dessas unidades.

Baseado nesse princípio, foram estabelecidas 8 unidades relacionadas ao substrato rochoso e a seus solos residuais, e 4 unidades relativas aos depósitos de cobertura, onde ocorreu transporte de material.

A carta de unidades geotécnicas apresentada desempenha assim, em caráter preliminar, a função de carta de zoneamento geral, uma vez que esses complexos definem, com certa aproximação, unidades com idênticas características geotécnicas e hidro-morfológicas, onde se manifestam fenômenos geodinâmicos de mesma natureza.

## **DEFINIÇÃO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS GEOTÉCNICOS**

Destinando-se a carta geotécnica ao planejamento regional, nessa primeira etapa procurou-se fornecer uma correlação das unidades estudadas com alguns problemas geotécnicos e hidrogeológicos mais importantes (zoneamento específico).

## **BIBLIOGRAFIA**

---

- ABGE. Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia, mecânica das rochas. IPT, 1976.
- ABGE. Glossário de termos técnicos de geologia de engenharia, mecânica de solos. IPT, 1976.
- BOAVENTURA, Ricardo Soares. Nota explicativa sobre o mapeamento de Minas Gerais. Anais de IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, BH, 1984, v.I, 183.
- BRANCO, J. J. R. e COSTA, M.T. Roteiro para a excursão Belo Horizonte-Brasília. U.F.M.G/IPR, 1961, 127 Belo Horizonte.
- CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações. Editora Ao Livro Técnico S/A, RJ, 1967. 2vs.
- CARVALHO, E.T. Carta geotécnica de Ouro Preto. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa. 1982.
- CETEC/MG. Abatimento de solo na cidade de Sete Lagoas, MG. Relatório Inédito, 1988.
- CETEC/CPRM. Estudos ambientais da região cárstica de Lagoa Santa-Sete Lagoas, MG. Caracterização Geomorfológica. Rel. Inédito, 1992.
- CETEC/CPRM. Estudos ambientais da região de Lagoa Santa-Sete Lagoas, MG - Características pedológicas. Relatório Inédito, 1992.
- CETEC/PLAMBEL. Estudo da dinâmica dos recursos hídricos da região cárstica de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo e Matozinhos, MG. Relatório Inédito, 1987. 2 vs.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. Geomorfologia fluvial. Editora Edgar Blucher Ltda., 1988, v.I.
- CNEM/CPRM. Levantamento pedológico detalhado. Projeto Abadia de Goiás, 1992. Inédito.
- COTTAS, L. R. Estudos geológicos-geotécnicos aplicados ao planejamento urbano de Rio Claro-SP. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências/USP, 1984.
- COTTAS, L. R. Geologia ambiental e geologia de planejamento - seus objetivos entre as ciências geológicas. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, 1984, 170/179.
- COSTANZO Jr., Jacinto. Panorama atual e perspectivas. Anais do IV Congresso da ABGE, 1984, v.I, 49/52.
- CPRM/GATE. Cartografia geotécnica - metodologia. Relatório Interno, 1991. Inédito.
- CPRM/Hidrogeologia. Cadastro dos poços tubulares. 1992.
- CPRM. Relatório preliminar de geologia - Projeto VIDA, 1992. Inédito.
- CPRM. Legenda da carta de formações superficiais. Guia para Mapeamento. Rel. Interno, 1992. Inédito.
- DER/MG. Perfis de furos à percussão com SPT (MG-424, MG-010, MG-238).
- DREW, David. Karst process and landforms. Mc Millan Education Ltda. London, 1985.
- FORNASARI FILHO, Nilton et alli. Avaliações preliminares dos problemas causados pela mineração no meio ambiente do estado de São Paulo. Anais do IV Congresso ABGE, 1984, 71.
- GEOTÉCNICA/COPAER. Ensaios geotécnicos de laboratório. Aeroporto de Confins. Rel. Interno. Belo Horizonte, 1980, nº 482/80-7.

