CPRM
BIBLIOTECA
2240-S

RIO PARDO DE MINAS

FOLHA SD.23-Z-D-V

Escala 1:100.000

I-96
CPRM - DIDOTE
ARQUIVAMENTO
Relatório nº 2240 S
N.º de Volumes: V:
PHL - CDI 979

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado	Alexis Stepanenko
Secretário de Minas e Metalurgia	Breno Augusto dos Santos

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

Presidente	Carlos Oiti Berbert
Diretor de Geologia e Recursos Hídricos	Hermes Augusto Verner Inda
Diretor de Recursos Minerais	Antonio Juarez Milmann Martins
Diretor de Administração e Finanças	Augusto Wagner Padilha Martins
Diretor de Relações Comerciais	Gil Pereira de Souza Azevedo
Superintendente de Apoio e Desenvolvimento Tecnológico	Giuseppina Giaquinto de Araújo
Superintendente de Planejamento e Informática	Isaac Ber Borensztein

SUPERINTENDÊNCIAS REGIONAIS

Superintendente de Belém	Xafi da Silva Jorge João
Superintendente de Belo Horizonte	Osvaldo Castanheira
Superintendente de Goiânia	Mario de Carvalho
Superintendente de Manaus	Fernando Pereira de Carvalho
Superintendente de Porto Alegre	Cladis Antônio Pressotto
Superintendente de Recife	João de Castro Mascarenhas
Superintendente de Salvador	José Carlos Vieira Gonçalves da Silva
Superintendente de São Paulo	Luíz Sguissardi do Carmo

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL
Escalas 1:250.000 – 1:100:000 – 1:50.000

COORDENAÇÃO NACIONAL DO PROGRAMA
Inácio de Medeiros Delgado

COORDENAÇÃO TEMÁTICA

Nacional

Análises Minerais	Vânia N. de Araújo Mello
Bases de Dados	Ernesto von Sperling
Biblioteca	Tânia R.B. de M. Freire
Editoração	Afonso H. de Souza Lobo Jurema Ferreira da Silva
Financeira	Idelmar da Cunha Barbosa
Estratigrafia	Augusto José Pedreira
Geofísica	Mário J. Metello
Geologia Estrutural	Reginaldo Alves dos Santos Atahualpa Valença Padilha
Geologia Econômica	Ódimo Francisconi
Geoprocessamento	Ricardo Moacyr de Vasconcellos
Geoquímica	Carlos Alberto C. Lins
Geotectônica	Atahualpa Valença Padilha
Hidrogeologia	Antônio de Souza Leal
Litogeoquímica	Emiliano Cornélio de Souza
Metalogenia	Inácio de Medeiros Delgado
Petrologia	Luiz Carlos da Silva Emiliano Cornélio dos Santos
Processamento de Dados	Gilberto G. da Vinha
Programa Grande Carajás	Orlando José B. de Araújo
Sensoriamento Remoto	Sérgio M.S. Guerra
Treinamento	Antônio José D. Rocha Eduardo Camozzato

Regional

Superintendência Regional de Belo Horizonte

Regional	Claiton Piva Pinto
Estrutural	Orivaldo Ferreira Baltazar
Petrologia	Frederico Ozanan Raposo
Hidrogeologia	José do Espírito Santo Lima
Metalogenia	Carlos Alberto Heineck
Geoquímica	Cláudio José Marques de Souza
Geofísica	Antonino Juarez Borges
CIEG Ouro Preto	Hélio Antonio de Souza
Treinamento	João Batista Carvalhaes

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL

RIO PARDO DE MINAS
FOLHA SD.23-Z-D-V

Estado de Minas Gerais

Organizado por
Antonio de Souza Leal
Fernando Fernandez
José do Espírito Santo Lima

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

O Serviço Geológico do Brasil

BRASÍLIA 1994

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL

PROJETO MAPAS HIDROGEOLÓGICOS

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM
Superintendência Regional de Belo Horizonte

Coordenação editorial a cargo do
Núcleo de Edições Técnicas – NUTEC da
Superintendência de Apoio e Desenvolvimento Tecnológico

Leal, Antunes de Souza.

Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Rio Pardo de Minas, Folha SD.23-Z-D-V. Estado de Minas Gerais, Escala 1:100.000. Org. por Antonio de Souza Leal. Brasília/CPRM 1994.

84 pág., ilustr., 2 mapas.

Executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.

1. Hidrogeologia - Minas Gerais - Mapas. I. Brasil, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. II Título.

CDD:588:15
CDV:55(215)

SUMÁRIO

Resumo i

Abstract iii

1INTRODUÇÃO 1

1.1 Histórico 1
1.2 Localização e Acesso 2
1.3 Aspectos Sócio-Econômicos 2
1.4 Clima e Geomorfologia 5
1.4.1 Clima 5
1.4.2 Geomorfologia 6
Pediplano Porteirinha–Monte Azul 9
Serra do Espinhaço 9
Platô do Alto Rio Pardo 9
Superfície Dissecada da Bacia do Rio Peixe Bravo 10
1.5 Vegetação e Solos 10
1.6 Aspectos Hidrológicos 12
1.7 A Carta Hidrogeológica 12
1.7.1 Os Sistemas Aqüíferos 14
1.7.2 Classes de Produtividade dos Sistemas Aqüíferos 15
1.7.3 Importância Hidrogeológica Relativa Local 15
1.7.4 Tipos Químicos de Água 15
1.7.5 Condições das Áreas de Exposição dos Aqüíferos 15
1.7.6 Vulnerabilidade dos Aqüíferos à Poluição 15
1.7.7 Informações Cartográficas Adicionais 16

2 Geologia 17

2.1 Generalidades 17
2.2 Rochas Cristalinas e Cristalofilianas 17
2.2.1 Associação Gnáissico-Migmatítica 18
Granitóides (APlgt) 18
Gnaisses e Migmatitos Indivisos (APlgn/mi) 18
2.2.2 Supergrupo Espinhaço 19
Metavulcânicas (Pmv) 20
Quartzitos (Pqt) 20
Xistos (Pxt) 20
2.3 Rochas Sedimentares 21
2.3.1 Grupo Macaúbas 21
Paraconglomerados (PSpc) 21
2.3.2 Coberturas Indiferenciadas 22
Terciário (Tcd) 22
Terciário-Quaternário (TQci) 22
Quaternário (Qco) 22
2.3.3 Aluvião (Qal) 22
2.4 Tectônica 23
2.4.1 Introdução 23
2.4.2 Dados Estruturais 23
2.4.3 Interpretação dos Dados 24
2.4.4 Análise das Fraturas 25
2.4.5 Conclusões 25

3 Hidrogeologia da Folha 29

3.1 Sistemas Aqüíferos 30
3.1.1 Aqüíferos Intergranulares Descontínuos, Livres 30
Alimentação, Escoamento e Exutórios 33
Características Dimensionais 33
3.1.2 Aqüíferos Intergranulares Locais, Livres 33
Alimentação, Escoamento e Exutórios 33
Características Dimensionais 34
3.1.3 Aqüíferos Intergranulares Descontínuos de Extensão Variável, Livres 34
Alimentação, Escoamento e Exutórios 34
Características Dimensionais 34
3.1.4 Zonas Geralmente sem Aqüíferos 34
3.1.5 Aqüíferos Descontínuos Restritos à Juntas e Fraturas, Livres 37
Alimentação, Escoamento e Exutórios 37
Características Dimensionais 37

3.1.6 Zonas sem Água Subterrânea Significativa 37
3.1.7 Aqüíferos Locais Fraturados, Livres 38
Alimentação, Escoamento e Exutórios 38
Características Dimensionais e Hidrodinâmicas 40
3.2 A Produtividade dos Sistemas e a Importância Hidrogeológica Relativa Local 41
3.3 Condições das Áreas de Exposição dos Sistemas Aqüíferos 42
3.4 Vulnerabilidade dos Aqüíferos 43
3.5 Uso Atual e Condições de Exploração 44
3.6 Qualidade das Águas 45
3.6.1 Generalidades 45
3.6.2 Composição Química 46
3.6.3 Fácies Hidroquímicas 47
Águas Bicarbonatadas 47
Águas Cloretadas 47
Águas Mistas 47
3.6.4 Nível e Tipos de Contaminação 49
3.6.5 Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais, Uso Industrial e Irrigação 49
Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais 49
Qualidade das Águas para Uso Industrial 54
Qualidade das Águas para Irrigação 54
3.7 Gestão das Águas Subterrâneas 56
3.7.1 Nível de Conhecimento Atual 56
3.7.2 Gerenciamento dos Recursos 57
3.7.3 Facilidades Governamentais 57

4 Conclusões e Recomendações 59

Bibliografia 63

Apêndices

I - Súmula de Dados de Produção
II - Ilustrações Fotográficas

Anexos

. Carta Hidrogeológica
. Carta de Qualidade da Água
. Carta de Condições das Áreas de Exposição dos Aqüíferos/ Vulnerabilidade dos Aquiferos à Poluição

RESUMO

A Folha Rio Pardo de Minas, com aproximadamente 3.000km^2, está situada no norte do estado de Minas Gerais. Ocorrem na região, os tipos climáticos Aw e Cwa, sendo o primeiro um clima tropical, quente e úmido, com estação seca bem acentuada e o segundo mesotérmico de altitude com verões quentes e chuvosos e inverno seco. O regime pluviométrico é muito irregular, com totais anuais de 533mm (estação de Serra Branca) e 897mm (estação de Rio Pardo de Minas) e a temperatura média anual gira em torno de 24°C. A umidade relativa média anual é da ordem de 65%. As rochas cristalinas e cristalofilianas predominam na área com 69%, correspondendo o restante a sedimentos inconsolidados terciários e terciário-quaternários, e depósitos recentes. Os estudos hidrogeológicos foram desenvolvidos tomando por base os dados fornecidos por 128 pontos d'água, 32 análises químicas e informações acerca das fraturas fotointerpretadas e estudadas *in loco*. Os sistemas aqüíferosmais importantes, em ordem decrescente, são aqueles definidos pelas aluviões, pelos quartzitos e pelos gnaisses/migmatitos e granitóides, sendo o último mais vulnerável à poluição. As águas, via de regra, apresentam salinidade elevada, e a potabilidade para consumo humano varia de boa a medíocre. Para os animais a potabilidade é boa, exceto para duas amostras com valores de resíduo seco acima do limite permitido para aves, e na irrigação 73,6% das águas amostradas requerem determinadas precauções para utilização. Para o uso industrial, dependendo do tipo de indústria, ocorrem restrições em relação à alcalinidade total, à dureza total e ao resíduo seco (TSD). Na gestão das águas subterrâneas, a nível de conhecimento atual, estudos hidrogeológicos na área são escassos e o gerenciamento dos recursos hídricos é feito por órgãos estaduais e municipais apenas na sede municipal e em alguns povoados. As facilidades governamentais são atribuídas a órgãos estaduais e federais que atuam na região.

ABSTRACT

Covering an area of about 3.000km2 in the North of Minas Gerais state, the Rio Pardo Sheet is characterized by a tropical warm and humid Aw climate, with a well defined dry season, and by a mesothermal of altitude Cwa one, with warm rainy summer and dry winter. The region rainfall regime, which totalizes 533mm annually (Serra Branca Resort) and 897mm (Rio Pardo de Minas Resort), is a very irregular one, with an average temperature of about 24°C and 65% of relative humidity. The crystalline rocks cover as much as 69% of the area, the rest being covered by Tertiary and Tertiary-Quaternary unconsolidated sediments and recent deposits. The hydrogeological studies carried out in the area are based on data from 128 water points, 32 chemical analyses and on information of photointerpreted and studied "*in loco*" fractures. The main aquifers are those defined by alluvia, quartzites and gneisses/migmatites and granitoids, the latter being the most susceptible to pollution. Because of the water high salinity generally , its potability, for human uses, varies from suitable to moderately suitable. Excepting for two samples showing dry waste contents over the established limit for cickens, the water has no restriction for animal uses. Concerning watering, however, 73,6% of the sampled water requires caution. For industrial uses, depending on the industry nature, restriction are imposed related to the total alkalinity, hardness and dry waste contents. So far as it is known, the hydrogeological studies carried out in the region have not been sufficient, with the region hydric resources being managed by governmental departments only in the seat of municipality and a few settlements.

1

Introdução

1.1 Histórico

Este projeto, inicialmente denominado "Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos", na escala 1:100.000, e solicitado à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), teve início em fins de 1984, em caráter experimental, com o mapeamento de 4 folhas-teste, a ser executado pelas Superintendências Regionais de Belo Horizonte (Folha Janaúba), Salvador (Folha Euclides da Cunha) e Recife (folhas Currais Novos e Jardim do Seridó), dentro do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB), desenvolvido pelo Ministério de Minas e Energia. Como pode se observar, as áreas priorizadas para os mapas hidrogeológicos, estão inseridas no contexto do Polígono das Secas, e são reconhecidamente carentes em recursos hídricos.

Em novembro de 1985, foram iniciados os trabalhos da Folha Rio Pardo de Minas sob a responsabilidade da Superintendência Regional de Belo Horizonte (SUREG/BH), sendo porém interrompidos em agosto de 1986. Nesse período, foram desenvolvidas atividades relativas à aquisição de documentação, análise bibliográfica, elaboração de mapas-base preliminares e fotointerpretação, sem dedicação exclusiva do responsável pela folha.

A retomada dos trabalhos ocorreu em maio de 1991, e as atividades de campo foram iniciadas em junho deste mesmo ano. A partir de julho/91, após a realização do *workshop* de hidrogeologia em Aldeia, município de Camaragibe-PE, o projeto passou a ser denominado "Projeto Mapas Hidrogeológicos".

O objetivo principal do projeto é apresentar, em escala de semidetalhe (1:100.000), um

conjunto de informações básicas necessárias à orientação de todos aqueles interessados na obtenção e aproveitamento das águas subterrâneas, numa linguagem acessível aos técnicos e ao usuário não especializado.

Os trabalhos foram desenvolvidos inicialmente pelo geólogo Sérgio Murillo Achão até a interrupção em agosto/86. Em maio/91, foram retomados pelo geólogo Fernando Fernandez, que executou a etapa de campo a partir de junho desse mesmo ano, auxiliado pelos motoristas Edson Fernandes da Silva e José Marques Pereira, sob a coordenação do geólogo Antonio de Souza Leal (Coordenador Regional e Nacional de Hidrogeologia). A análise estrutural da folha foi feita pelo geólogo Orivaldo Ferreira Baltazar (Coordenador Regional de Geologia Estrutural).

A redação do presente texto explicativo ficou a cargo dos geólogos Fernando Fernandez, Antonio de Souza Leal e José do Espírito Santo Lima.

1.2 Localização e Acesso

A área do projeto localiza-se na região norte do estado de Minas Gerais, entre os paralelos 15°30' e 16°00'de latitude sul e os meridianos 42°30' e 43°00' de longitude oeste de Greenwich, e possui uma superfície da ordem de 3.000 km^2, abrangendo porções dos municípios de Mato Verde, Porteirinha, Rio Pardo de Minas, Riacho dos Machados e Salinas (figura 1.1).

O acesso à área, partindo-se de Belo Horizonte, é através das rodovias pavimentadas federais BR-040, BR-135, BR-122 e de tráfego permanente BR-342. Completam o sistema viário inúmeras estradas vicinais que interligam as localidades, distritos, vilas e fazendas da região. As cidades de Rio Pardo de Minas e Porteirinha dispõem de campo de pouso, não contando todavia, com vôos regulares de aeronaves.

Neste trabalho designar-se-á, para referências, como setor ocidental o Pediplano Porteirinha-Monte Azul (integrado à bacia do rio São Francisco); como setor central a Serra do Espinhaço, e finalmente, como setor oriental o Platô do Alto Rio Pardo, compreendendo parte da bacia do rio Pardo ao norte e parte da bacia do rio Peixe Bravo ao sul.

1.3 Aspectos Sócio-Econômicos

A área estudada está contida na Zona Fisiográfica de Itacambira e microrregiões da Serra Geral de Minas e Alto Rio Pardo abrangendo partes dos municípios de Mato Verde (62km^2) Rio Pardo de Minas (1.650km^2), Porteirinha (1.025km^2), Riacho dos Machados (220km^2) e Salinas (43km^2). Destes, apenas o município de Rio Pardo de Minas tem sede dentro dos limites da folha.

A partir dos dados fornecidos pela Fundação IBGE para o ano de 1991, estimou-se uma população de cerca de 32.500 habitantes (quadro 1.1), assim distribuídos: 9.330 habitantes, aproximadamente 28,7%, na cidade de Rio Pardo de Minas e 23.170 habitantes, cerca de 71,3%, na zona rural. A densidade demográfica média é de 10,8 hab/km^2, encontrando-se áreas, como o setor central (Serra do Espinhaço), praticamente despovoadas, com densidade demográfica de menos de 2 hab/km^2 (figura 1.2). A população encontra-se principalmente concentrada nas margens dos principais rios (Pardo, Mosquito e Serra Branca).

No setor ocidental, o mais densamente habitado, verifica-se um êxodo do meio rural, onde as mudanças econômicas e o rigor do clima são mais sentidos. No momento, esses deslo-

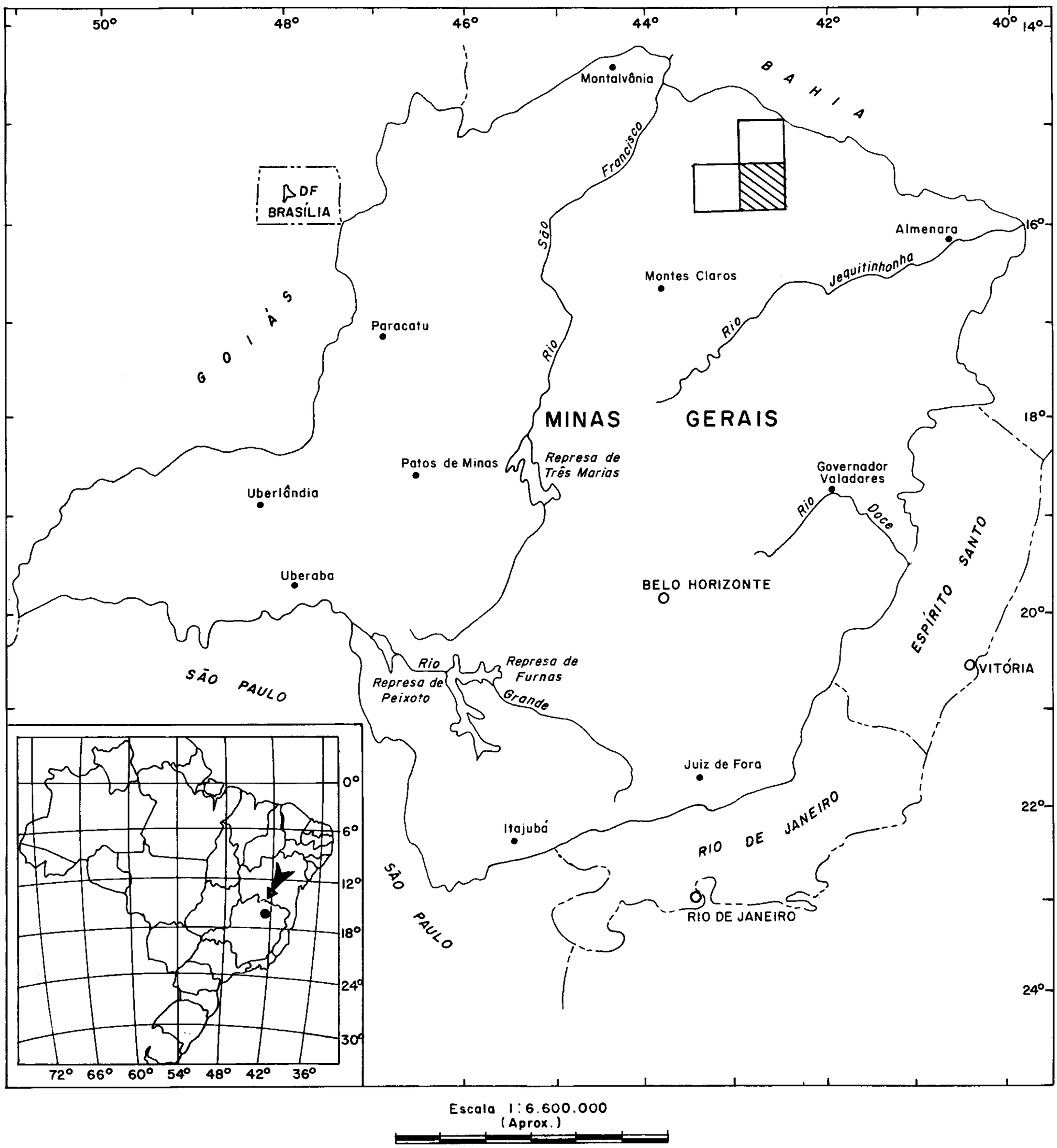


Figura 1.1 – Mapa de localização.