- GOLDKOVSKAYA, G. A. et alli. Problems of a rational utilization and protection of the geological environment typical of grand cities. IAEG, 1979.
- GOMES, A.M.L. Coelho. A cartografia geotécnica no planejamento regional urbano. Experiência de aplicação na região de Setubal. Tese LNEC - Lisboa, 1980.
- GEOLOGICAL SOCIETY ENGINEERING. Report 294/382. 1979.
- IAEG. Report of the IAEG-Commissions on Site Investigations. Bull. nº 24, 1981, 185/226.
- IAEG. Rock and soils description and classification for engineering geological mapping. Bull nº 24, 1981, 235/274.
- IAEG. Engineering geological maps, UNESCO, 1976, 1/79.
- IAEG. The preparation of maps and plans in terms of engineering geology. Report by the Geological Society Engineering Group Working Party. 1981, 350 pgs.
- IAEG. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping. Part I. Rock and Soil Materials, Bull. 19, 1979, 364/371.
- IPT/SP. Monografia. Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente, SP, 1980.
- KOHLER, H. C. et alli. Inventário geocológico da Região de Lagoa Santa, MG. Relatório Inédito 1978.
- KOHLER, Publicação III Congresso Quaternário - Roteiro de Excursões. Anexo nº 1, SBG 1991.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. Rev. Bras. de Geologia. 18 (2), 147/265. 1956.
- LIMA, M. José CPD. Prospecção geotécnica do subsolo. Livros Técnicos e Científicos Editores, SA, RJ, 1983.
- MATULA, M. Regional engineering geological evaluation for planning purposes. IAEG/1981.
- MEDEIROS, R.A. et alli. Facies sedimentares. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Petrobrás, 1971.
- MELLO, V.F.B. e TEIXEIRA, A.H. Mecânica dos solos. Publicação 13. Escola de Engenharia São Carlos. USP, SP, 1967 2vs.
- MILANE, Edson José. Estudos estruturais em bacia sedimentar e revisão conceitual. Bol. Técnico Petrobrás- RJ, 1990.
- MINISTÉRIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO - Espanha. Guia para la elaboracion de estudios del medio fisico: contenido y metodologia. Madrid, 1984.
- NOGUEIRA, J. Batista. Ensaio de laboratório. Escola de Engenharia São Carlos. USP, SP. 1971.
- NERY, A.C. P. e CARVALHO, E.T. Estudos geológicos. Aeroporto Metropolitano de Belo Horizonte. Relatório Inédito, 1980.
- OLIVEIRA, MANOEL Carlos de. Paisagem, meio ambiente e planejamento. Revista IG, São Paulo, Jan/Dez 1983, 62/68.
- PRANDINI, F. L. et alli. Geologia ambiental ou de planejamento. Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia 73/290. 1989.
- PEDROTO, E. S. e BARROSO, J. A. Mapeamento geológico-geotécnico dos municípios de Saquarema e Maricá, RJ. Barra da Litorânea e Vertente Atlântida. Anais do IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. BH, 1984, v.II, 267.

- RODRIGUES, J. E. e VILLAR, O. M. Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (Boçorocas). Anais do IVº Congresso ABGE/BH, 1984.II, 169.
- RODRIGUES, J. E. e VILLAR, O. M. Estudo da erosão interna das boçorocas através da teoria de carreamento. Anais do IV Congresso ABGE, Belo Horizonte, 1984, v. II, 163/168.
- SCHOOL, W. V. Sedimentologia e geoquímica do grupo Bambuí na parte SE da bacia do São Francisco. Anais do XXIX Congresso Brasileiro de Geologia, 1972, 207/231.
- SILVA, A. B. Contribuição da geologia estrutural na exploração de águas subterrâneas do grupo Bambuí na região do estado de Minas Gerais. Brasília, IV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais, 251-252, 1986.
- SOWERS, G. E. e ASCE, F. Failures in limestone in humid subtropics. Journal of the Geotechnical Engineering. 1979 (3), 6.
- TAN, B. K. Some geotechnical aspects of urban development over limestone terrain in Malaysia. Bull nº 35 IAEG, 1987, 57/63.
- TULLER, M.P. e RIBEIRO, J.H. Relatório Final de Geologia. Projeto VIDA (em elaboração).
- ZUQUETTE, L.V. e GALDOLFI, N. Contribuição à cartografia geotécnica da grande Cuiabá. Anais do IV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Belo Horizonte, 1984, v.II, 109/118.
- ZUQUETTE, L.V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia São Carlos. USP.SP, 1987. 3 vs.