Quadro 1.1 – População, área e densidade demográfica dos municípios que compõem a área.

Município	População (habitantes)	Área (km2)	Densidade Demográfica (hab./km^2)
Mato Verde	1.458	62	23,5
Porteirinha	16.703	1.025	16,3
Riacho dos Machados	2.200	220	10,0
Rio Pardo de Minas	11.673	1.650	7,0
Salinas	560	43	13,0
Totais	32.594	3.000	10,8

camentos populacionais ocorrem principalmente dentro da região, verificando-se todavia, um crescente aumento no contigente que segue à procura de melhores condições em outras áreas, notadamente em Belo Horizonte e São Paulo.

O setor agropecuário é o alicerce da economia, cabendo ao setor industrial apenas uma contribuição ínfima.

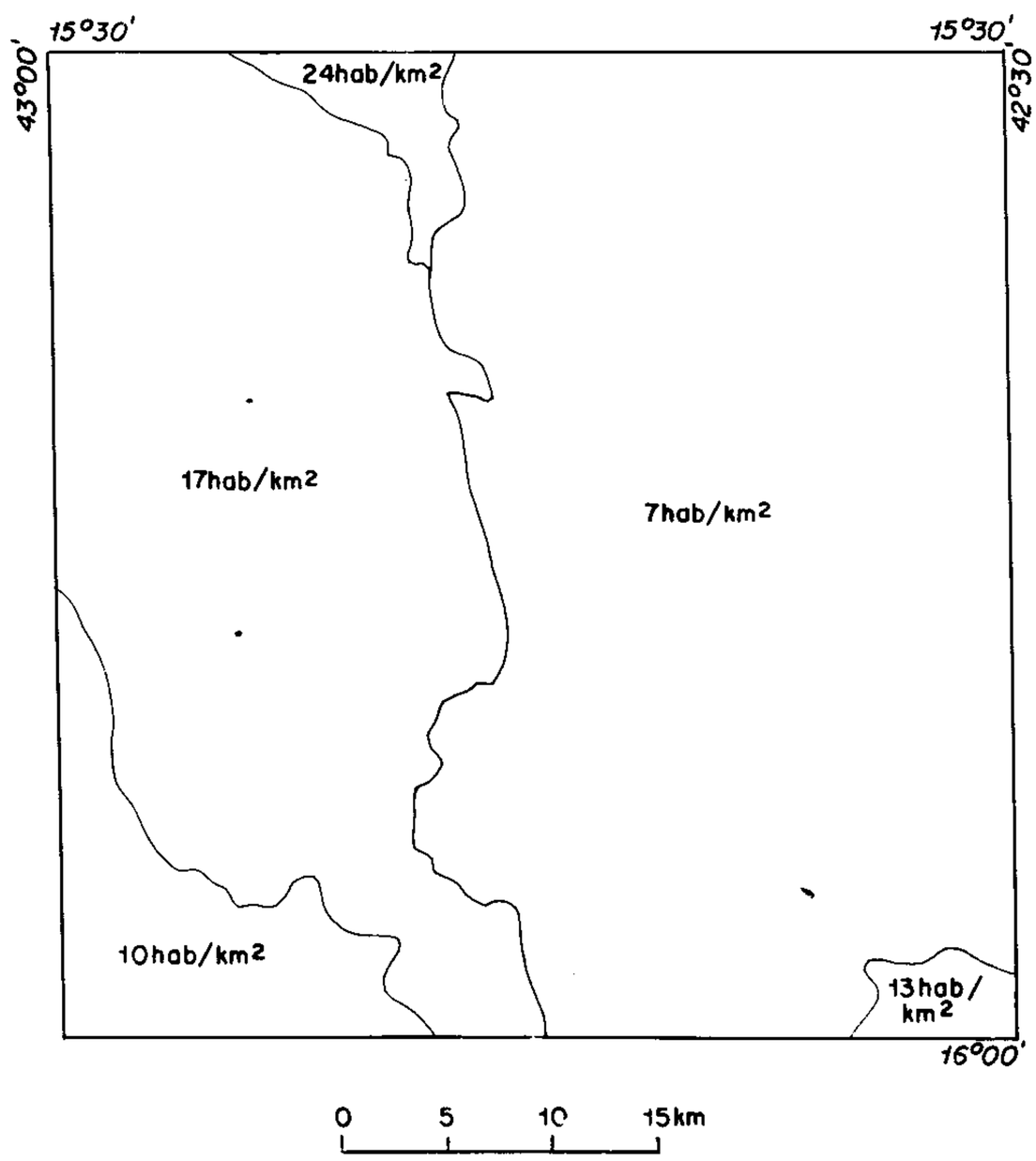


Figura 1.2 – Mapa de densidades demográficas.

No setor ocidental, a oeste da Serra do Espinhaço, a principal atividade econômica é a cotonicultura, sendo esta região a principal produtora de algodão do estado de Minas Gerais.

Segundo os dados da EMATER referentes ao biênio 90/91, a colheita de algodão na região norte mineira foi de 65.373t, com uma produtividade de 529 kg/ha. É a atividade agrícola a que mais utiliza mão-de-obra no campo, desde o plantio até a colheita. Estima-se que apenas na região norte mineira, a cotonicultura contribui com aproximadamente 23.000 empregos diretos e 40.000 empregos indiretos. A cultura do algodão é, sem dúvida, a maior empregadora de mão-de-obra na região, pois envolve mais de 16.000 famílias rurais, predominantemente de pequenos produtores.

Agregadas à cotonicultura existem usinas de beneficiamento de algodão, que representam as principais evidências do setor industrial dentro dos limites da folha.

Nos últimos anos, tem havido uma queda progressiva na produção de algodão, sendo vários os fatores que contribuem para isso, como a presença da lagarta-rosa, a redução do crédito rural, as constantes mudanças na política agrícola, o aumento demasiado nos custos de produção e a falta de recursos hídricos (devida à baixa pluviometria e intermitência dos rios).

Além da cotonicultura, os municípios de Porteirinha, Mato Verde e Riacho dos Machados têm atividade pecuária, com a criação de diversas raças bovinas, entre as quais se destacam o Indu-Brasil, Nelore e "pé duro". Com relação à pecuária, estimou-se para a área, a partir dos dados da EMATER, os seguintes números: rebanho bovino 20.000 cabeças, suínos 4.000 cabeças, equinos 2.000 cabeças e outros 40.000 cabeças.

A leste da Serra do Espinhaço, no setor oriental da folha, município de Rio Pardo de Minas, o panorama sócio-econômico é notoriamente distinto, a começar pelas atividades agrárias. Nesse setor, atualmente, a principal atividade é o plantio de eucaliptos para a obtenção de carvão vegetal, com produção média anual de 350.000m^3. O carvão é quase todo direcionado para o pólo siderúrgico de Sete Lagoas.

Além das atividades acima mencionadas ainda se produz na área, embora em quantidades bem menos expressivas: arroz, feijão, cana-de-açúcar, mandioca e milho.

Pelo que foi exposto, conclui-se que a economia na área tem por base o setor primário, traduzido em pecuária extensiva de corte, pequenas e médias lavouras (principalmente de algodão), e produção de carvão. A indústria existente limita-se quase exclusivamente à transformação e beneficiamento de produtos agrícolas, que demandam mão-de-obra quase sempre não especializada. Trata-se, principalmente, do beneficiamento do algodão e fabricação de aguardente de cana e de farinha de mandioca.

1.4 Clima e Geomorfologia

1.4.1 Clima

Segundo a classificação de Köeppen, ocorrem os tipos climáticos Aw e Cwa, respectivamente, tropical quente de savanas e tropical de altitudes (figura 1.3).

O clima Aw caracteriza-se por verões quentes e úmidos com estação seca bem acentuada no inverno (4 a 5 meses) . Apresenta chuvas de verão que iniciam em outubro ou novembro e se prolongam até o mês de março ou abril. Esse clima domina duas faixas norte-sul, uma situada no Pediplano Porteirinha-Monte Azul, a oeste da Serra do Espinhaço, e a outra no limite oriental da folha, incluindo a região urbana de Rio Pardo de Minas.

O clima Cwa (mesotérmico de altitude) é caracterizado, como no caso anterior, por verões quentes e invernos secos. A diferença entre os dois tipos de clima (Aw e Cwa) reside apenas na diminuição da temperatura como efeito da altitude.

O clima Cwa predomina em todo o setor central, na área de abrangência da Serra do Espinhaço. Considerando os tipos climáticos predominantes na região em apreço, conclui-se que a temperatura é alta durante todo o ano (mais na parte ocidental da folha). Levando em conta os dados das estações termométricas de Monte Azul e Janaúba, localizadas fora da folha, mas com características climáticas idênticas, admitiu-se a área uma temperatura média anual da ordem de 24oC, levemente inferior no Platô do Alto Rio Pardo e Serra do Espinhaço. Os meses de junho e julho são, em geral, os mais frios (21,5 a 22oC), e outubro e novembro os mais quentes (acima de 25oC).

A umidade relativa média do ar é da ordem de 65%, sendo janeiro e fevereiro os meses mais úmidos (70 a 80%), e agosto e setembro os mais secos (48 a 55%).

Quanto ao comportamento das chuvas, a área apresenta dois domínios distintos. O primeiro domínio corresponde à terça parte ocidental (Pediplano Porteirinha-Monte Azul) e apresenta regime pluviométrico muito irregular ao longo do ano e chuvas concentradas em dois a três meses. No quadro 1.2 estão representados os valores médios mensais e anuais da estação de Serra Branca, município de Porteirinha, e na figura 1.3 as isoietas relativas à área. Para o período de 1983 a 1990, a média de chuvas foi de 533mm/ano, que representa um dos índices mais baixos de toda região

norte do Estado de Minas Gerais e corresponde a menos de 50% do total de chuvas dos anos mais chuvosos (1.101,6mm em 1985) ou um pouco mais do dobro do total de chuvas dos anos mais secos (248,2mm em 1990). A irregularidade do ano hidrológico ainda é ressaltada pela concentração das chuvas em período muito curto, com cerca de 65% caindo em apenas dois meses (dezembro e janeiro) e 75% em três meses (novembro a janeiro). Os meses de maio a agosto são hidrologicamente secos, com índices pluviométricos inferiores a 5mm/mês.

O segundo domínio. pluviométrico corresponde ao Platô do Alto Rio Pardo e Serra do Espinhaço, e como no caso anterior, apresenta duas estações bem nítidas, uma seca e outra chuvosa, esta porém de maior duração e intensidade. As chuvas estão concentradas (75%) no período outubro/novembro até março, como mostram os dados da estação pluviométrica de Rio Pardo de Minas (quadro 1.3). A pluviometria média anual é de 897mm, com mínima de 450,4mm e máxima de 1.340,6mm, correspondentes aos anos de 1990 e 1979 respectivamente.

As precipitações comparativamente baixas, medidas em Serra Branca, podem ser atribuídas à presença da Serra do Espinhaço, anteparo morfológico regional que barra as nuvens provenientes do Oceano Atlântico e cria condições para precipitação das mesmas antes que elas alcancem o Pediplano Porteirinha-Monte Azul.

1.4.2 Geomorfologia

A área em estudo apresenta uma certa diversidade geomorfológica, com quatro unidades bem distintas (figura 1.4) . As feições, relacionadas abaixo, resultaram de uma conjugação de fatores litológico-estruturais com processos erosivos aos quais foram submetidas durantes longos períodos geológicos. Elas são:

- Pediplano Porteirinha - Monte Azul;
- Serra do Espinhaço;
- Platô do Alto Rio Pardo;
- Superfície Dissecada da bacia do rio Peixe Bravo.

Quadro 1.2 – Dados pluviométricos da Estação de Serra Branca no período de 1983 a 1990.

	Meses												
Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total Anual
Pluviometria	110,0	61,7	56,9	19,2	2,2	2,0	1,3	5,0	16,1	38,2	94,5	126,4	533,5

Fonte: DNAEE

Quadro 1.3 – Dados pluviométricos da Estação de Rio Pardo de Minas no período de 1977 a 1991.

	Meses												
Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total Anual
Pluviometria	175,0	89,5	100,0	47,0	12,0	6,7	7,3	4,2	34,5	75,1	143,5	202,5	897,3

Fonte: DNAEE

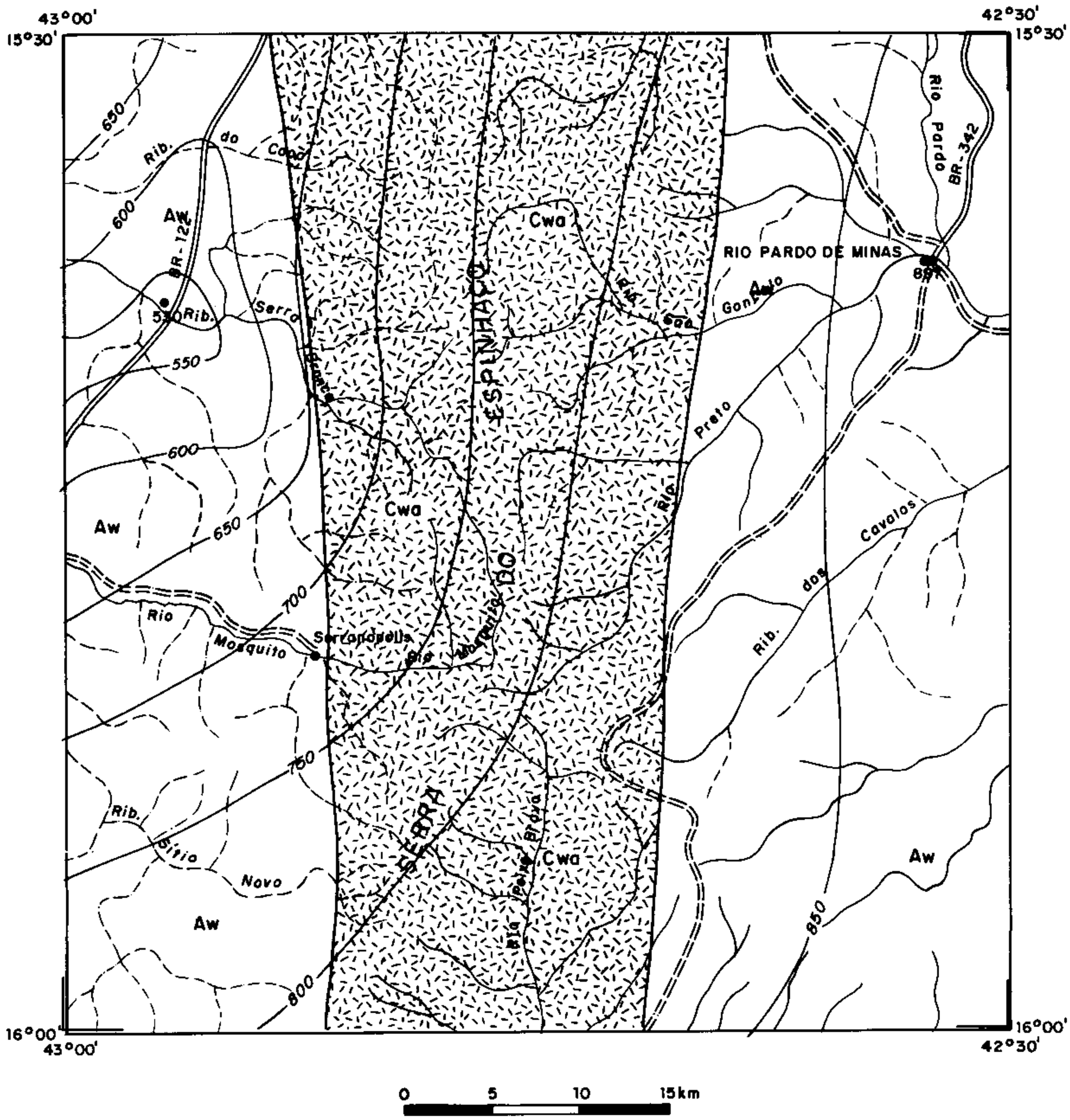


Figura 1.3 – Mapa pluviométrico e tipos de clima.

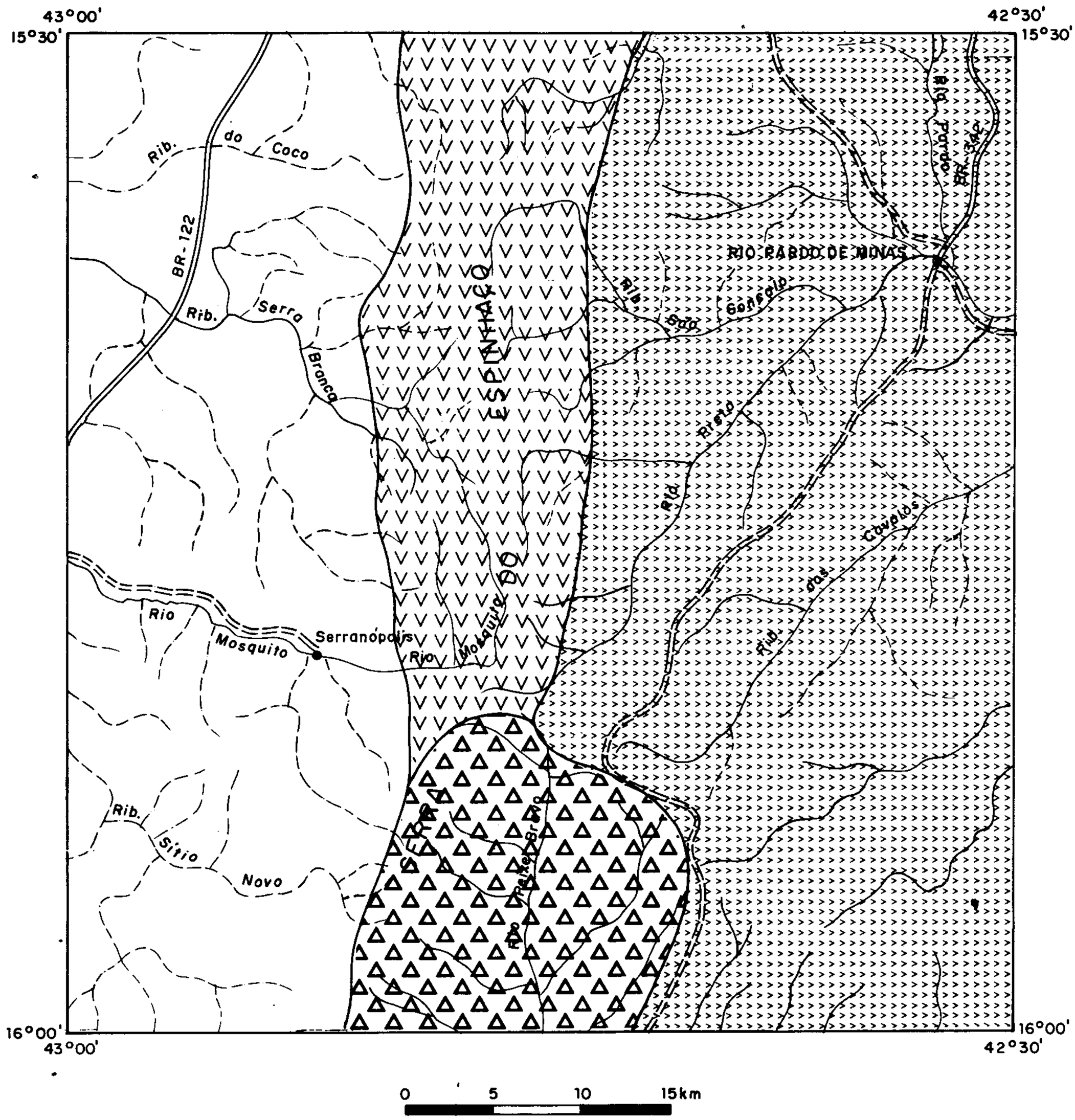


Figura 1.4 – Unidades geomorfológicas.

Pediplano Porteirinha-Monte Azul

Dentro dos limites da folha, a Superfície de Pedimentação ou Pediplano Porteirinha - Monte Azul abrange o setor ocidental, a oeste da Serra do Espinhaço, em domínios da Associação Gnáissico-Migmatítica, com altitudes variáveis entre 550m a 600m. Apresenta um relevo suave desde o extremo-norte da área, nas cercanias do Poço D'Anta, até o córrego do Angical, quando na direção sul, há um incremento nas altitudes que podem ultrapassar os 800m.

A superfície de pedimentação Porteirinha - Monte Azul, é uma feição esculpida durante o Ciclo de Denudação Velhas (King, 1956, *in*: Drumond *et al.*, *op.cit*), por processos de degradação da superfície, com aplainamento do relevo, que em alguns pontos, ocasionou acúmulo de material detrítico indo formar depósitos atualmente inconsolidados. Estas ocorrências constituem extensas coberturas indiferenciadas, geralmente lateritizadas, em cotas de 450m a 550m e espessuras que podem alcançar algumas dezenas de metros.

No pediplano ocorrem, embora em número reduzido, pequenos morros isolados (*inselbergs*) de até 30m de altura, constituídos por gnaisses onde podem ser observadas fraturas abertas, principalmente nas direções dominantes do fraturamento regional NE-SW e SE-NW, e subordinadamente nas direções N-S e E-W.

Serra do Espinhaço

É o divisor natural das bacias do rio São Francisco e rio Pardo, além de ser o limite geopolítico entre os municípios de Porteirinha e Rio Pardo de Minas. Apresenta certa homogeneidade com cristas paralelas à direção NNW-SSE, com altitudes que oscilam de 790m a 1490m, e, não raros dobramentos E-W com eixos de dobras tendendo para N-S.

A Serra do Espinhaço é uma estrutura homoclinal holomórfica, com mergulhos para leste, que se apresenta amplamente fraturada. Por todo o corpo, denota-se alternância de estratos quartzíticos e quartzitos sericíticos, com níveis francamente argilosos. Sobre estes últimos, de melhor resistência à erosão, tem origem a drenagem longitudinal principal que, muitas vezes, secciona os estratos em direção ortogonal à serra, apresentando no todo um padrão dendrítico-retangular.

Ao sul, nas cercanias da nascente do córrego Pedra de Amolar até o extremo meridional da folha, a Serra do Espinhaço apresenta relevo francamente arrasado, em alguns pontos equiparando-se, na topografia, às áreas de ocorrência de rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica.

Platô do Alto Rio Pardo

Na região das cabeceiras do rio Pardo, observa-se uma extensa chapada correspondente ao Platô do Alto Rio Pardo, que se limita ao norte com a superfície aplainada de Caculé, através do divisor de águas das bacias hidrográficas do rio Pardo e do rio de Contas, e a oeste com a Serra do Espinhaço.

Distinguem-se três ciclos erosivos distintos na região do platô, dois deles com resquícios de pediplanização.

Na seqüência ascendente, aparecem no vale do rio Pardo, logo após a confluência com a superfície aplainada correlacionada ao Ciclo Soledade de Meunier (1961, *in*: Costa *et al.*, *op.cit.*), os estágios erosivos mais jovens correspondentes ao Ciclo Paraguaçu que, por sua extensão regional, caracterizam a forma de chapadão do platô. Também a cotas médias de 1.300m encontram-se vários restos da su-

perfície de aplainamento ligada ao Ciclo Sul-Americano (King, *op.cit.*).

A drenagem regional é constituída pelo rio Pardo e seus afluentes, com padrão subdendrítico.

Superfície Dissecada da Bacia do rio Peixe Bravo

Abrange uma pequena porção no extremo-sul da folha, no bordo oriental da Serra do Espinhaço, representada pela cabeceira do rio Peixe Bravo onde se denota um padrão de drenagem dendrítico-retangular muito adensado, controlado por lâminas quartzíticas intercaladas com níveis argilosos, que acarretam um aspecto talhado devido ao franco processo de ravinamento. Os interflúvios são representados por cristas quartzíticas íngremes resistentes, pertencentes ao Supergrupo Espinhaço. É justamente nesta porção da serra que há um nivelamento topográfico em relação ao Pediplano Porteirinha - Monte Azul e ao Platô do Alto Rio Pardo, com cotas entre 800m e 900m, nivelamento este desenvolvido em função de litologias menos resistentes pertencentes ao Supergrupo Espinhaço.

A figurá 1.5 mostra o mapa de declividades da área, caracterizando bem as unidades geomorfológicas acima citadas.

1.5 Vegetação e Solos

A vegetação da área é muito diversificada, indicando a elevada influência exercida pela altitude, clima e ação antrópica na sua formação. *A priori*, podem-se distinguir 4 tipos de vegetação: nativa, de reflorestamento, de pastagens e de culturas.

A vegetação nativa é, de um modo geral, muito sensível às mudanças das condições naturais. No setor ocidental, no Pediplano Porteirinha-Monte Azul, as condições reinantes (elevada radiação solar, pouca água de superfície, baixo índice pluviométrico, pouco solo e longos períodos de estiagem) são responsáveis pelo desenvolvimento de uma vegetação típica de caatinga. Nesta, as plantas são adaptadas a condições extremas, capazes de absorver muita água pelo sistema radicular e resguardá-la por longo período de tempo.

Como exemplo maior, destaca-se a família do cactus que ocorre na região principalmente em altitudes elevadas, a partir de 700m, e sobre rochas félsicas frescas (granitos, gnaisses, migmatitos e quartzitos), mesmo com ausência ou escassez de solo e húmus. Foram detectadas várias espécies de diferentes formas, tamanhos, cores e configuração de espinhos.

Na vegetação da caatinga branda, podem-se verificar certos padrões, não raro com arbustos de pequeno porte e caules retorcidos. Dentre os espécimes mais frequentes deste ecossistema, destacam-se: umbuzeiro, juazeiro, cagaiteira e mandacaru, além das imponentes barrigudas (cavallinessia) de grande porte.

No setor oriental, a vegetação, típica de cerrado, adota um padrão francamente distinto do apresentado pela caatinga branda do Pediplano Porteirinha-Monte Azul. Nesse setor, o clima é mais ameno, com índice pluviométrico mais elevado e rios perenes. Isto favorece o desenvolvimento de uma vegetação exuberante onde se pode destacar o ipê, o pequizeiro, a braúna e a aroeira.

Fazendo parte da paisagem do setor oriental, principalmente onde ocorrem as coberturas indiferenciadas, existem grandes áreas reflorestadas com eucalipto, sendo a madeira destinada à obtenção de carvão vegetal para a indústria siderúrgica.

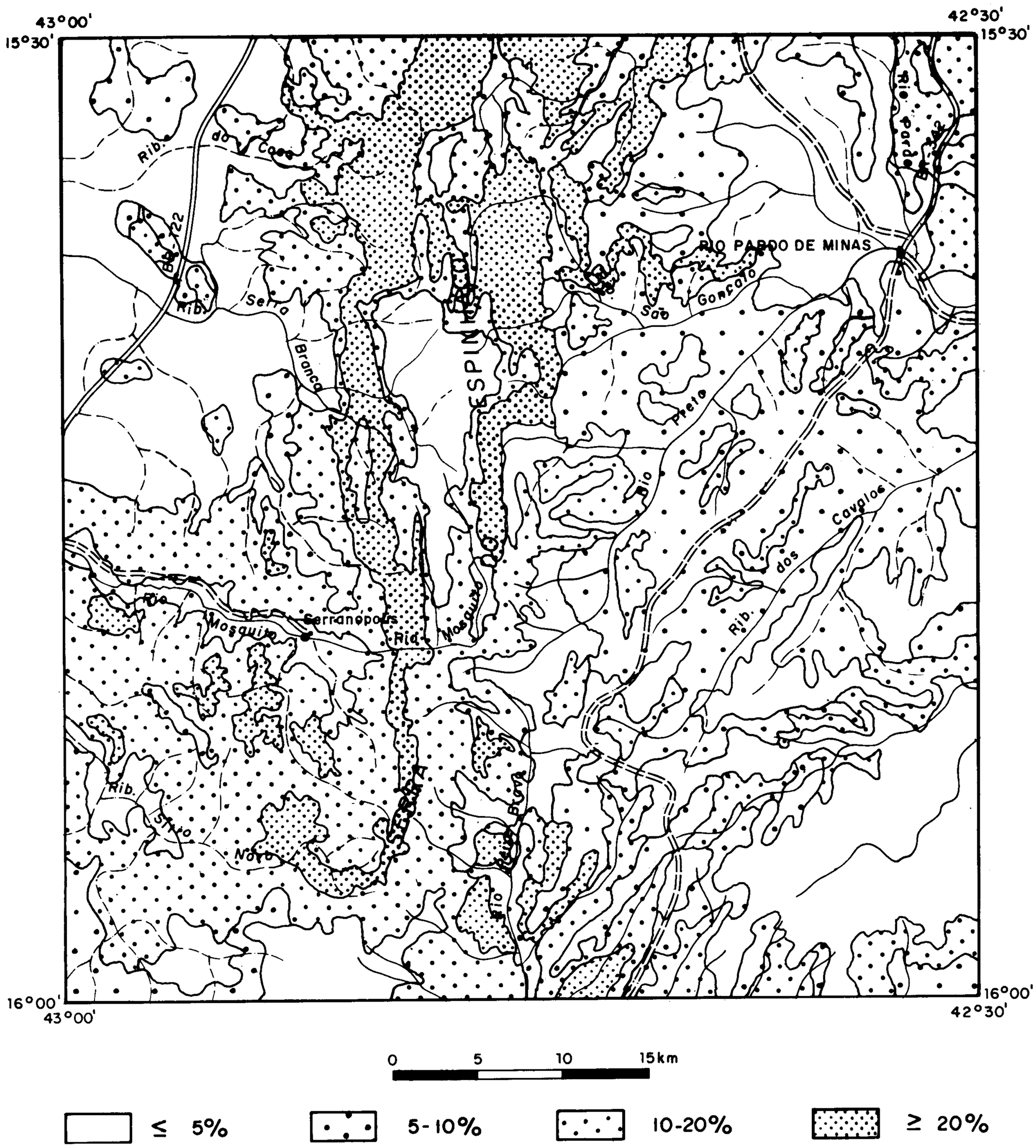


Figura 1.5 – Mapa de declividades.

No tocante aos solos, observa-se um predomínio de solos relacionados com o cerrado, tais como latossolos vermelho-escuro e vermelho-amarelado, ambos com textura argilosa. Outros tipos ocorrem associados com as rochas resistentes da Serra do Espinhaço, entre os quais os litossolos e os afloramentos de rocha.

1.6 Aspectos Hidrológicos

A rede hidrográfica da área é relativamente densa, notadamente na sua terça parte ocidental correspondente ao Pediplano Porteirinha-Monte Azul. A Serra do Espinhaço, anteparo morfológico regional que corta a área na direção norte-sul, constitui um importante divisor de águas das bacias do São Francisco, que correm para oeste, e do Jequitinhonha e Pardo, que se dirigem para leste.

Na Folha Rio Pardo de Minas, observa-se uma pequena área localizada na Serra do Espinhaço, centrada pelas coordenadas 15°50' de latitude sul e 42°47' de longitude oeste de Greenwich, comum às nascentes de rios pertencentes às três bacias acima.

Pertencem à Bacia do São Francisco todos os rios a oeste da Serra do Espinhaço, dos quais, devido a fatores climáticos, somente dois, os rios Mosquito e Serra Branca, têm regime fluvial perene. Estes rios são os mais importantes, não só pela área que ocupam suas bacias (35% do total), mas também pelo papel sócio-econômico que exercem.

O rio Mosquito é o mais importante rio da Bacia do São Francisco na área. Ele tem origem no lado oriental da Serra do Espinhaço, corta esta transversalmente e toma a direção oeste.

De um modo geral, os rios do setor ocidental apresentam um padrão de drenagem dendrítico, resultante de seu modelamento sobre rochas granito-gnáissicas e migmatíticas. Eles estão, em grande parte, estruturados segundo direções preferenciais de fraturas resultantes de esforços tectônicos orientados de leste para oeste.

Na área ocupada pela bacia do rio Pardo cerca de 90% da drenagem é perene e, dentre os rios mais representativos, destacam-se, além do Pardo, os rios Preto e Traçadal e os ribeirões dos Cavalos, São Gonçalo e Santana.

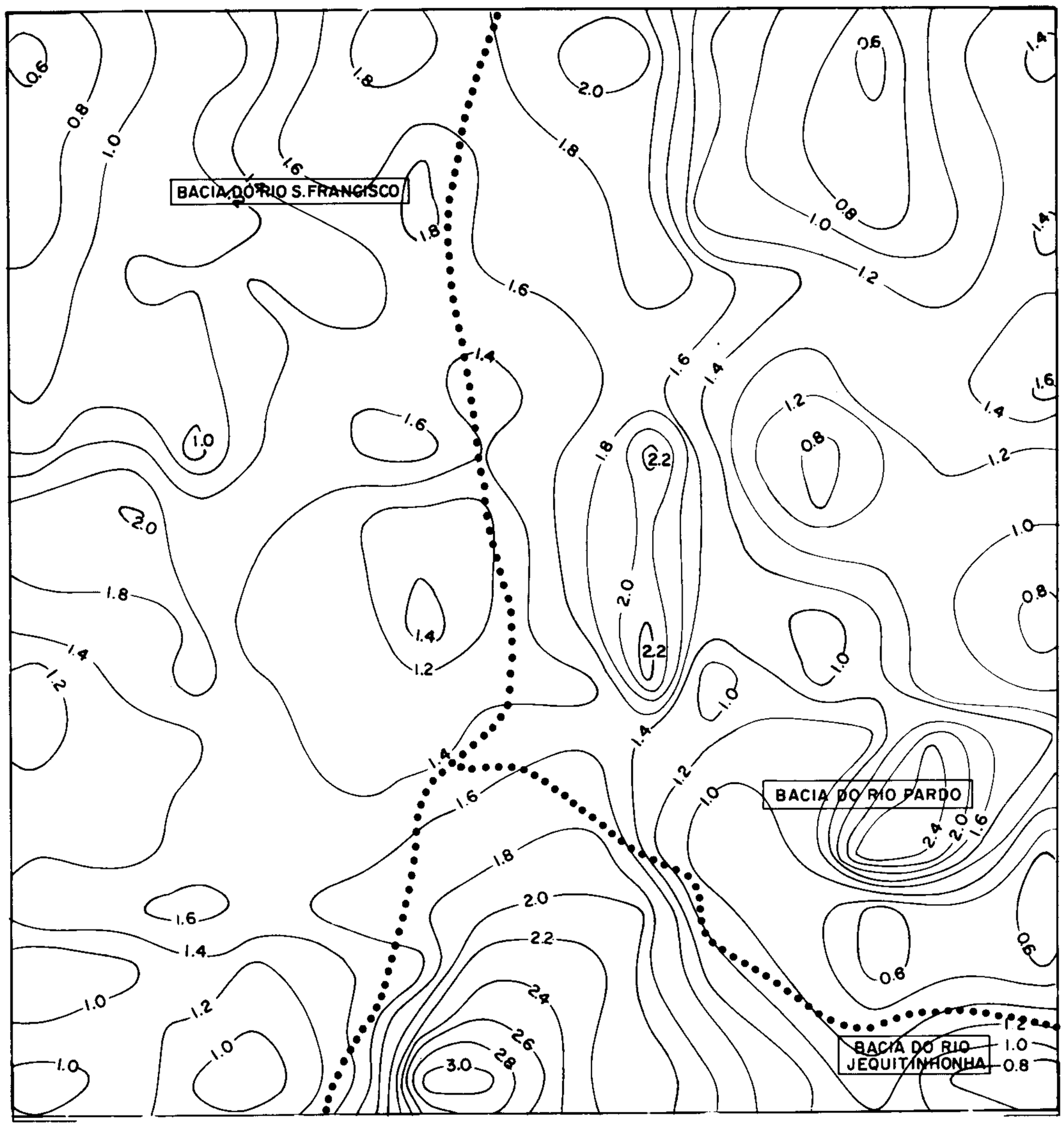
Predomina, no setor oriental, um padrão de drenagem do tipo dendrítico-retangular, e os cursos dos principais rios dessa bacia apresentam direção preferencial segundo SW-NE, mostrando talvegues mais profundos que os rios da Bacia do rio São Francisco.

A área da bacia do rio Jequitinhonha na folha está representada principalmente pela subbacia do rio Peixe Bravo que corre no sentido sul. Além do rio Peixe Bravo, merecem menção os córregos Carrascão e dos Porcos, mostrando cursos com direção preferencial segundo NE-SW.

Na figura 1.6 são mostradas a rede e a densidade de drenagem, e a divisão de bacias hidrográficas. Verifica-se que na parte ocidental, onde afloram rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica, a drenagem é praticamente intermitente, salvo os rios Mosquito e Serra Branca, indicando áreas com fraca permeabilidade, condizente com a litologia dessa associação. Na parte oriental, onde ocorrem rochas do Supergrupo Espinhaço, a drenagem é, em grande parte, permanente.

1.7 A Carta Hidrogeológica

Na carta hidrogeológica anexa, a título de simplificação, procurou-se representar o estado físico da água subterrânea dentro de



Drenagem perene

Drenagem intermitente

Divisória de bacias hidrográficas

1.2 Linha de isodensidade de drenagem

Figura 1.6 – Mapa de densidade de drenagem (km/km^2).

sua moldura geológica. Em essência, a carta apresenta um agrupamento das características geológicas mais importantes do ponto de vista das demandas de utilização e de proteção da água subterrânea.

O cartograma é constituído por um mapa principal na escala 1:100.000 e dois mapas de encarte na escala 1:250.000. No de maior escala, consta uma síntese dos dados geológicos interpretados do ponto de vista hidrogeológico, acrescida de dados complementares relativos às águas subterrâneas. Obteve-se assim, uma representação dos principais temas relativos à estrutura, usos e potencialidades dos aqüíferos (sistemas, importância hidrogeológica e produtividade). Constam também do mapa, os dados geológicos de base (litologia, estratigrafia e estrutura), dados hidrográficos e hidrológicos, pontos d'água e dados sobre a hidrodinâmica dos aquíferos.

Nos mapas de encarte, se fez constar informações relativas à qualidade das águas (salinidade, tipos químicos, etc.), à vulnerabilidade dos aqüíferos à poluição e ao relacionamento dos sistemas aquíferos com os condicionamentos de superfície.

Na composição dos mapas, procurou-se atender não só ao setor técnico especializado, mas também ao usuário não especializado, fazendo-se constar um maior número de informações práticas (explotabilidade, profundidades de captação, usos da água, produtividades, etc.) sem comprometer a representação cartográfica.

A metodologia de elaboração consiste, em essência, na caracterização hidrogeológica das várias litologias cartografadas, tendo como suporte de interpretação, além das estruturas geológicas, dados sobre a ocorrência (tipo, extensão, profundidade e permeabilidade, vazões dos poços, tipo de fluxo, etc.) e qualidade das águas subterrâneas, além de outras informações influentes na formação, desenvolvimento e conservação dos aquíferos (declividade do terreno, solo, vegetação, clima, grau de aproveitamento do solo, etc.).

O mapa principal apresenta, por superposição de símbolos, ornamentos e cores, além de características físicas (níveis de água nos poços, vazões, etc.) e químicas (isolíneas de salinidade) das águas subterrâneas, uma classificação dos aqüíferos segundo três aspectos:

- tipos e características dos sistemas aqüíferos;
- importância hidrogeológica relativa local;
- produtividade dos aqüíferos.