# QUANTIFICAÇÃO DOS TERMOS QUALITATIVOS UTILIZADOS

---

### 1) TEXTURA (IEAG)

CLASSE	LIMITES TAM. (mm)	TERMINOLOGIA
1	maior 6,0	gran. muito grossa
2	6,0-2	gran. grosseira
3	2-0,06	gran. média
4	0,006-0,002	gran. fina
5	menor 60	gra. muito fina

### 2) GRADUAÇÃO (IEAG)

1	bem classificado
2	mal classificado

### 3) ANGULARIDADE DOS GRÃOS (sed. gross)

Angular, Subangular, Subarredondado, Arredondado

### 4) FORMA DOS GRÃOS (sed. gross)

Eqüidimensional, Plano, Alongado, Irregular

### 5) TEXTURA SUPERF. DOS GRÃOS (sed. gross)

Rugoso, Liso, Suave

### 6) GRAU DE INTEMPERISMO (IEAG)

CLASSE	GRAU DE INTEMP. (%)	TERMINOLOGIA
1	0-20	saprólito
2	20-50	moderadamente
3	50-75	altamente
4	75-100	completamente
5	100	solo residual

### 7) CONSISTÊNCIA DOS SOLOS COESIVOS

TERMINOLOGIA	INDICAÇÃO DE CAMPO
muito macio	escapa entre os dedos quanto apertado
macio	moldado pelos dedos
firme	moldados pelos dedos com alta pressão
compacto	não pode ser moldado pelos dedos
duro	quebradiço

### 8) PERMEABILIDADE

CLASSE	K (cm/seg)	TERMINOLOGIA
1	maior $10^{-2}$	muito alta
2	$10^{-2}$ a $10^{-4}$	alta
3	$10^{-4}$ a $10^{-5}$	moderada
4	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	baixa
5	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	muito baixa
	menor que $10^{-9}$	impermeável

### 9) POROSIDADE (IEAG)

CLASSE	POROSIDADE (%)	TERMINOLOGIA
1	maior que 50	muito alta
2	50-45	alta
3	45-35	média
4	35-30	baixa
5	menor que 30	muito baixa

### 10) GRAU DE SATURAÇÃO

CLASS	GRAU DE SAT. (%)	TERMINOLOGIA
E		
1	0-0,25	naturalmente seco
2	0,25-0,50	úmido
3	0,50-0,80	muito úmido
4	0,80-0,95	altamente saturado
5	0,95-1,00	satura

### 11) ÍNDICE DE PLASTICIDADE

CLASSE	ÍND. DE PLAST. (%)	TERMINOLOGIA
1	menor que 1	não-plástico
2	1 a 7	fracamente plástico
3	7 a 17	moderadamente plástico
4	17 a 35	altamente plástico
5	maior que 35	extremamente plástico (argilas gordas)

### 12) RESISTÊNCIA (ABMS)

MATERIAL	IND. RESIST. PENET. (SPT)	DESIGNAÇÃO
	$\leq 4$	fofa
areias e siltes arenosos	5 - 10	pouco compacto
	11 - 30	mediamente compacto
	31 - 50	compacto
	> 50	muito compacto
argila e siltes argilosos	$\leq 2$	muito mole
	3 - 4	mole
	5 - 8	média
	0 - 15	rija
	16 - 30	muito rija
	> 30	duro

## **INFORMAÇÕES BÁSICAS PARA GESTÃO E ADMINISTRAÇÃO TERRITORIAL – GATE**

Objetivam a criação de produtos relacionados ao meio físico e à gestão ambiental, destinados a subsidiar tecnicamente as decisões dos planejadores e administradores dos diversos tipos de espaços geográficos do território nacional.

As publicações decorrentes dessa linha de atuação da CPRM apontam contribuições das mais diversas áreas do conhecimento ao interesse da ocupação e aproveitamento do meio ambiente, respeitado o condicionamento do meio físico.