1.7.1 Os Sistemas Aqüíferos

O sistema aqüífero é caracterizado por um conjunto de elementos físicos (transmissividade, permeabilidade, etc.) e geométricos (forma, limites, etc.), via de regra, sujeitos a determinadas ações externas ao sistema (bombeamento, recarga artificial, drenagem, etc.). A definição do sistema foi feita tendo por base os critérios de estrutura, do modo e da ordem de grandeza da permeabilidade, e as condições de superfície passíveis de interferir no comportamento das águas subterrâneas.

Além dos elementos retromencionados, indicam-se também o tipo do aqüífero (livre, confinado ou semiconfinado) e a melhor maneira de aproveitamento do sistema (poço tubular, poço escavado, poço radial, etc.).

A partir da definição da estrutura dos sistemas aqüíferos e seus limites, baseada no comportamento hidrogeológico das litologias predominantes convenientemente agrupadas e do arcabouço estrutural da área, obteve-se uma representação hidrolitológica onde cada

unidade é constituída por um sistema mais ou menos complexo, com um ou mais níveis aqüíferos associados a níveis semipermeáveis e/ou impermeáveis.

1.7.2 Classes de Produtividade dos Sistemas Aquíferos

A produtividade dos aquíferos é representada em faixas de valores da capacidade específica (l/s/m). Na representação pontual, a dimensão do símbolo do poço varia de acordo com a vazão do mesmo, definida para rebaixamento do nível d'água de 25m.

A ordem de grandeza das classes de produtividade dos sistemas aqüíferos foi fixada segundo os limites abaixo:

. inferior a 0,033 l/s/m;
. entre 0,033 e 0,11 l/s/m;
. entre 0,11 e 0,44 l/s/m;
. entre 0,44 e 1,11 l/s/m;
. superior a 1,11 l/s/m.

1.7.3 Importância Hidrogeológica Relativa Local

A importância hidrogeológica relativa local (grande, mediana, pequena, muito pequena e negligenciável) tem conceituação subjetiva e a definição das áreas foi feita mediante um confronto equilibrado entre a disponibilidade, a necessidade e a qualidade (salinidade, contaminação) da água e explotabilidade (possibilidades técnicas e econômicas de captação) do aquífero.

1.7.4 Tipos Químicos de Água

Na área, os tipos químicos das águas subterrâneas foram determinados mediante a interpretação de resultados das análises químicas, através do diagrama triangular de Piper.

Em mapa na escala 1:250.000, impresso na margem da carta, são individualizadas as áreas de ocorrência de mesmo tipo químico, identificadas por duas letras minúsculas (ex: bc - bicarbonatada de cálcio). No mesmo mapa, são apresentados também, além das isolíneas de TSD (totais de sólidos dissolvidos), dados individuais de qualidade de água, tais como: dureza total, índice de troca de base (itb), taxa de adsorção de sódio (SAR) e algumas relações iônicas.

1.7.5 Condições das Áreas de Exposição dos Aqüíferos

As relações mais importantes das águas subterrâneas com o meio exterior que possam exercer modificações substanciais no desenvolvimento e conservação dos aqüíferos, estão representadas em mapa de encarte na escala 1:250.000. Não se pretendeu explorar o assunto em profundidade, mas sim fornecer informações básicas importantes na elaboração de política de aproveitamento e proteção das águas subterrâneas.

Na distinção dos tipos de relacionamento foi levado em conta, entre outros, os fatores seguintes: relevo, níveis de urbanização/aproveitamento do solo, cobertura vegetal/desmata- mento, inundações (naturais ou provocadas), graus de consolidação da rocha e de fissuração/carstificação, existência de mineração, nível de industrialização, etc.

Cada uma dessas situações é identificada em mapa através de simbologia própria.

1.7.6 Vulnerabilidade dos Aqüíferos à Poluição

A vulnerabilidade dos aqüíferos à contaminação é a maior ou menor facilidade dos mes-

mos serem afetados por carga contaminante. Ela é controlada principalmente pela inacessibilidade hidráulica da zona saturada e pela capacidade de atenuação da zona não saturada.

Por falta de informações mais precisas, a avaliação da vulnerabilidade dos aqüíferos na área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, foi feita levando-se em conta o tipo de ocorrência das águas subterrâneas (surgentes, confinadas, semiconfinadas e não confinadas), as características dos estratos da zona não saturada (tamanho dos grãos, grau de consolidação, caráter litológico, grau de fissuração, condutividade hidráulica vertical, etc.) e a profundidade do aquífero. Cada um desses parâmetros é identificado por um fator numérico que varia de 0-1, conforme estabelecido pelo "Sistema DIOS para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aqüífero" (Foster, 1987). O produto dos três índices obtidos fornece um valor que levado à escala abaixo indica o grau de vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

Até o índice 0,1 o risco de contaminação é mínimo, o que acontece onde não há fluxo; entre 0,1 e 0,4 o risco de contaminação poderá existir desde que haja uma fonte de poluição persistente durante um tempo relativamente longo. A partir do índice 0,4 a probabilidade do aqüífero ser contaminado está intimamente relacionada ao tipo , tamanho e persistência da carga contaminante, sendo tanto maior quanto maior for o índice.

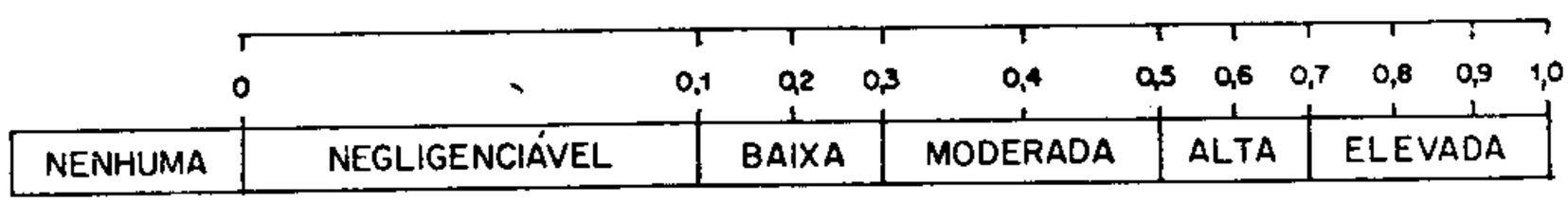
1.7.7 Informações Cartográficas Adicionais

Os dados adicionais aqui referidos dizem respeito àqueles utilizados para representação de informações pontuais relativas à hidrogeologia, qualidade química e uso da água.

Na hidrogeologia, esses dados compreendem a simbologia de pontos d'água, as suas características dimensionais e hidrodinâmicas, a simbologia de fratura com possibilidade de ocorrência de água subterrânea e o limite das áreas de importância hidrogeológica relativa local.

Sobre a qualidade química, foram traçadas curvas de igual resíduo seco, indicada a simbologia da concentração de sais e também os valores dos principais parâmetros de qualidade de água.

O uso da água está indicado no mapa por uma letra maiúscula em vermelho, localizada ao lado do símbolo do ponto d'água, sendo H para consumo humano, G para consumo animal, I para irrigação e F para abastecimeto industrial.



VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DO AQÜÍFERO

2

Geologia

2.1 Generalidades

A geologia apresentada neste capítulo foi compilada dos relatórios dos projetos Leste do Tocantins/Oeste do Rio São Francisco - LETOS (DNPM/CPRM, 1976, escala 1:250.000) para a parte oriental, e Porteirinha-Monte Azul (DNPM/CPRM, 1980, escala 1:50.000) para a parte ocidental da folha. A integração dos mapas desses dois relatórios, complementada por observações realizadas durante a etapa de campo, permitiu elaborar o mapa geológico da área, objeto do presente estudo, utilizado como base na conceituação hidrogeológica e do mapa anexo.

A área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, com aproximadamente 3.000km^2, é constituída em grande parte (cerca de 58%) por rochas da Associação Gnáissica-Migmatítica e do Supergrupo Espinhaço. Os 42% restantes dizem respeito às áreas representadas por rochas do Grupo Macaúbas, pelas coberturas indiferenciadas do Terciário, do Terciário-Quaternário e do Quaternário, e depósitos recentes.

2.2 Rochas Cristalinas e Cristalofilianas

Caracterizando rochas cristalinas e cristalofilianas da área estudada, as rochas do embasamento abrangem cerca de 58% em superfície e estão representadas pelas seguintes unidades geológicas:

a) Associação Gnáissico-Migmatítica - constituída por rochas gnáissico-migmatíticas e granitóides;

b) Supergrupo Espinhaço - compreendendo quartzitos, xistos e metavulcânicas.

Em termos de representatividade por área de ocorrência, sobressaem a Associação Gnáissico-Migmatítica e o Supergrupo Espinhaço.

2.2.1 Associação Gnáissico-Migmatítica

Esta denominação engloba o conjunto de rochas gnáissicas e migmatíticas diversas, granitóides e corpos básicos e ultrabásicos de complexos basais.

Segundo Braun (1974), o termo "Associação" designa o conjunto de unidades litológicas com alguma afinidade genética e composicional, como por exemplo, as unidades estudadas no Projeto Porteirinha-Monte Azul (*op.cit.*) e reunidas sob esta denominação.

Granitóides (APlgt)

As unidades granitóides pertinentes à Folha Rio Pardo de Minas, constituem-se predominantemente de rochas de composição mineral algo homogênea, tonalítica a granodiorítica, de aspecto isotrópico e/ou com desenvolvimento de foliação cataclástica e, subordinadamente, rochas migmatíticas de estruturas diversas e gnaisses bandados. Comumente, estas rochas granitóides encontram-se associadas a zonas de milonitos e filonitos que delineiam os principais traços estruturais relativos às zonas granitóides.

As configurações geomorfológicas dos granitóides, expressam-se por relevos colinosos na maior parte de sua extensão, à exceção do sul da Fazenda dos Forges, onde conformações serranas passam a dominar com cristas rochosas proeminentes. Em alguns locais, devido aos termos mais isotrópicos, observam-se colinas arredondadas, tipo "pão de açúcar", com altitudes relativamente uniformes (na ordem de 750m com cotas máximas em torno de 850m).

Dentre os litótipos desta unidade granitóide, há uma predominância de rochas de coloração rósea a acinzentada e de granulometria média a grosseira. Evidentemente, não se trata de um corpo uniforme e homogêneo, uma vez que em todo o seu domínio ocorrem inúmeras variações caracterizadas pela presença de gnaisses bandados, anfibolitos e migmatitos de estruturas diversas, associadas às próprias variações petrográficas dos termos granitóides *stritu sensu*.

O contato entre as unidades granitóides e as demais associações gnáissico-migmatíticas, em sua maior parte, se dá através de uma zona de transição. Porém, algumas vezes, este contato é caracterizado por falhas.

Gnaisses e Migmatitos Indivisos (APlgn/mi)

Trata-se de uma associação de termos gnáissicos e migmatíticos, litologicamente indivisíveis, e granitóides.

Esse conjunto de rochas abrange, aproximadamente, um terço da área estudada, a partir do meridiano 42°50' para oeste. É de difícil subdivisão devido ao fato de apresentar-se, em grande parte, intempericamente arrasada, com coberturas do manto de alteração atingindo até 20m. Por essa razão, há uma escassez de afloramentos, sendo estes, quando ocorrem, representados por pequenos lajedos, muitas vezes arredondados, restritos e isolados.

Os migmatitos caracterizam-se por estruturas dobradas e estromáticas com grande assimilação granítica. O litótipo predominante desta unidade é o biotitagnaisse (migmatizado ou não), podendo-se observar também gnaisses bandados, migmatitos de estruturas diver-

sas, leucognaisses, biotita-anfibólio-gnaisse à titanita, rochas de filiação básica metamorfizadas, granitóides diversos e rochas cataclásticas.

Ao longo do ribeirão Sítio Novo, afloram migmatitos que atestam esforços cataclásticos, observados nos litótipos onde se denotam enclaves anfibolíticos imersos em grande aporte granítico.

Na região de Lagoa Grande, afloram biotita-anfibóliognaisses a titanita sob a conformação de um corpo alongado segundo N-S. São gnaisses de granulometria média e cor cinza-escuro quando inalterados, gradando para tons mais claros nos exemplares intemperizados. Os minerais principais são feldspato, anfibólio, biotita, quartzo e epidoto.

No bordo meridional da Serra do Angical, ao longo do trecho da estrada Porteirinha-Serranópolis, ocorrem metabasitos associados à unidade de gnaisses bandados de Serranópolis. São rochas de coloração verde-oliva, que apresentam núcleos monominerálicos de piroxênio. Próximo a Porteirinha (estação de tratamento de água da COPASA) observam-se também níveis anfibolíticos intercalados em gnaisses.

Saindo dos limites urbanos de Porteirinha, às margens da rodovia Porteirinha-Mato Verde (BR-122), notam-se migmatitos estromáticos típicos e, estruturas dobradas de forma subordinada. Essas rochas dominam todo o bordo ocidental da serra do Angical. Já nos bordos setentrionais desta, junto aos porfiroblásticos de Serra Branca, constatou-se grande ocorrência de termos granitóides de granulometria média a grosseira.

Durante o percurso Porteirinha-Mato Verde (BR-122), verifica-se um maior grau de arrasamento e recobertura por depósitos pleistocênicos diversos. Esta faixa está posicionada segundo NNW, balizada pelos granitóides do Serrado a leste e pelos porfiroblastos de Serra Branca a oeste. Ao norte do rio do Coco, sua área de distribuição sofre ligeira ampliação para noroeste, em direção a Fazenda Pajéu, atingindo os limites dos granitóides da região de Pai-Pedro. Toda essa região arrasada caracteriza-se pelo aplainamento do relevo, culminando na Superfície de Pedimentação Porteirinha-Monte Azul. O acúmulo de detritos sobre essas litologias mascara os lineamentos superpostos às litologias pré-cambrianas. As altitudes médias variam de 550m a 600m, correspondendo ao Ciclo de Denudação Velhas (King, *op.cit.*). Também é notória a presença de zonas mais granitizadas, perfazendo um termo mais granitóide de granulação grosseira, que induz uma influência generalizada do evento porfiroblástico. Porém à medida que se aproxima da Serra do Espinhaço, observa-se maior freqüência de migmatitos estromáticos com grandes frações félsicas pegmatóides. Esses corpos migmatíticos possuem melanossoma à base de biotitagnaisse e níveis anfibolíticos.

2.2.2 Supergrupo Espinhaço

No Supergrupo Espinhaço, as rochas estão condicionadas e distribuídas pela grande unidade morfológica denominada regionalmente por Serra Geral ou do Espinhaço.

A Serra do Espinhaço destaca-se na região como um conjunto de cristas quartzíticas, cujas cotas médias situam-se em torno dos 1.200m. O notório contraste morfológico determinado em toda sua extensão, está perfeitamente subordinado às diferenças litológicas que compõem esse conjunto morfoestrutural. Assim, a erosão diferencial entre granitos, gnaisses e migmatitos da associação gnáissico-migmatítica e seus quartzitos propiciou a conformação

em escarpas e encostas abruptas no seu bordo ocidental, que determinam a manutenção das paisagens mais marcantes da Folha Rio Pardo de Minas.

As maiores altitudes da folha são encontradas, aproximadamente, na região delimitada pelos meridianos 42°44' e 42°50' e paralelos 15°33' e 15°45', com cotas entre 1.250m e 1.550m. À medida em que se desloca para o sul, as cotas médias tendem a diminuir, até o ponto em que a Serra do Espinhaço chega a se nivelar topograficamente com a área abrangida pelas rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica.

Por toda a extensão da serra, vários cursos d'água correm transversalmente aos estratos, sendo que a drenagem do lado ocidental contribui para o rio Gorutuba, afluente da margem direita do rio São Francisco. Em quase todos os cursos que perfazem o sistema de drenagem da Serra Geral, é grande o número de cachoeiras (principalmente no bordo ocidental), dentre as quais se destacam cachoeira do Serrado (barragem do rio Serra Branca) e cachoeira do Talhado (barragem da CEMIG). Também são marcantes as gargantas e *canyons* que denotam rigorosos desníveis, como exemplo, os *canyons* do rio Mosquito que constituem-se em belas paisagens.

Quase todos os cursos têm suas nascentes em vales ortoclinais ao conjunto estrutural da serra, dominados por rochas menos resistentes da sequência.

Metavulcânicas (Pmv)

Esta unidade constitui-se de metaconglomerados, comumente cataclásticos, xistos e filitos, quartzitos, vulcano-clásticos (tufos e aglomerados vulcânicos) e rochas vulcânicas ácidas a intermediárias em leitos maciços.

Schobbenhaus (1967, *in*: Drumond *et al.*, *op.cit.*) tentou uma correlação entre o Grupo Lavras e algumas formações da região de Ibitiara (BA). As vulcânicas ácidas a intermediárias subjacentes a essas formações, foram mais tarde denominadas Complexo Rio dos Remédios (1970), e correlacionadas com o Grupo Itacolomi, por esse autor.

Na Folha Rio Pardo de Minas, esta unidade ocorre em estreita faixa, posicionando-se segundo NNE. Próximo ao córrego Senhoral está reduzida a ilhas esparsas sobre granitóides da Associação Gnáissico-Migmatítica. Essa faixa apresenta várias reentrâncias e recortes esculpidos pelo dissecamento dos vales isoclinais que recortam a serra.

Quartzitos (Pqt)

As rochas quartzíticas individualizadas nos projetos Porteirinha-Monte Azul (*op.cit.*) e LETOS (*op.cit.*), identificadas no presente estudo sob a sigla acima, foram reunidas em dois grupos: o primeiro na parte central da área e constituindo a Serra do Espinhaço, que engloba os quartzitos sericíticos e metapelitos associados; o segundo no canto nordeste da folha, notadamente da margem esquerda do rio Pardo para leste, onde ocorrem quartzitos micáceos e xistos diversos.

Os quartzitos puros e à sericita, e os quartzitos feldspáticos ocorrem na parte central da Serra do Espinhaço onde, localmente, também ocorrem quartzitos avermelhados à cloritóide em corpos descontínuos, dispostos segundo a direção N-S. Estruturas primárias preservadas, do tipo marcas de onda e estratificação cruzada, são comuns apenas nos quartzitos feldspáticos, sendo raramente encontradas nos demais. Essas rochas mergulham suavemente para leste e mostram intenso fraturamento subvertical.

Os quartzitos sericíticos e os metapelitos associados identificam um conjunto de rochas caracterizado pela alternância de litossomas quartzíticos ou à sericita, com litossomas pelíticos e quartzitos feldspáticos, facilmente perceptíveis em fotos aéreas devido à ação da erosão diferencial. Essas rochas ocorrem, via de regra, sempre em contato com as rochas da seqüência vulcano-sedimentar na borda ocidental da Serra do Espinhaço, exceto a partir da calha do rio Mosquito para o limite sul da área. Raramente apresentam estruturas primárias preservadas.

As rochas quartzíticas cartografadas no Projeto LETOS (*op.cit.*) no âmbito da Folha Rio Pardo de Minas, compreendem quartzitos micáceos, xistos diversos, ortoquartzitos, quartzitos diversos com intercalações de filitos, além de para e metaconglomerados polimictos que constituem a parte basal da sequência. Nessas rochas, a direção geral do acamamento situa-se entre N05°E e N20°E com mergulhos que variam de 30° a 65° para leste e sudeste. Mostram-se intensamente fraturadas, principalmente os quartzitos, com grande número de fraturas abertas.

Xistos (Pxt)

Sob a sigla Pxt foi englobado um conjunto de rochas cartografadas pelos projetos Porteirinha-Monte Azul (*op.cit.*) e LETOS (*op.cit.*) constituído de filitos, xistos, quartzitos, quartzitos finos (hematíticos ou não), metassiltitos e, localmente, filitos grafitosos. Ocorrem em contato com os quartzitos da Serra do Espinhaço a oeste, com os quartzitos do canto nordeste e com os paraconglomerados Macaúbas a leste, numa faixa aproximadamente norte-sul, recobertos em parte por coberturas terciário-quaternárias, notadamente no quadrante nordeste.

Comumente, são encontrados porfiroblastos de cloritóide sob a forma de pequenas ripas sem orientação definida, encaixados nos filitos. Intercaladas nesses filitos ocorrem camadas de quartzito cinzento, avermelhado por alteração, mal selecionado, freqüentemente feldspático e em alguns locais piritoso.

2.3 Rochas Sedimentares

Na Folha Rio Pardo de Minas, as rochas sedimentares estão representadas por rochas do Grupo Macaúbas, coberturas indiferenciadas e depósitos recentes.

Em termos de superfície, esses sedimentos ocupam cerca de 42% da área, ocorrendo principalmente a leste da Serra do Espinhaço.

2.3.1 Grupo Macaúbas

O Grupo Macaúbas, na área pesquisada, é representado por uma seqüência indivisa de paraconglomerados com níveis subordinados de quartzitos e filitos.

Sua distribuição se dá ao longo da zona pericratônica do São Francisco, sotoposta discordantemente, em contato de falhas, às unidades do Espinhaço Superior.

No quadrante sudeste da Folha Rio Pardo de Minas, o Grupo Macaúbas faz contato indefinido e encoberto com unidades do Supergrupo Espinhaço.

Paraconglomerados (PSpc)

O paraconglomerado típico, quando alterado, é uma rocha de coloração cinza ou amarela a avermelhada. Contém seixos de tamanhos variáveis, principalmente de quartzitos, quartzo leitoso, gnaisses, granitóides, diabásios, mármores dolomíticos e vulcanitos. Apresenta

foliação de fluxo bem pronunciada, tanto mais quanto maior a fração silto-pelítica.

Na bacia do rio Peixe Bravo, os paraconglomerados apresentam intercalações de minério de ferro. Esse minério constitui, desde o limite sul da folha em questão, extensas e pouco elevadas cristas sub-paralelas alinhadas segundo a direção NE. Nessa zona e seu prolongamento para sul, inclusive fora da área, ocorre um jazimento pesquisado pela Companhia Vale do Rio Doce. O minério é produto de enriquecimento supergênico de xistos hematíticos, e sua passagem para os diamictitos é gradacional.

2.3.2 Coberturas Indiferenciadas

Terciário (Tcd)

O Terciário é representado por coberturas detríticas areno-argilosas de coloração avermelhada contendo localmente níveis centimétricos a métricos de cascalho e, ainda, solos laterítico-ferruginosos e/ou manganesíferos.

Certas porções da área se mostram aplainadas pelos sedimentos detríticos arenosos, subnivelados nas cotas de 850-900m, representando zonas de agradação do Ciclo Sul-Americano de King (*op.cit.*), onde a paisagem mostra relevos de textura lisa e drenagens com padrão dendrítico. A vegetação dominante é do tipo cerrado ralo.

Terciário-Quaternário (TQci)

Estes sedimentos ocorrem capeando rochas do Supergrupo Espinhaço (xistos e quartzitos) e do Grupo Macaúbas (metadiamictitos). Ocorrem sob a forma de uma cobertura detrítico-laterítica, predominantemente areno-argilosa, de granulação variada, coloração avermelhada a marrom-avermelhada escura.

Em alguns locais, pode-se observar recobrimentos de cascalho subarredondado, com dimensões milimétricas a decimétricas.

Quaternário (Qco)

Esse período se manifesta pela mobilização e retrabalhamento de sedimentos detríticos diversos (conglomeráticos, arenosos e sílticos), solos imaturos e restos de canga, todos com ampla distribuição na área do Projeto Porteirinha-Monte Azul e na área estudada. Ocorrem em pequenas manchas entre o rio Serra Branca e o ribeirão do Coco, do meridiano 42°54' para oeste, e também sobre os quartzitos da Serra do Espinhaço, do paralelo 15°42' para sul.

Basicamente, esses sedimentos são constituídos de material detrítico arenoso a areno-argiloso, coloração amarelo- avermelhado, mostrando grãos subarredondados e mal selecionados, que evidenciam condições de transporte curto. Sua espessura é muito variável, podendo atingir até 20m.

2.3.3 Aluvião (Qal)

Na área delimitada pela Folha Rio Pardo de Minas, os principais depósitos aluviais se referem aos rios Serra Branca e Mosquito e aos ribeirões do Coco, Sítio Novo e Jurema, na porção ocidental. No setor oriental, esses depósitos dizem respeito aos rios Pardo, Preto, Água Boa e ao ribeirão dos Cavalos, além de seus principais afluentes.

De um modo geral, esses depósitos são constituídos de sedimentos inconsolidados, algo detríticos, de natureza arenosa, areno-argilosa e argilo-síltica e, localmente, podem apresentar desde seixos até matacões, além

de leitos de cascalhos individualizados na massa arenosa.

A espessura desses depósitos é muito variável, podendo ir de poucos centímetros até dezenas de metros como ocorre na aluvião do ribeirão São Camilo, afluente esquerdo do rio Preto, e na confluência dos rios Traçadal e Pardo. No primeiro caso foi cadastrado um poço escavado que atravessou 23m de aluvião e no segundo, durante a etapa de campo, constatou-se espessuras naquele local de até 20m. A largura também é muito variável, indo de alguns metros a no máximo 1.000m.

2.4 Tectônica

2.4.1 Introdução

A Folha Rio Pardo de Minas localiza-se na zona marginal do Cráton do São Franciso, na denominada Faixa Araçuaí (Almeida, 1977), cinturão dobrado de idade brasiliana que limita aquela zona estável em seu bordo oriental. Portanto, sua área é marcada por evidente deformação tangencial de caráter compressional, com esforços dirigidos no sentido geral leste-oeste, caracterizado por deformação de estilo *fold-thrust*, que justapõe rochas arqueanas do embasamento cristalino, de facies anfibolito, com supracrustais de idades diversas em facies xisto verde, como por exemplo, seqüências metavulcano- sedimentares correlacionáveis ao *greestone belt* Rio das Velhas, arqueano e supracrustais dominantemente clásticas do Grupo Macaúbas e Supergrupo Espinhaço, proterozóicos. Formações superficiais não deformadas, terciárias a quaternárias, recobrem amplamente todas as sequências pré-cambrianas.

2.4.2 Dados Estruturais

Os dados estruturais existentes e aqui apresentados, foram obtidos principalmente, do Projeto Porteirinha-Monte Azul (Drumond *et al., op.cit.*) e Projeto LETOS (Costa *et al., op.cit.*). A interpretação de aerofotos (1:60.000), de imagens de satélite (1:100.000) e de radar (1:100.000), além de algumas observações de campo, foram trabalhos complementares importantes, que aliados a estudos especializados de outros autores, na área e adjacências, permitiram esboçar para a folha, a interpretação que se segue, voltada principalmente para análise dos sistemas de fraturas nela determinadas.

Em escala regional, a observação visual dos principais traços estruturais da folha, permite compartimentá-la em dois domínios estruturais bem distintos: o oriental marcado por notáveis lineamentos de direção preferencial N-S e o ocidental, domínio de rochas do embasamento gnáissico, onde os principais lineamentos têm direções preferenciais segundo NNE-SSW. Um outro conjunto de lineamentos importantes posiciona-se segundo NW-SE e superpõe-se indiscriminadamente aos dois domínios descritos. Alguns eixos de dobramentos antiformais e sinformais sucessivos foram registrados no domínio ocidental, na porção centro-norte da folha, com *trends* N-S e NNW-SSE e caimentos em geral suaves para sul.

Em escala mesoscópica, a estrutura mais notável e de distribuição regional, é uma foliação de caráter milonítico, refletida em geral, em um bandamento composicional nos gnaisses do embasamento. Nestes são frequentes as dobras intrafoliais (Drummond *et al., op.cit.*) e uma xistosidade em quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Esta foliação tem atitudes médias de direções NE-SW e mergulhos medianos para SE no domínio oriental e direções N-S,

com mergulhos medianos a fortes, também para SE, no domínio ocidental, onde são notáveis os lineamentos de mesmo *trend* estrutural. No domínio de quartzitos do Supergrupo Espinhaço é comum o desenvolvimento de uma clivagem de direção N-S com mergulhos fracos para E.

Minidobras e mesodobras com eixos posicionados segundo as direções N-S e E-W são comuns no domínio ocidental. Estas são em geral, de deslizamento flexural, amplas e abertas (Drummond *et al.*, *op.cit.*). No domínio oriental, as minidobras dominantes são intrafoliais, preferencialmente do tipo isoclinal, deitadas a recumbentes, com planos axiais paralelos à foliação regional e eixos de direções muito variadas, dependendo da intensidade da deformação.

As fraturas identificadas na área, algumas das quais caracterizadas em trabalhos de campo, embora mostrando direções bastante diversificadas quando lançadas em diagrama de rosetas (figura 2.1), mostram tendências para a definição de dois sistemas preferenciais: um par conjugado de direções NE-SW/NW-SE e outro de direções N-S/E-W, parecendo ser o primeiro o mais proeminente. Ambos mostraram-se com características extensionais (juntas abertas) nas poucas observações de campo, fato que para uma generalização carece ainda de maior detalhamento *in situ*.

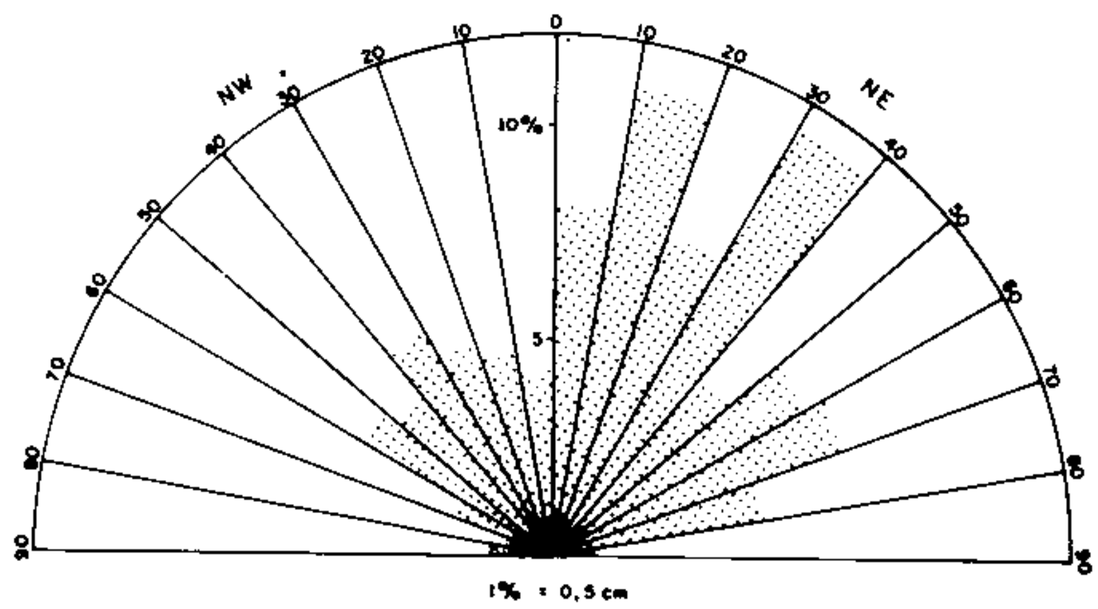


Figura 2.1 – Diagrama de rosetas do total de fraturas.

2.4.3 Interpretação dos Dados

A análise dos dados estruturais apresentados no item anterior, em consonância com estudos geológico-estruturais de vários autores em áreas vizinhas, permite que se faça as seguintes observações:

- A foliação milonítica de distribuição regional, que afeta tanto gnaisses do embasamento, quanto as supracrustais do Supergrupo Espinhaço, é resultante de processos de transposição. Isso se evidencia pelas freqüentes dobras intrafoliais encontradas nos gnaisses do embasamento, além do caráter lenticularizado de seu bandamento e estruturas em boudinagem. Para as rochas supracrustais a foliação é paralela ao acamamento So, em termos regionais (Almeida Abreu *et al.*, 1986; Uhlein *et al.*, 1986).

- Os lineamentos retilíneos de *trend* N-S, dominantes na porção oeste da folha, e mesmo os de *trend* NE-SW, desenvolvidos principalmente em sua metade oriental, embora tenham sido assinalados nos mapas geológicos (Drummond *et al.*, *op.cit.*; Costa *et al.*,*op.cit.*) como falhas indiscriminadas, poderiam ser aqui interpretados como zonas de cisalhamento dúcteis de empurrão. Isso se deve ao caráter milonítico das rochas ao longo dos mesmos; da presença generalizada, em caráter regional, de forte lineação de estiramento de direção E-W nestes planos; da assimetria de dobras intrafoliais indicando vergências para W; e do fato de alguns destes lineamentos colocarem em contato rochas de graus metamórficos e níveis crustais diferentes.

- Os lineamentos de direções preferenciais segundo NE-SW e NW-SE poderiam, pelo me-

nos em parte, ser interpretados como pares conjugados de cisalhamento, respectivamente com movimentos direcionais dextrais e sinistrais, tal como parece ocorrer na região de Monte Azul, ao norte da folha. Estes pares seriam resultantes do próprio processo evolutivo da deformação responsável pelos empurrões de leste para oeste (Kiang *et al.*, 1988). Entretanto, algumas fraturas com essas direções observadas no campo, mostraram-se com características extensionais.

- Algumas grandes dobras com eixos segundo NW-SE, ocorrentes principalmente na porção centro-norte da folha e no domínio de rochas do Supergrupo Espinhaço, poderiam ser interpretadas como dobras flexurais de cisalhamento relacionadas aos pares de cisalhamento conjugados acima referidos.

- Dobras flexurais em macro e mesoescala de eixos N-S, representam uma segunda fase de deformação.

2.4.4 Análise das Fraturas

Dos sistemas de fraturas identificados na área, merecem destaque os pares de direções NW-SE/NE-SW e N-S/E-W.

O primeiro sistema, em virtude de seu paralelismo com possíveis pares de cisalhamentos conjugados, poderia ser interpretado como um sistema de fraturas de cisalhamento. Isto é reforçado pela sua posição diagonal em relação aos eixos das dobras N-S e o alto valor do ângulo diedro 20°, superior a 60° do par (Hancock, 1985). Entretanto, como já mencionado no item anterior, observações de campo mostraram que algumas destas fraturas são abertas, o que permite as seguintes interpretações:

- coexistência de pares de juntas de idades distintas (extensionais e de cisalhamento), sendo as extensionais mais recentes;

- reativação, em regime extensional, de juntas de cisalhamento prexistentes;

- fraturas de cisalhamento e híbridas, relacionadas a zonas de cisalhamento conjugadas.

O segundo sistema, composto de juntas N-S e E-W mostrou-se também, em algumas observações de campo, como de juntas abertas, portanto com características extensionais, podendo ser classificadas como juntas longitudinais e normais, em relação aos eixos dos dobramentos regionais de *trend* N-S, justificando-se portanto o seu caráter (fraturas bc e ac de Sander). Esta característica é reforçada, em relação às juntas E-W, por diques não deformados de gabros preenchendo fraturas segundo essa direção, denotando extensão segundo a direção N-S.

2.4.5 Conclusões

A partir das interpretações possíveis em relação às diversas estruturas descritas no item 2.4.2 (Dados Estruturais), conclui-se, em relação aos sistemas de fraturas da área, que o par conjugado NE-SW/NW-SE deve representar fraturas de cisalhamento relacionadas ao final do processo evolutivo da deformação compressional dirigida de leste para oeste. Posteriormente foram reativadas em um regime de deformação extensional, conforme é sugerido por estudos de Karfunkel *et al.* (1981), na região de Araçuaí-Rubelita, imediatamente a sudeste da área, onde lineamentos estruturais com atitudes semelhantes, cortam coberturas terciárias.

O sistema de fraturas N-S/E-W deve relacionar-se a uma segunda fase de deformação, representada por amplas dobras antiformes e sinformes sucessivas, com eixos de direção geral N-S, sendo portanto de características extensionais (fraturas abertas), principalmente

as de direção E-W (fraturas ac de Sander).

Portanto, considerando-se a discussão acima, os melhores sítios de localização de fraturas abertas, situam-se em zonas de intersecção dos dois sistemas, que se posicionam ao longo das axiais de grandes dobras antiformais, onde também as fraturas longitudinais ao seu eixo (fraturas bc de Sander) são do tipo extensional.

Para complementar a análise estrutural da folha em questão, foram elaborados os mapas de densidade de fraturas (km/km2) e de intersecção de fraturas (número de fraturas/célula), que são mostrados nas figuras abaixo:

a) Mapa de densidade de fraturas indicando a distribuição das fraturas na área segundo três classes distintas (menor do que 0,5 km/km^2, entre 0,5 e 1,0km/km^2 e maior do que 1,0 km/km^2). Observa-se que a densidade de fraturas é maior na área correspondente à Serra do Espinhaço, constituída principalmente por rochas quartzíticas no setor ocidental, onde ocorrem rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica e também na área correspondente ao médio curso do rio Preto no setor oriental, onde ocorrem xistos do Supergrupo Espinhaço e paraconglomerados do Grupo Macaúbas (figura 2.2).

b) Mapa de intersecção de fraturas, em células com área de 16km2, que sugere os locais mais favoráveis para locação de poços tubulares em função do número de intersecções existentes em cada célula, segundo as classes menor do que 2, entre 2 e 4, entre 4 e 6 e maior do que 6 intersecções por célula (figura 2.3).

As coberturas indiferenciadas presentes na área impedem uma melhor identificação das fraturas e suas possíveis intersecções, notadamente no setor oriental, onde ocupam consideráveis áreas.

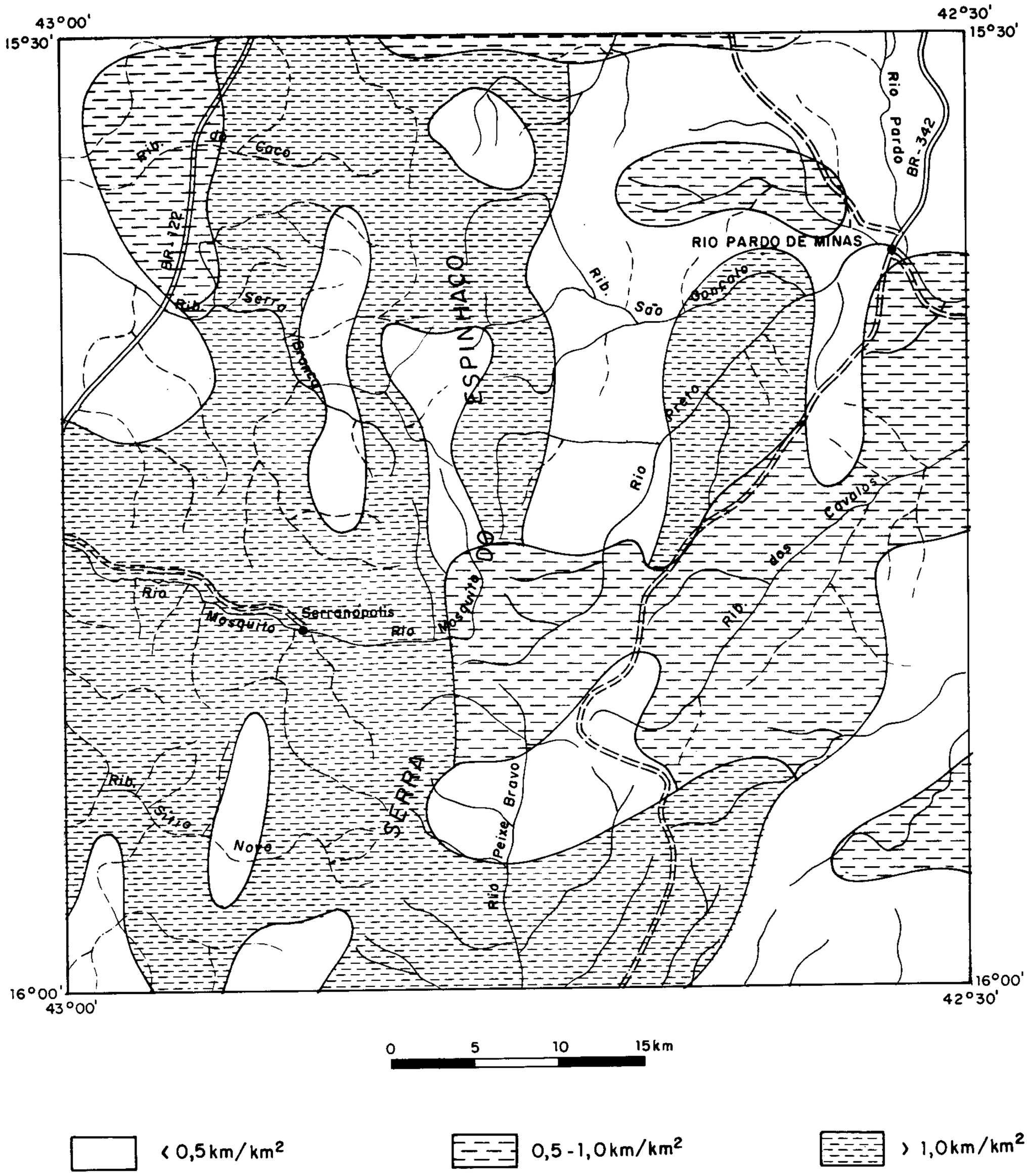


Figura 2.2 – Mapa de densidade de fraturas.