Nesse contexto, as publicações foram agrupadas consoante os temas a seguir discriminados:

SÉRIE CARTAS TEMÁTICAS  
SÉRIE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL  
SÉRIE DOCUMENTAÇÃO  
SÉRIE ORDENAMENTO TERRITORIAL  
SÉRIE PUBLICAÇÕES ESPECIAIS  
SÉRIE RECURSOS HÍDRICOS  
SÉRIE RECURSOS MINERAIS

### **SÉRIE CARTAS TEMÁTICAS**

#### **Superintendência Regional de Belo Horizonte**

- Vol. 01 - Caracterização Pedológica – Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa – MG. 1994.
- Vol. 02 - Caracterização Geomorfológica – Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa – MG. 1994.
- Vol. 03 - Uso da Terra e Caracterização da Cobertura Vegetacional – Região de Sete Lagoas/ Lagoa Santa – MG. 1994.
- Vol. 04 - Dinâmica do Processo Erosivo – Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa – MG. 1994.

#### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

- Vol. 01 - Geomorfologia da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 02 - Pedologia da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 03 - Geologia do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 04 - Geomorfologia do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 05 - Pedologia do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 06 - Cobertura Vegetal do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 07 - Geologia do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 08 - Geomorfologia do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 09 - Cobertura Vegetal do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 10 - Formações Superficiais do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 11 - Pedologia do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 12 - Vegetação e Uso atual do Solo do Município de Criciúma – SC. 1994.
- Vol. 13 - Áreas de Proteção Legal no Município de Criciúma – SC. 1995.
- Vol. 14 - Pedologia do Município de Criciúma – SC. 1995.
- Vol. 15 - Vegetação e Uso Atual do Solo do Município de Xangri-Lá – RS. 1995.
- Vol. 16 - Cobertura Vegetal do Município de Triunfo – RS. 1995.
- Vol. 17 - Cobertura Vegetal da Área da Sede do Município de Triunfo – RS. 1995.
- Vol. 18 - Geologia do Município de Xangri-Lá – RS. 1995.
- Vol. 19 - Cobertura Vegetal do Município de Eldorado do Sul – RS. 1995.
- Vol. 20 - Solos do Município de Xangri-Lá – RS. 1995.
- Vol. 21 - Declividade do Município de Criciúma – SC. 1995.
- Vol. 22 - Situação Legal das Áreas Mineradas no Município de Criciúma – SC. 1995.

#### **Superintendência Regional de Recife**

- Vol. 01 - Levantamento Gravimétrico da Área Sedimentar da Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

#### **Superintendência Regional de Belém**

- Vol. 01 - Estudo Hidrogeológico da Área Urbana de Marabá – PA.
- Vol. 02 - Estudo Hidrogeológico da Área Urbana de Redenção – PA.
- Vol. 03 - Estudo Hidrogeológico da Área Urbana de Santa Isabel – PA.

Vol. 04 - Aspectos Geológicos e Hidrogeológicos da Área Reservada à Implantação do Distrito Industrial de Redenção – PA.

Vol. 05 - Informações Ambientais sobre Áreas Propícias à Alocação do Distrito Industrial e à Disposição de Rejeitos no Município de Redenção – PA.

### **SÉRIE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL**

#### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Vol. 01 - Caracterização da Pluma Poluidora Gerada pelo Depósito Municipal de Lixo de Estância Velha – RS. 1994.

Vol. 02 - Caracterização da Pluma Poluidora Gerada pelo Depósito Municipal de Lixo da Zona Norte de Porto Alegre – RS. 1994.

Vol. 03 - Fontes de Poluição e Degradação Ambiental do Município de Estância Velha – RS. 1994.

Vol. 04 - Catástrofe de Igrejinha – RS. 1994.

Vol. 05 - Catástrofe de Nova Hartz – RS. 1994.

Vol. 06 - Avaliação Geofísica da Pluma Poluidora Gerada por um Depósito de Lodo de Curtume – Estância Velha – RS. 1994.

Vol. 07 - Geofísica Aplicada à Detecção da Contaminação das Águas Subterrâneas no Depósito de Lixo de Alvorada – RS. 1995.

Vol. 08 - Fontes de Poluição no Município de Criciúma – SC. 1995.

Vol. 09 - Áreas Degradadas pela Atividade Mineira no Município de Criciúma – SC. 1995.

#### **Superintendência Regional de Recife**

Vol. 01 - Os Aterros Sanitários e a Poluição das Águas Subterrâneas – Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

#### **Superintendência Regional de Belo Horizonte**

Vol. 01 - Espeleologia, Inventário de Cavidades Naturais, Região de Matozinhos, Mocambo – MG. 1994.