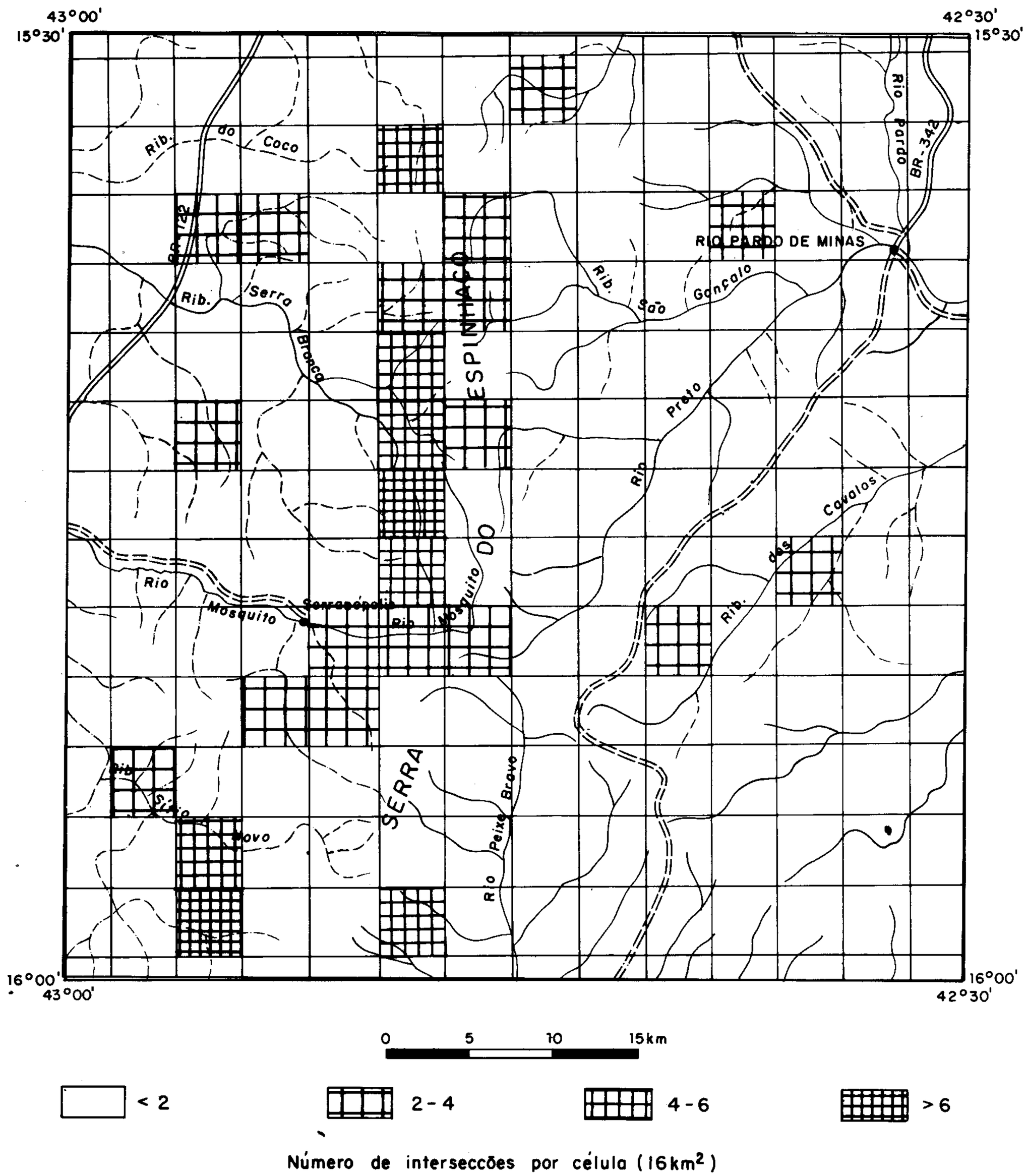


Figura 2.3 – Mapa de intersecção de fraturas.

3

Hidrogeologia da Folha

Os estudos hidrogeológicos desenvolvidos para a Folha Rio Pardo de Minas constaram de duas etapas:

- na primeira etapa, foi realizado um levantamento preliminar sobre os poços tubulares perfurados nos domínios da folha citada, sendo coletadas informações nos diferentes órgãos públicos e privados atuantes na região, tais como: SUDENE, DNOCS, CEDEC, COMIG, SUDENOR, COPASA e Companhias particulares de perfuração de poços tubulares, além dos arquivos técnicos da CPRM que também perfurou poços nessa região;

- na segunda etapa, correspondente aos trabalhos de campo, procurou-se coletar o maior número possível de informações acerca dos pontos d'água cadastrados, além das características das fraturas estudadas *in loco*. Durante esses trabalhos, além da confirmação dos dados constantes do cadastro preliminar, foram realizadas, sempre que possível, medições de condutividade elétrica, pH e temperatura da água.

A partir do agrupamento das ocorrências de água subterrânea segundo os tipos de rochas e estruturas abertas, foi possível definir duas categorias gerais de aqüíferos, assim denominadas:

- aqüíferos fraturados;
- aqüíferos intergranulares.

A primeira categoria é caracterizada pela capacidade de armazenamento e de circulação da água estarem diretamente relacionadas à existência de juntas e fraturas abertas, bem como à interligação das mesmas. É representada por rochas cristalinas e cristalofilianas da Associação Gnáissico- Migmatítica e do Supergrupo Espinhaço, que representam cerca de 58% da área total da folha.

A segunda categoria, onde o armazenamento e a circulação da água dependem basicamente da porosidade, reúne as rochas do Grupo Macaúbas, as coberturas indiferenciadas do Terciário, Terciário-Quaternário, Quaternário e os depósitos recentes, cobrindo os restantes 42% da folha.

Ao final do cadastramento, foram catalogados dentro dos limites da folha, 41 poços tubulares, 74 cisternas e 13 fontes, totalizando um somatório de 128 pontos de água, perfazendo uma densidade aproximada de 1 ponto d'água para cada 23,6km^2, havendo assim um incremento de 217% do número de pontos inicialmente previstos.

Quanto à distribuição dos pontos catalogados, observa-se que os poços tubulares estão francamente concentrados no setor ocidental, entre os meridianos 42°51' e 43°00' com 95% do total, fato este decorrente da carência de recursos hídricos de superfície nesta região (figura 3.1). Os únicos poços tubulares profundos do setor oriental, a leste da Serra do Espinhaço, estão localizados nos povoados de Baixinha e Nova Aurora, ambos no município de Rio Pardo de Minas.

Na figura 3.2 são mostradas as características dos poços tubulares perfurados na área através de histogramas de distribuição percentual das profundidades, dos níveis estáticos, dos níveis dinâmicos, das entradas d'água, das vazões e das vazões específicas.

Com relação aos poços escavados, o panorama mostra-se distinto, pois há uma melhor distribuição espacial dos poços, o que pode ser verificado no setor ocidental, abrangido por parte do município de Rio Pardo de Minas, onde estão concentrados cerca de 67% do total de pontos cadastrados.

3.1 Sistemas Aqüíferos

De acordo com os conceitos emitidos no ítem 1.7 e seus subítens e de posse do conjunto de informações reunidas sobre a litologia, o arcabouço estrutural e os pontos d'água cadastrados, elaborou-se a base hidrolitológica da área em estudo, tendo sido identificados os seguintes sistemas aquíferos:

- aquíferos intergranulares descontínuos, livres;
- aqüíferos intergranulares locais, livres;
- aqüíferos intergranulares descontínuos de extensãoAüvariável, livres;
- zonas geralmente sem aqüíferos;
- aqüíferos descontínuos restritos à juntas e fraturas, livres;
- zonas sem água subterrânea significativa;
- aqüíferos locais fraturados, livres.

3.1.1 Aqüíferos Intergranulares Descontínuos, Livres

São representados pelas aluviões que ocorrem na área, as quais apresentam espessuras de até 23m conforme constatado no poço escavado nº 85 (Fazenda Águas Belas) no encontro do córrego Brejinho com o ribeirão São Camilo. Esses aqüíferos apresentam permeabilidade baixa a média na metade leste, e média a alta na metade oeste da folha. Pode-se inferir que estas diferenças de permeabilidade do setor ocidental para o oriental, estejam correlacionadas ao caráter sericítico das aluviões do lado leste da Serra Geral, em virtude da contribuição das rochas xistosas encaixantes dessas aluviões. Sua alimentação se processa diretamente através dos rios, quase sempre prejudicada pela irregularidade do regime pluviométrico. O aproveitamento das reservas hídricas desse sistema pode ser feito através

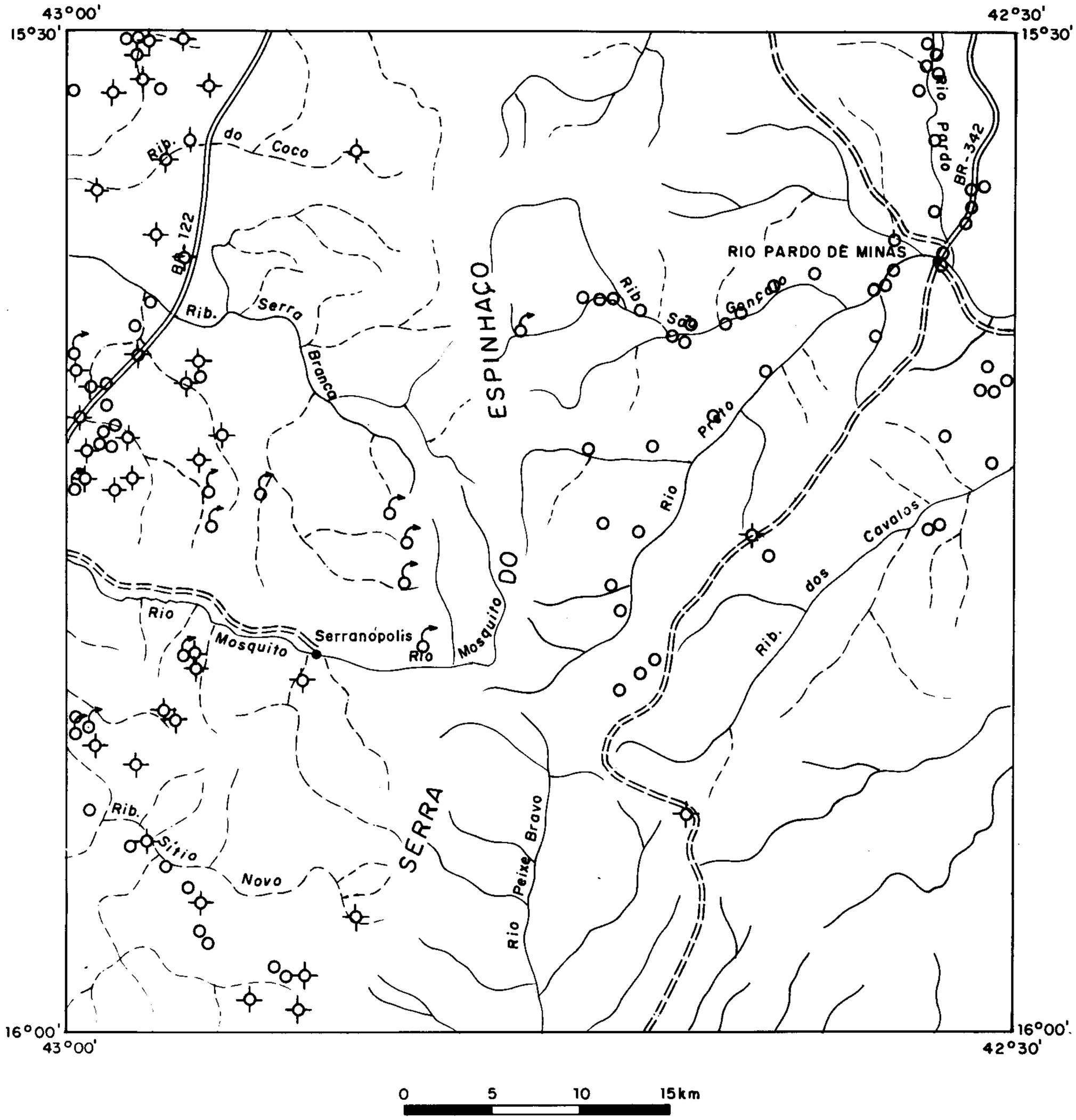


Figura 3.1 – Distribuição dos pontos d'água.

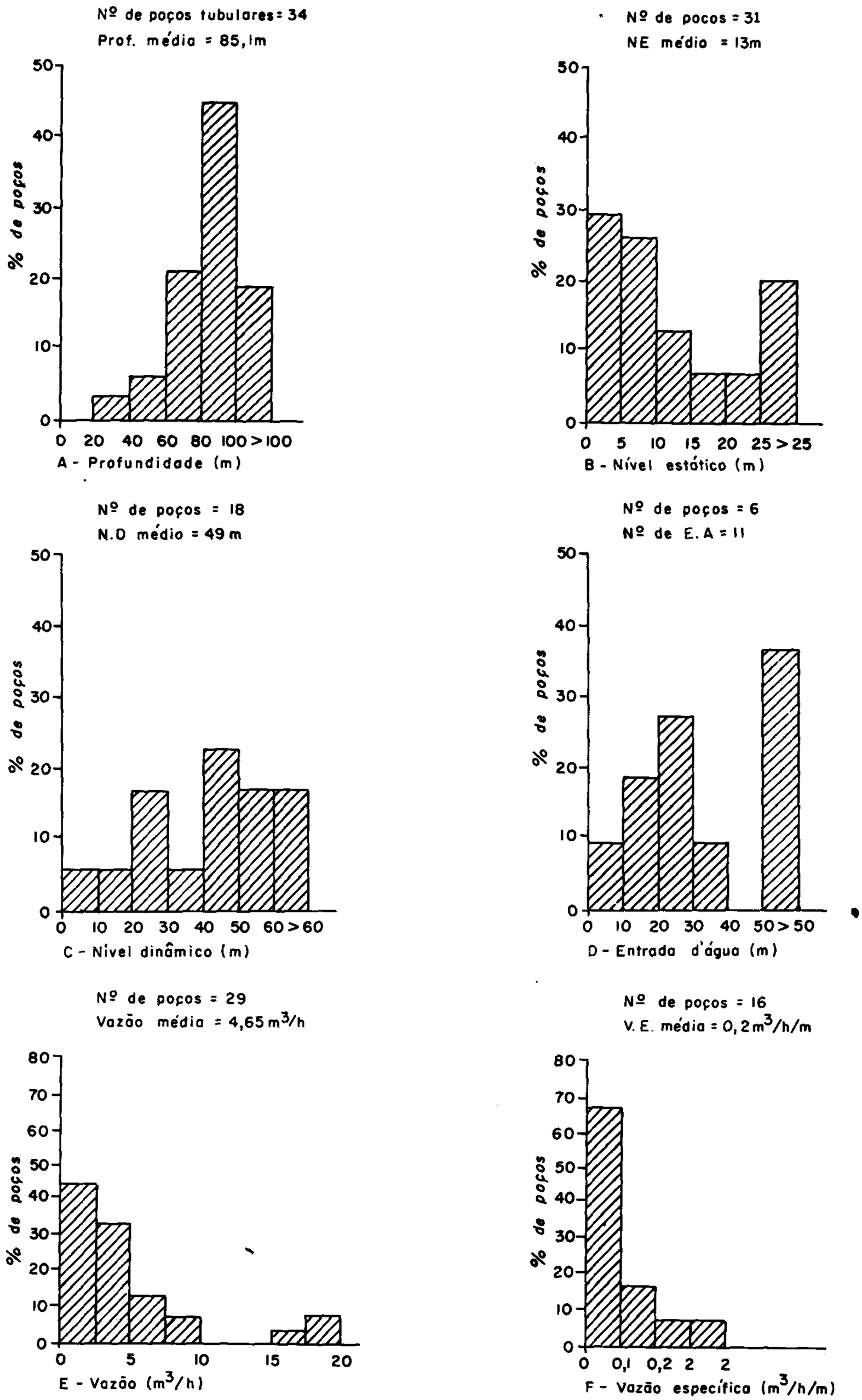


Figura 3.2 – Características dos poços tubulares.

de poços escavados de grande diâmetro ou tubulares rasos nos locais de maiores espessuras. A implantação de barragens subterrâneas em locais previamente definidos, poderá aumentar consideravelmente o volume de água disponível, a ser utilizado, como reforço, no período das estiagens.

No setor ocidental, essas aluviões são mais expressivas ao longo dos rios Serra Branca e Mosquito e dos ribeirões do Coco, Sítio Novo e Jurema. No setor oriental, esses depósitos ocorrem nos leitos dos rios Pardo, Preto, Água Boa e do ribeirão dos Cavalos, além de seus principais afluentes (figura 3.3a).

Alimentação, Escoamento e Exutórios

A alimentação do sistema é feita diretamente por intermédio dos rios e das chuvas, sujeita a um regime pluviométrico bastante irregular.

Embora sem maiores informações acerca do escoamento nesse sistema, pode-se dizer que o mesmo é mais efetivo nas áreas de caráter mais arenoso.

Quanto aos exutórios, atuam como agentes de descarga natural do sistema, a evapotranspiração e a infiltração para os aqüíferos subjacentes.

Características Dimensionais

As aluviões cobrem uma área aproximada de 98km^2, que correspondem a 3,3% da área total da folha. Apresentando espessuras de até 23m (ponto nº 85) e larguras que podem atingir até 1.000m, esses depósitos recentes representam um sistema aquífero de mediana importância hidrogeológica relativa local, com permeabilidade variando de média a alta, água de boa qualidade, se constituindo a nível de abastecimento doméstico, na principal fonte de abastecimento hídrico da área. Nesses sedimentos foram cadastrados 20 poços escavados com profundidade variando de 2,50m (mínimo) a 23m (máximo) e valor médio de 10,27m. Os níveis estáticos variam de 2m (mínimo) a 17,55m (máximo), com valor médio de 7,57m. Cerca de 80% desses poços estão equipados com sarilho e 20% com bombas elétricas.

3.1.2 Aqüíferos Intergranulares Locais, Livres

São representados pelos sedimentos coluvionares resultantes da mobilização e retrabalhamento de materiais detríticos diversos (conglomeráticos, arenosos e sílticos), solos imaturos e restos de canga. A espessura desses sedimentos é muito variável, podendo atingir até 20m. Sua permeabilidade varia de média a alta.

A principal função desse sistema aqüífero é alimentar os aqüíferos fraturados subjacentes, uma vez que o material que o constitui possue espessura insuficiente para se constituir em um depósito armazenador de água por longo tempo.

Em razão de sua posição topográfica, em relação ao substrato rochoso e do curto período chuvoso da região, sua espessura saturada varia muito, secando durante a estiagem.

Alimentação, Escoamento e Exutórios

A alimentação é feita diretamente através das chuvas e, quanto ao escoamento, face ao caráter predominantemente areno- argiloso do material, é de modo geral lento.

Os principais exutórios que contribuem para a descarga natural do sistema são a evapotranspiração, as nascentes e a infiltração para os aqüíferos fraturados subjacentes.

Características Dimensionais

Ocupando uma área aproximada de 60km^2, que corresponde a 2% da área total da folha, esses sedimentos ocorrem contornando as aluviões do ribeirão do Coco, no quadrante noroeste, sobre rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica, e também sobre quartzitos do Supergrupo Espinhaço, na serra homônima, a partir do paralelo 15°43' para sul (figura 3.3b). Sua importância hidrogeológica relativa local é muito pequena.

3.1.3 Aqüíferos Intergranulares Descontínuos de Extensão Variável, Livres

Este sistema é constituído pelas coberturas indiferenciadas do Terciário e Terciário-Quaternário. Com espessuras de até 30m, estes sedimentos predominantemente areno-argilosos, apresentam permeabilidade de baixa a média, podendo ser explorados por meio de poços escavados de grande diâmetro. Devido à sua posição topográfica em relação ao substrato cristalino e ao diminuto período chuvoso da região, sua espessura saturada varia muito, secando localmente durante a estiagem. Embora considerados como aqüíferos, a principal função desses sedimentos é alimentar os sistemas aqüíferos subjacentes.

Essas coberturas ocorrem em alguns pontos da Serra do Espinhaço e do meridiano 42°44' para leste, originando platôs nos interflúvios da rede de drenagem (figura 3.3c).

Alimentação, Escoamento e Exutórios

As chuvas constituem a única fonte de alimentação do sistema e, de um modo geral, o escoamento é dificultado pelas características litológicas dos sedimentos. Parte das águas infiltradas ao atingirem o substrato rochoso fluem lateralmente em direção aos limites dos depósitos, retornando à superfície.

Os principais exutórios, responsáveis pela descarga natural do sistema, são a evapotranspiração, as nascentes e a infiltração para os aqüíferos subjacentes.

Características Dimensionais

Cobrindo uma área aproximada de 720km^2, que correspondem a 24% da área total da folha, esses depósitos de material inconsolidado podem atingir até 30m de espessura (Costa *et al.*, *op.cit.*) e definem um sistema aqüífero de importância hidrogeológica relativa local muito pequena. Nas áreas de ocorrência desses sedimentos foram cadastrados 53 poços escavados com profundidades que variam de 1,10m (mínimo) a 17m (máximo) com valor médio de 9,87m. Os níveis estáticos apresentam valores que vão desde 1m (mínimo) a 14,95m (máximo), com média de 6,77m. A maioria desses poços está equipada com sarilho.

3.1.4 Zonas Geralmente sem Aqüíferos

Essas zonas são representadas pelos paraconglomerados do Grupo Macaúbas que, embora com as características de aquífero fraturado capeado por sedimentos permeáveis, devido ao reduzido número de fratura abertas, as possibilidades de ocorrência de água subterrânea estão restritas aos níveis quartzíticos.

Ocupando uma área aproximada de 372km^2, 12,4% da área total da folha, essas rochas ocorrem abrangendo metade do setor oriental, capeadas por coberturas indiferenciadas terciário- quaternárias (figura 3.4a).

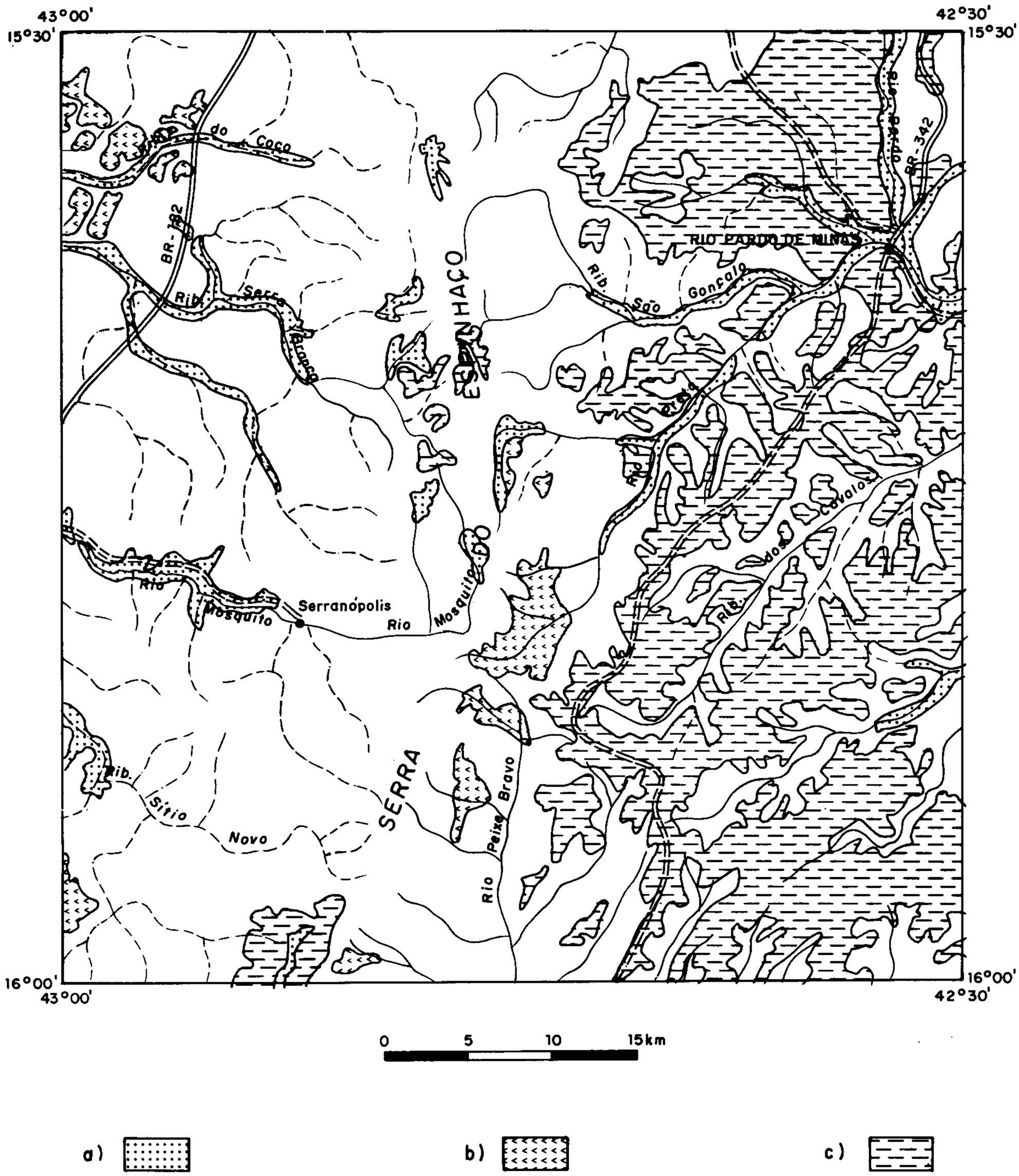


Figura 3.3 – Áreas de ocorrência de: a) aqüíferos intergranulares, livres; b) aqüíferos intergranulares locais, livre; c) aqüíferos intergranulares descontínuos de exte4nsão variável, livres.

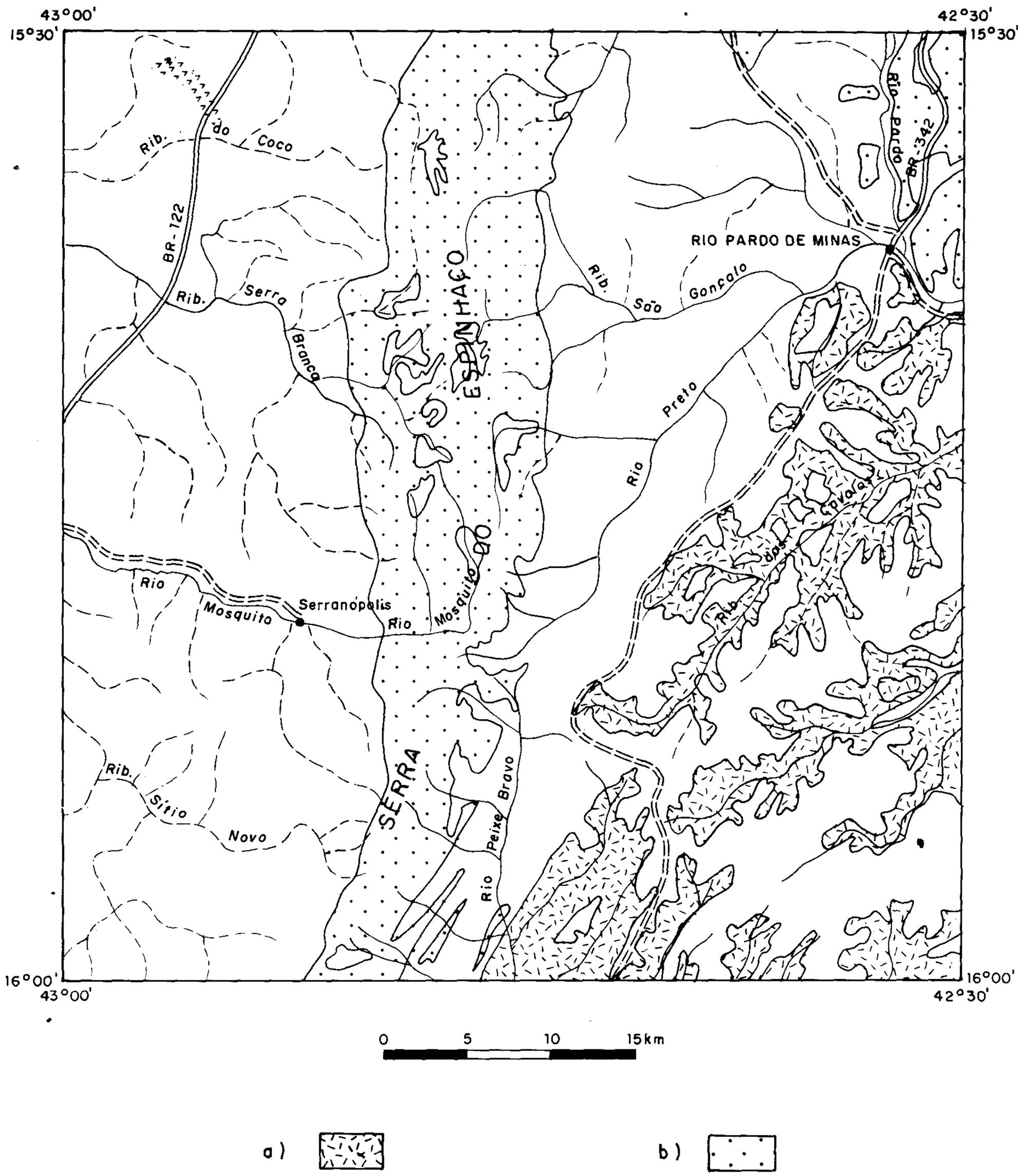


Figura 3.4 – Áreas de ocorrência de: a) zonas geralmente sem aqüíferos; b) aqüíferos descontínuos restritos a juntas e fraturas, livres.

A permeabilidade nessas zonas é muito baixa e, de um modo geral, devido às suas características litológicas, a infiltração é mínima e a quase totalidade da água precipitada nesses locais escoa superficialmente ou retorna à atmosfera.

3.1.5 Aquíferos Descontínuos Restritos à Juntas e Fraturas, Livres

Esse sistema aqüífero é definido pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço, ampliado localmente pelas aluviões e coberturas indiferenciadas. Podendo ser livre ou confinado, apresenta, no conjunto, permeabilidade variando de muito baixa a média podendo, localmente, apresentar condição de impermeabilidade. As reservas hídricas do sistema são exploradas principalmente através das nascentes situadas nas partes mais elevadas. Nas áreas de relevo mais suave, como acontece no canto superior do setor oriental, margem esquerda do rio Pardo, o aproveitamento indicado é através de poços tubulares.

Os quartzitos ocorrem no centro da folha constituindo a Serra do Espinhaço, encimados por esparsas coberturas indiferenciadas e aluviões, e também no quadrante nordeste, a partir do rio Pardo para leste (figura 3.4b).

Alimentação, Escoamento e Exutórios

A recarga do sistema é feita diretamente através das chuvas que caem em sua área de ocorrência e indiretamente através das coberturas sedimentares (coluviões e aluviões). No setor oriental, a Serra do Espinhaço se constitui na principal área de recarga do sistema aqüífero, pois o quartzito se apresenta bastante fraturado e as camadas mergulham suavemente para leste/sudeste o que facilita o escoamento da água nesse sentido.

O movimento das águas nesse sistema depende exclusivamente do conjunto de fraturas, podendo originar próximo da superfície, um sistema aqüífero livre interconectado às coberturas indiferenciadas, às aluviões e ao manto de intemperismo, cuja circulação passa a ser controlada principalmente pela topografia. Em profundidade, as fraturas fomam tramas rarefeitas que podem até criar condições de confinamento.

Os principais exutórios que contribuem para a descarga natural do aqüífero são os rios, representados pelo rio Pardo e seus afluentes, as nascentes e a evapotranspiração. Na área abrangida por esse sistema, foram cadastradas 6 nascentes com vazões estimadas entre 1 e $3m^3/h$.

Características Dimensionais

Os quartzitos cobrem cerca de $490km^2$, que correspondem a 16,3% da área total da folha, e apresentam-se intensamente fraturados, notadamente na Serra do Espinhaço, com grande número de fraturas abertas.

3.1.6 Zonas sem Água Subterrânea Significativa

Correspondem às áreas onde ocorrem os xistos e as metavulcânicas do Supergrupo Espinhaço. As ocorrências de água subterrânea são inexpressivas e se restringem aos níveis quartzíticos.

Os xistos ocorrem no setor oriental, numa faixa aproximadamente norte-sul, entre os quartzitos da Serra do Espinhaço e os metadiamictitos do Grupo Macaúbas. As metavulcânicas ocorrem numa estreita faixa a partir do paralelo 15°46' para norte, bordejando o flanco ocidental da Serra do Espinhaço. Estes

dois conjuntos de rochas cobrem cerca de 380km^2, que correspondem a 12,7% da área total da folha (figura 3.5a).

Apesar da pequena vocação hídrica das rochas que constituem esse sistema, em sua área de ocorrência foram cadastrados 10 poços escavados com profundidades variando entre 10m (mínimo) e 12m (máximo), com volumes de água suficientes para suprir as necessidades domésticas. Os referidos poços, todavia, captam água do manto de intemperismo.

3.1.7 Aqüíferos Locais Fraturados, Livres

Correspondem aos gnaisses, migmatitos e granitóides da Associação Gnáissico-Migmatítica. Apresentam permeabilidade variável, comumente baixa. As possibilidades de armazenamento de água depende da existência de fraturas abertas e interligadas entre si, proporcionando o espaço para acúmulo de água em subsuperfície. Analisando os dados de poços tubulares perfurados nessas rochas (figura 3.2), verifica-se que existem poços com profundidades de até 146m. As entradas d'água, no entanto, ocorrem em quase sua totalidade a menos de 100m, estando mais de 70% delas a menos de 60m de profundidade. Por este motivo, para o aproveitamento das reservas hídricas subterrâneas do sistema, sugere-se poços tubulares com profundidades de até 100m (figura 3.5b).

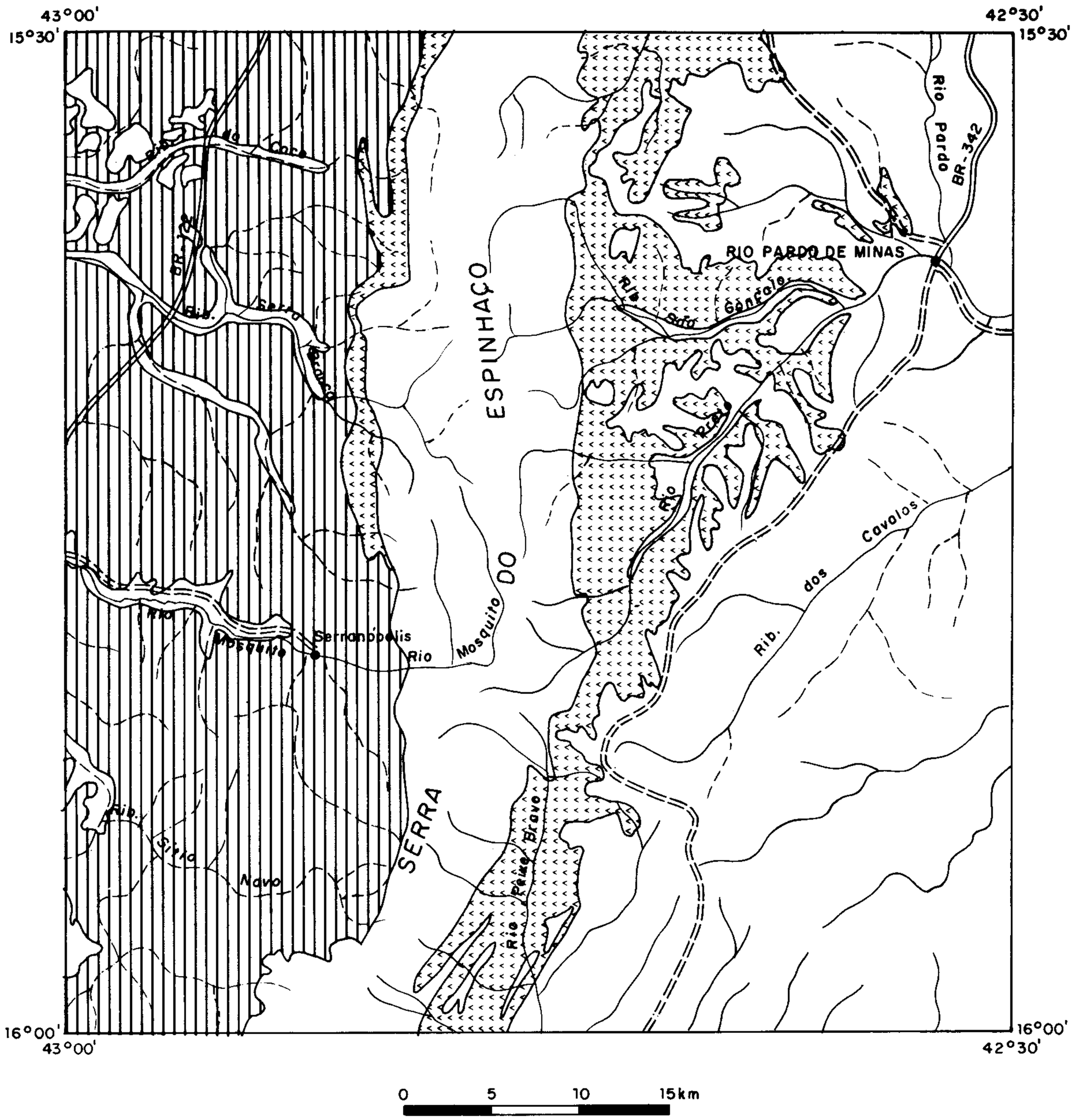
Alimentação, Escoamento e Exutórios

A recarga do sistema aqüífero dos terrenos cristalinos tem como principal contribuinte a rede hidrográfica superficial, mais efetiva nas áreas onde existe controle estrutural da drenagem através das fraturas, que permite uma contínua realimentação por meio das aluviões, notadamente durante o período das chuvas.

Na Folha Rio Pardo de Minas observa-se que embora existindo um certo controle estrutural da rede hidrográfica, aliado à presença de expressivas áreas aluvionares e de coberturas indiferenciadas atuando como transmissoras de parte da água que recebem para os aqüíferos subjacentes, a realimentação é mais efetiva no setor oriental, onde a intensidade de chuvas é maior e a rocha se apresenta mais fraturada. No setor ocidental, o índice pluviométrico é menor e predominam fraturas fechadas, dificultando a reposição das reservas hídricas. Apesar disso, as aluviões e as coberturas indiferenciadas retendo a água das chuvas prolongam o tempo de infiltração, favorecendo assim a recarga do sistema.