### **SÉRIE DOCUMENTAÇÃO**

#### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Vol. 01 - Documentação Básica do Projeto. Estância Velha – RS. 1994.

Vol. 02 - Sinopse dos Trabalhos Realizados – PROTEGER – RS. 1994.

#### **Superintendência Regional de Recife**

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas – Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

#### **Superintendência Regional de São Paulo**

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas – Região Metropolitana de Curitiba – PR. 1994.

Vol. 02 - Subsídios para Caracterização do Meio Físico – Informações Básicas. 1994.

Vol. 03 - Procedimentos Metodológicos para Elaboração do Índice de Informações Cartográficas da Região Metropolitana de Curitiba – PR. 1995.

#### **Residência de Fortaleza**

Vol. 01 - Índice de Informações Cartográficas – Região Metropolitana de Fortaleza – CE. 1994.

Vol. 02 - Índice de Informações Cartográficas – Região Costeira do Ceará – CE. 1994.

Vol. 03 - Índice de Informações Cartográficas – Região do Cariri – CE. 1994.

#### **Superintendência Regional de Belém**

Vol. 01 - Banco de Dados de Águas Subterrâneas – Área Urbana de Marabá – PA.

## SÉRIE ORDENAMENTO TERRITORIAL

### **Superintendência Regional de Belo Horizonte**

- Vol. 01 - Socioeconomia, Zoneamento Geomorfológico, Geologia, Uso da Terra e Cobertura Vegetal, Caracterização dos Solos e Avaliação da Capacidade de Uso das Terras do Município de Capim Branco – MG. 1994.
- Vol. 02 - Hidrologia (Uso das Águas Subterrâneas), Hidrogeologia (Favorabilidade à Exploração de Água Subterrânea), Geotecnia (Zoneamento Geotécnico), Espeleologia e Declividade do Município de Capim Branco – MG. 1994.
- Vol. 03 - Cartografia Geotécnica de Planejamento – Região de Sete Lagoas/Lagoa Santa – MG. 1994.
- Vol. 04 - Mapeamento Geológico da Cidade de Sete Lagoas com Vistas à Aplicação no Planejamento Urbano. MG. 1994.

### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

- Vol. 01 - Diagnóstico Setorial da Região Metropolitana de Porto Alegre – RS. 1994.
- Vol. 02 - Cobertura Vegetal e Ocupação Atual do Solo da Área de Influência da Barragem Olaria Velha e da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 03 - Suscetibilidade à Erosão da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 04 - Adequação do Uso Agrícola do Solo da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 05 - Isodeclividade da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.
- Vol. 06 - Áreas de Inundação, Alagamento e Banhados da Região Metropolitana de Porto Alegre – RS. 1994.
- Vol. 07 - Isodeclividade do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 08 - Suscetibilidade à Erosão do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 09 - Áreas com Restrição à Mineração do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 10 - Áreas com Maior Favorabilidade à Mineração e Menor Risco Ambiental do Município de Parobé – RS. 1994.
- Vol. 11 - Isodeclividade do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 12 - Suscetibilidade à Erosão do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 13 - Uso e Ocupação do Solo do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 14 - Áreas de Proteção do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 15 - Áreas Críticas e com Restrições à Ocupação do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 16 - Adequação do Uso Agrícola do Solo Rural do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 17 - Uso Recomendado do Solo do Município de Estância Velha – RS. 1994.
- Vol. 18 - Diagnóstico Preliminar dos Aspectos Ambientais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul – RS. 1994.
- Vol. 19 - Seleção Preliminar de Áreas para o Futuro Distrito Industrial do Município de Nova Santa Rita – RS. Estudo Geológico-Geotécnico. 1995.
- Vol. 20 - Alternativas Locacionais para Áreas Industriais e Tratamento de Esgotos Domésticos do Município de Portão – RS. Subsídios à Elaboração de Plano Diretor. 1995.
- Vol. 21 - Subsídios à Avaliação de Áreas Potencialmente Favoráveis à Implantação de Aterros Sanitários no Município de Lauro Müller – SC. 1995.
- Vol. 22 - Diagnóstico da Destinação Final dos Resíduos Sólidos Urbanos do Litoral Norte e Médio do Estado do Rio Grande do Sul. 1995.
- Vol. 23 - Áreas de Proteção Legal no Município de Xangri-Lá – RS. 1995.
- Vol. 24 - Seleção de Áreas para Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS – Mapeamento das Áreas Favoráveis. Etapa 1. 1995.

### **Superintendência Regional de Recife**

- Vol. 01 - Metodologia para Estudos Neotectônicos Regionais. Caso João Câmara – RN. 1994.

### **Superintendência Regional de Salvador**

- Vol. 01 - Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. Informações Básicas do Meio Físico – BA. 1994.
- Vol. 02 - Área de Proteção Ambiental de Mangue Seco. Plano Manejo – BA. 1994.
- Vol. 03 - Informações Básicas para o Planejamento e Administração do Meio Físico – Mapas Municipais de Morro do Chapéu – BA. 3 v. 1995.

### **Superintendência Regional de São Paulo**

- Vol. 01 - Áreas Naturais sob Proteção – Região Metropolitana de Curitiba – PR. 1994.
- Vol. 02 - Cartas Temáticas de Planejamento da Região Metropolitana de Curitiba – PR. 1994.

### **Residência de Fortaleza**

Vol. 01 - Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza – CE. 1995.

### **SÉRIE PUBLICAÇÕES ESPECIAIS**

#### **Superintendência Regional de Recife**

Vol. 01 - Turismo Geocientífico: Uma Viagem no Tempo – RE. 1994.

### **SÉRIE RECURSOS HÍDRICOS**

#### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Vol. 01 - Potencial Hidrogeológico do Município de Estância Velha – RS. 1994.

Vol. 02 - Monitoramento Hídrico da Bacia do Rio Gravataí – RS. 1994.

Vol. 03 - Potencial Hídrico Subterrâneo do Município de Nova Hartz – RS. 1994.

Vol. 04 - Avaliação Geofísica das Águas Subterrâneas no Balneário de Capão Novo – RS. 1994.

Vol. 05 - Mapa de Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma – SC. 1994.

Vol. 06 - Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma – SC. Relatório Final. 1995.

#### **Superintendência Regional de Recife**

Vol. 01 - Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

#### **Residência de Fortaleza**

Vol. 01 - Água no Sertão do Pajeú. Município de Afogados da Ingazeira – 1994.

Vol. 02 - Vulnerabilidade Natural das Unidades Aquíferas da Região do Cariri – CE. 1995.

### **SÉRIE RECURSOS MINERAIS**

#### **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Vol. 01 - Potencial Mineral para Não-Metálicos do Município de Parobé – RS. 1994.

Vol. 02 - Áreas Mineradas para Carvão – Município de Criciúma – SC. 1994.

Vol. 03 - Potencial para Não-Metálicos do Município de Criciúma – SC. 1994.

#### **Superintendência Regional de Recife**

Vol. 01 - Potencial Mineral de Não-Metálicos da Região Metropolitana de Fortaleza – CE. 1994.

Vol. 02 - Insumos Minerais no Sertão do Pajeú: Calcários e Mármore – PE. 1994

Vol. 03 - A Mineração na Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

Vol. 04 - A Atividade Extrativa Mineral em Jaboatão dos Guararapes – PE. 1994.

Vol. 05 - Fosfato de Olinda e os Conflitos de Mineração. Região Metropolitana do Recife – PE. 1994.

Vol. 06 - Diagnóstico Geoeconômico Acopiara – CE. 1995.

Vol. 07 - Diagnóstico Geoeconômico do Município de Banabuiú – CE. 1995.

Vol. 08 - Avaliação da Potencialidade Mineral do Médio-Baixo Jaguaribe – CE. 1995.

Vol. 09 - Minerais Não-Metálicos – Região do Cariri – CE. 1995.

Vol. 10 - Diagnóstico Geoeconômico do Município de Maranguape – CE. 1995.

# ENDEREÇOS DA CPRM

## **Sede**

SGAN - 603 - Módulo "I" - 1º andar - Cep: 70830.030 -  
Brasília - DF  
Telefones: (061)312-5252 - (061)312-5253 (PABX)  
Telex: 611355 - Fax: (061)225-3985

## **Escritório Rio**

Av. Pasteur, 404 - Urca - Cep: 22290.240 - Rio de Janeiro - RJ  
Telefones: (021)295-5337 - (021)295-0032 (PABX)  
Telex: 2122685 - 2132525 - Fax: (021)295-6347

## **Diretoria de Recursos Minerais**

Telefones: (021)295-6196 - (021)295-0032 (PABX)  
Fax: (021)542-3647

## **Departamento de Projetos Especiais**

Telefones: (021)295-5446 - (021)295-0032 R.231  
Fax: (021)295-6347

## **Centro de Documentação Técnica**

Telefones: (021)295-5897 - (021)295-5997 - (021)295-0032  
R.250/389 - Fax: (021)295-6347

## **Superintendência Regional de Belém**

Av. Dr. Freitas, 3645 - Marco - Cep: 66095.110 - Belém - PA  
Telefones: (091)226-0016 - (091)226-6066 (PABX)  
Telex: 911149 - Fax: (091)226-0016

## **Superintendência Regional de Belo Horizonte**

Av. Brasil, 1731 - Funcionários - Cep: 30140.002 -  
Belo Horizonte - MG  
Telefones: (031)261-3037 - (031)261-5977 (PABX)  
Telex: 311011 - Fax: (031)261-5585

## **Superintendência Regional de Goiânia**

Rua 148, 485 - Setor Marista - Cep: 74001.970 - Goiânia - GO  
Telefones: (062)281-1709 - (062)281-1522 (PABX)  
Telex: 622157 - Fax: (062)281-1709

## **Superintendência Regional de Manaus**

Av. Carvalho Leal, 1017 - Cachoeirinha - Cep: 69065.001 -  
Manaus - AM  
Telefones: (092)622-4387 - (092)622-4723 (PABX)  
Telex: 922265 - Fax: (092)622-2977

## **Superintendência Regional de Porto Alegre**

Rua Banco da Província, 105 - Cep: 90840.030 -  
Porto Alegre - RS  
Telefones: (051)233-4643 - (051)233-7311 (PABX)  
Telex: 511062 - Fax: (051)233-7772

## **Superintendência Regional de Recife**

Av. Beira Rio, 45 - Madalena - Cep: 50610.100 - Recife - PE  
Telefones: (081)228-2988 - (081)227-0277 (PABX)  
Telex: 811368 - Fax: (081)228-2142

## **Superintendência Regional de Salvador**

6ª Avenida do Centro Administrativo da Bahia  
Estrada da Sussuarana, 2862 - Cep: 41213.000 - Salvador - BA  
Telefones: (071)371-4005 - (071)230-9977 (PABX)  
Telex: 711182 - Fax: (071)371-4005

## **Superintendência Regional de São Paulo**

Rua Domingos de Moraes, 2463 - Vila Mariana  
Cep: 04035.000 - São Paulo - SP  
Telefones: (011)575-2094 - (011)549-1133 (PABX)  
Telex: 1123758 - Fax: (011)549-1565

## **Residência de Fortaleza**

Rua Henriqueta Galeno, 380 - Dionísio Torres  
Cep: 60135.420 - Fortaleza - CE  
Telefones: (085)261-9098 - (085)244-7177 (PABX)  
Telex: 851532 - Fax: (085)244-0499

## **Residência de Porto Velho**

Av. Lauro Sodré, 2561 - Bairro Tanques  
Cep: 78904.300 - Porto Velho - RO  
Telefones: (069)221-5435 - (069)223-3544 (PABX)  
Telex: 0692124 - Fax: (069)221-5435

## **Residência de Teresina**

Rua Goiás, 312 - Sul  
Cep: 64001-570 - Teresina - PI  
Telefones: (086)222-6963 - (086)222-4153 (PABX)  
Telex: 0862141 - Fax: (086)222-6651

## **Núcleo de Divulgação**

Av. Brasil, 1731 - Funcionários - Cep: 30140.002  
Belo Horizonte - MG  
Telefones: (031)261-4300 - (031)261-5977 R.58  
Telex: 311011 - Fax: (031)261-5585





O Serviço Geológico do Brasil

PROJET  
574.3:62  
V598j  
Ex.:1 V  
1994  
Registro