O escoamento, no caso de rochas fraturadas, pode apresentar duas situações distintas: uma proveniente do fraturamento superficial e outra resultante das fraturas que ocorrem em profundidade. As fraturas mais próximas da superfície formam um sistema denso que normalmente está conectado às coberturas inconsolidadas e ao manto de intemperismo. O conjunto fraturas/ coberturas inconsolidadas / manto de intemperismo constitui um sistema aqüífero livre onde a topografia passa a ser o principal fator responsável pela circulação. Em profundidade, a individualidade das fraturas dá lugar a tramas rarefeitas, podendo até criar condições de confinamento. Neste caso, a circulação é controlada pelas paredes das fraturas.

Analisando o histograma de entradas d'água dos poços perfurados no cristalino (figura 3.2-D), nota-se que cerca de 64% dessas entradas estão situadas em profundidades inferiores a 50m. Além disso, do total de poços com entradas d'água catalogadas, mais da metade apresentam pelo menos uma entrada correspondendo ao nível das aluviões, coberturas indiferenciadas ou manto de intemperismo.


43°00'
15°30'
42°30'
15°30'
Rio Pardo
BR-342
RIO PARDO DE MINAS
Rio Pardo
Rio Pardo
Rio Pardo

Este detalhe, considerando que o NE médio é da ordem de 13m, permite concluir que existe realmente uma conexão hidráulica entre o conjunto de sedimentos e o sistema de fraturas superficial, originando sistemas aqüíferos livres. A existência de entradas d'água mais profundas com ascensão do NE é sinal de que há, em profundidade, situação de confinamento, embora pouco expressivo.

Em relação aos exutórios, para a área de ocorrência de rochas fraturadas, os principais responsáveis pela descarga natural das reservas hídricas subterrâneas são:

- rios;
- nascentes;
- evapotranspiração.

A área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, conforme relatado no item 1.4.1, apresenta regimes pluviométricos distintos a oeste e a leste da Serra do Espinhaço. No setor oeste, excetuando-se os rios Mosquito e Serra Branca, a drenagem é intermitente e os rios recebem pouca ou nenhuma contribuição das águas subterrâneas. No setor leste, a situação se inverte, ocorrendo chuvas mais intensas com os aqüíferos garantindo a perenidade dos rios.

As nascentes, outro fator de descarga natural dos sistemas aquíferos, são comuns no contato do manto de intemperismo com as rochas do embasamento. Na área de ocorrência das rochas que representam esse sistema, foram cadastradas 05 nascentes com vazões estimadas entre 1 e $3m^3/h$.

O terceiro exutório importante é a evapotranspiração. Na folha em questão, embora não tenha sido determinada por insuficiência de dados, sabe-se que este fator contribui substancialmente para a perda de água do sistema.

Com uma atuação semelhante a das coberturas indiferenciadas, cuja principal função é auxiliar na alimentação dos aqüíferos fraturados subjacentes, o manto de intemperismo mostra-se geralmente pouco espesso, podendo atingir espessura máxima de 20m. Embora apresentando uma composição essencialmente argilo-arenosa, uma espessura muito variável e ocorrer de forma descontínua, consegue armazenar certo volume de água suficiente para, localmente e a nível doméstico, suprir as necessidades diárias da população rural.

Sendo alimentado diretamente pelas chuvas, uma parte da água infiltrada no manto de intemperismo escoa, indo complementar as reservas hídricas dos sistemas aqüíferos subjacentes e parte vai alimentar os rios e nascentes, principais exutórios do sistema.

O aproveitamento da água do manto de intemperismo, onde foram cadastradas 2 nascentes com vazões estimadas entre 1 e $3m^3/h$, pode ser feita através de poços escavados de grande diâmetro.

Características Dimensionais e Hidrodinâmicas

No âmbito da Folha Rio Pardo de Minas, os gnaisses, migmatitos indivisos e os granitóides, abrangem cerca de $880km^2$, que correspondem a 29,3% de sua área total.

A espessura saturada dessas rochas depende diretamente do conjunto de fraturas e diáclases que dão origem a sua permeabilidade. Um estudo mais acurado da distribuição das zonas de fraturas, bem como de suas profundidades, necessitaria de um número considerável de informações do subsolo. Entretanto, na área estudada, do total de poços tubulares cadastrados (41), 95% dos quais perfurados em rochas que definem o sistema aqüífero em questão, foram registradas apenas 11 entradas d'água, distribuídas irregularmente em 6 poços. Desta maneira, face à

limitação dos dados e ao caráter anisotrópico e heterogêneo do sistema aquífero, a determinação de características hidrodinâmicas realmente representativas fica prejudicada. Apenas como informação, registre-se que na Folha Monte Azul, situada imediatamente ao norte da folha em estudo e com características geológicas idênticas, foram determinados valores de transmissibilidade (T) para o sistema aqüífero fraturado, que variam de $0,12x10^{-4}$ a $2,68x10^{-4}m^2/s$, com valor médio de $1,07x10^{-4}m^2/s$ (valores esses coerentes para essas litologias).

3.2 A Produtividade dos Sistemas e a Importância Hidrogeológica Relativa Local

A produtividade dos sistemas aqüíferos da Folha Rio Pardo de Minas, considerando um rebaixamento padrão de 25m, apresenta três classes definidas por valores da capacidade específica dos poços inferiores a 0,033 l/s/m, entre 0,033 e 0,11 l/s/m e superiores a 0,11 l/s/m.

A classe de valores inferiores a 0,033 l/s/m é representada por gnaisses, migmatitos, granitóides, xistos, metavulcânicas, paraconglomerados do Grupo Macaúbas e os quartzitos do topo da Serra do Espinhaço.

Os valores de vazões específicas entre 0,033 e 0,11 l/s/m são obtidos nos depósitos coluvionares, nas coberturas indiferenciadas terciárias e terciário-quaternárias, e em pequenas ocorrências de aluviões encaixadas em quartzitos no topo da Serra do Espinhaço, entre os paralelos 15°30' e 15°45'.

A terceira e última classe, onde os valores de capacidade específica são superiores a 0,11 l/s/m, reune as aluviões, uma estreita faixa de quartzitos a partir do paralelo 15°42' para sul (no flanco oriental da Serra do Espinhaço), e a área de ocorrência de quartzitos balizada pelo rio Pardo e o meridiano 42o30' (no quadrante nordeste).

No que diz respeito à importância hidrogeológica relativa local para a área em estudo, foram estabelecidas quatro classes assim discriminadas: mediana, pequena, muito pequena e negligenciável.

Na classificação das áreas segundo essas quatro classes procurou-se conciliar os fatores quantidade, qualidade e explotabilidade, já citados anteriormente (item 1.7), além da necessidade e costumes locais de uso da água. É oportuno frisar que um mesmo sistema pode pertencer a uma ou mais classes, em função da área de ocorrência, das necessidades locais, da topografia etc.

Procurando aliar a litologia aos fatores classificatórios expostos anteriormente, serão abordadas a seguir as classes assim definidas:

1 - Importância hidrogeológica relativa local mediana

Abrange os sistemas aqüíferos mais importantes da região, ou seja, as aluviões. Apresentam boa produtividade, águas de boa qualidade, fácil explotabilidade, principalmente através de poços escavados de grande diâmetro ou poços tubulares rasos. Além desses fatores positivos, é nas margens dos cursos d'água, área de ocorrência das aluviões, que se verificam as maiores concentrações populacionais e, consequentemente, onde a demanda é maior.

2 - Importância hidrogeológica relativa local pequena

Esta classe é representada por gnaisses, migmatitos, granitóides e quartzitos. Para os

gnaisses, migmatitos e granitóides, ela foi definida em função de alguns valores de vazão considerados bons para essas litologias, de um relativo fraturamento,relevo plano, águas de qualidade razoável e considerável demanda em razão da concentração populacional naqueles locais. A área de ocorrência de quartzitos incluída nesta classe, apresenta relevo relativamente plano, águas de boa qualidade e facilidade de realimentação através das aluviões e coberturas indiferenciadas.

3 - Importância hidrogeológica relativa local muito pequena

Nesta classe, estão incluídos quartzitos, gnaisses, migmatitos e granitóides, e as coberturas quaternárias, terciárias e terciário-quaternárias. Os quartzitos posicionados nesta classe compreendem estreita faixa no flanco oriental da Serra do Espinhaço, a partir do paralelo 15°42' para sul. Nesta região, o relevo apresenta-se moderado, a rocha mostra-se bem fraturada com muitas fraturas abertas, águas de boa qualidade. Não há necessidade de água subterrânea, pois a água de superfície existente supre as necessidades da população. Os gnaisses, migmatitos e granitóides que ocorrem a oeste da Serra do Espinhaço, foram considerados como pertencentes a esta classe em razão de apresentarem poços com baixas vazões, relevo desfavorável (principalmente na borda da serra e do rio Mosquito para sul), menor densidade de fraturas, além de contar com considerável volume de água de superfície fornecida pelos rios Mosquito e Serra Branca, que são perenes. As coberturas quaternárias foram incluídas nesta classe principalmente em função de sua espessura insuficiente para poder armazenar água por longo tempo, praticamente secando durante a estiagem. As coberturas terciárias e terciário-quaternárias foram posicionadas nesta classe por abrangerem áreas pouco habitadas, por ocorrerem em regiões com água de superfície suficiente para suprir as necessidades locais e pela sua principal característica que é funcionar não como armazenador e sim como transmissor de água para os aqüíferos subjacentes.

4- Importância hidrogeológica relativa local negligenciável

Sob esta classificação, foram reunidos paraconglomera- dos, xistos, quartzitos, metavulcânicas, gnaisses, migmatitos e granitóides. A área abrangida pelos paraconglomerados e xistos é bastante desfavorável em relação à água subterrânea, por apresentar um número reduzido de fraturas, geralmente fechadas ou preenchidas com material argiloso; pela pequena necessidade de água subterrânea, em razão da existência de água de superfície em abundância; e pela baixa densidade demográfica. A parte da área de afloramento dos quartzitos incluída nesta classe corresponde à Serra do Espinhaço, que abrange uma área praticamente desabitada, de acesso difícil e sem necessidade de água subterrânea pelo fato de existir água de superfície suficiente para suprir a demanda local. A área abrangida por metavulcânicas, gnaisses, migmatitos e granitóides, classificada como negligenciável, apresenta relevo abrupto (declividade geralmente maior que 20%), ocupação humana praticamente inexistente e difícil acesso.

3.3 Condições das Áreas de Exposição dos Sistemas Aqüíferos

Para a Folha Rio Pardo de Minas foram definidas cinco áreas distintas no que diz respeito

à exposição dos aquíferos e às condições de superfície, levando-se em conta principalmente a litologia, o relevo e o grau de aproveitamento do solo. Estas cinco áreas, que são apresentadas no mapa de encarte (escala 1:250.000), serão descritas a seguir:

1 - Área de recarga em aqüíferos intergranulares sobrepostos a aqüíferos fraturados descontínuos, sujeita a inundações periódicas

Esta área corresponde às aluviões. Embora seja um aquífero com boa produtividade e importância hidrogeológica relativa local mediana, funciona também como alimentador dos aqüíferos fraturados subjacentes. Devido à posição dessa área sempre em cotas mais baixas, quando os cursos d'água ultrapassam o seu leito normal em virtude de chuvas fortes, ela sofre alagamento.

2 - Área de recarga em coberturas inconsolidadas sobre aqüíferos fraturados

É representada pelas coberturas indiferenciadas do Quaternário, do Terciário e do Terciário-Quaternário. Essas coberturas constituem importantes áreas de recarga para os aqüíferos fraturados subjacentes, notadamente nas áreas onde se localizam as fraturas abertas.

3 - Área de recarga/descarga em aqüífero fraturado com relevo acidentado.

Definida pela parte mais elevada da Serra do Espinhaço, é constituída de quartzitos bastante fraturados que facilitam sobremaneira a realimentação do aqüífero na parte oriental da folha, pois o sentido geral de mergulho das camadas quartzíticas é para leste e a água que se infiltra no topo da serra escoa nesse sentido.

4 - Área de recarga/descarga em aqüífero fraturado com relevo moderado a plano

Compreende parte da Serra do Espinhaço a partir do paralelo 15°56' para sul e a área situada entre o rio Pardo e o limite leste da folha, no seu quadrante nordeste. Nessas áreas ocorrem rochas quartzíticas bastante fraturadas, principalmente na serra, capeadas em parte por sedimentos inconsolidados. Ocorrem pequenas nascentes que definem esta área também como área de descarga.

5 - Áreas de rochas impermeáveis a semipermeáveis com infiltração negligenciável

Corresponde às áreas de ocorrência de gnaisses, migmatitos, granitóides, xistos, paraconglomerados e metavulcânicas. Nessas áreas, a infiltração é dificultada pelo caráter essencialmente argiloso das coberturas indiferenciadas que as recobrem e pela escassez de fraturas abertas.

3.4 Vulnerabilidade dos Aqüíferos

A vulnerabilidade dos aqüíferos à poluição é caracterizada pela maior ou menor facilidade destes em sofrer contaminação por agentes externos. No caso da Folha Rio Pardo de Minas, tomando por base a escala de vulnerabilidade elaborada por Foster (*op.cit.*) através do "Sistema DIOS para Avaliação do Índice de Vulnerabilidade do Aqüífero", abordado no item 1.6.6, foram definidas quatro classes de vulnerabilidade (negligenciável, baixa, moderada e alta), apresentadas em mapa de encarte (escala 1:250.000) por meio de hachuras:

a) Vulnerabilidade negligenciável - foi definida para as áreas de ocorrência dos xistos,

paraconglomerados e metavulcânicas. Nessas áreas, a vulnerabilidade é mínima devido à baixa permeabilidade (fraturamento não muito intenso com fraturas, em grande parte, fechadas), à ocupação humana reduzida e à presença de manto de intemperismo argiloso.

b) Vulnerabilidade baixa - corresponde às coberturas indiferenciadas. Nesses sedimentos, apesar da composição predominantemente areno-argilosa, a permeabilidade vai de média a baixa e a profundidade da superfície do freático, muito variável durante o ano, é normalmente de mais de 10m. Devido à posição topográfica, com a base acima da superfície das rochas que lhes servem de leito, o sistema está em constante renovação de suas águas e o risco de contaminação, embora em menor escala, já está presente, podendo comprometer não só este sistema, como também o sistema subjacente para o qual transmite parte da água que recebe.

c) Vulnerabilidade moderada - esta classe está restrita às aluviões. Neste caso, o risco de contaminação existe, considerando-se que: nas áreas de ocorrência das aluviões é maior a concentração humana (devido à fertilidade do solo e maior facilidade para obtenção de água), e que a composição, essencialmente arenosa, atribui ao conjunto uma permeabilidade alta, facilitando a infiltração das águas de chuva, que carreiam o material contaminante que estiver na superfície do solo. A pouca profundidade do lençol aumenta a sua vulnerabilidade.

d) Vulnerabilidade alta - definida para as áreas de ocorrência dos gnaisses/migmatitos, granitóides e quartzitos, que constituem os sistemas aqüíferos fraturados. Nessas áreas, a facilidade de contaminação é grande, pois o meio aqüífero é representado por fraturas, onde a água circula livremente. A exposição direta aos agentes superficiais aumenta consideravelmente a vulnerabilidade do sistema.

3.5 Uso Atual e Condições de Exploração

Na área definida pela Folha Rio Pardo de Minas, a água subterrânea é destinada principalmente aos três usos mais nobres: suprir as necessidades da população, dos animais e da lavoura, principalmente a oeste da Serra do Espinhaço, onde a escassez de água de superfície é notória.

Analisando as informações coletadas *in loco* acerca da destinação da água obtida dos pontos cadastrados, verifica-se que, do total destes (128), eliminados 01 poço tubular seco e 36 sem informações sobre a real utilização da água, cerca de 60% se destinam ao consumo humano, 30% ao consumo dos animais e 10% à lavoura.

A relação entre usos de água subterrânea e de outras fontes hídricas apresenta duas situações distintas na área:

- uma, a oeste da Serra do Espinhaço, onde a água subterrânea é a principal fonte de recursos hídricos, salvo nas proximidades dos rios Mosquito e Serra Branca, que são perenes e suprem as necessidades da população, da pecuária e da lavoura;

- outra, a leste da mesma serra, que por razões já enumeradas anteriormente, tais como maior intensidade de chuvas, perenidade dos rios etc, a água de superfície é suficiente para atender a demanda em todos os usos.

Os sistemas aqüíferos mais explorados na área são, em ordem decrescente, o definido pelas rochas fraturadas da Associação Gnáissico-Migmatítica, das aluviões e aquele definido pelas coberturas indiferenciadas.

O sistema aqüífero caracterizado pelas rochas fraturadas é explorado através de poços tubulares profundos (média de 84,43m) com profundidade máxima de 150m. A exploração desse aqüífero é feita principalmente no setor

ocidental da área, onde se concentram cerca de 95% dos poços tubulares.

O sistema aqüífero constituído pelas aluviões é explorado por meio de poços escavados de grande diâmetro, denominados localmente de "cisternas", com maior freqüência no vale do rio Pardo, no setor ocidental da área. Estes poços, com profundidades mínima de 2,50m e máxima de 23m, fornecem água de boa qualidade e em quantidade suficiente para suprir a demanda local do momento.

O sistema definido pelas coberturas indiferenciadas também é mais explorado no setor oriental através de poços escavados de grande diâmetro, com profundidades entre 1,10m (mínima) e 17m (máxima), e produzindo água de boa qualidade suficiente para o uso doméstico.

Os poços tubulares apresentam revestimento metálico ou de PVC rígido, com diâmetro de 6" em sua maioria. Os equipamentos de bombeamento mais comuns são o sistema *air lift* e bomba submersa. Os reservatórios com capacidade variando de 0,5 a 14,5m3, podem ser metálicos, de fibra de vidro ou de concreto armado.

Os poços escavados geralmente são equipados com sarilho ou, em alguns casos, com bombas de sucção de pequena capacidade. O revestimento, quando existe, é feito de tijolos ou com manilhões.

Devido à agressividade das águas subterrâneas da região, em geral de elevado teor salino, seria desaconselhável o uso de reservatórios metálicos, por apresentarem grande facilidade de corrosão, perdendo sua utilidade rapidamente.

A cidade de Rio Pardo de Minas, situada na margem direita do rio Preto, principal afluente do rio Pardo no âmbito da folha, é abastecida pela COPASA através de captação neste rio, sendo que a água recebe tratamento antes de ser distribuída à população.

Os povoados de Serranópolis, Serra Nova e Nova Aurora também são abastecidos pela COPASA. Em Serranópolis, a água distribuída à população *in natura*, provém da barragem da CEMIG localizada no rio Mosquito, cerca de 3km a montante do povoado. Serra Nova é abastecida por captação de nascente na cabeceira do córrego Suçuarana, aproximadamente 4km a oeste do povoado, com a água sendo distribuída sem receber tratamento. O povoado de Nova Aurora é abastecido através de água subterrânea extraída do poço tubular nº 123.

3.6 Qualidade das Águas

3.6.1 Generalidades

O estudo hidroquímico das águas subterrâneas na área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, teve por finalidade determinar a qualidade dessas águas para consumo humano, animal, irrigação e uso industrial. Durante os trabalhos de campo, foram coletadas 28 amostras para análises físico-químicas, sendo 21 em poços tubulares, 6 em poços escavados e 1 em nascente. Também foram coletadas 4 amostras para determinação de resíduos de defensivos agrícolas, em 3 poços tubulares e em 1 poço escavado. Em relação à litologia, foram amostrados 20 poços tubulares em rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica, 2 poços tubulares no Grupo Macaúbas, 4 poços escavados nas coberturas indiferenciadas, 1 poço escavado em aluvião e 1 nascente em quartzito do Supergrupo Espinhaço.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Sedimentometria e Qualidade das Águas (SECLAB-SUREG/BH), sendo

feitas as determinações de pH, condutividade elétrica em micromhos/cm, alcalinidade e dureza totais em mg/l de $CaCO_3$, resíduo seco a 110°C em mg/l e dos constituintes principais Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, Cl-, SO_4^{--}, além de NO_2^{-}, NO_3^{-}, Fe^{+++} e Mn^{+}, em mg/l. Os valores são apresentados no catálogo geral de pontos d'água. Na interpretação dos resultados, sempre que necessário, esses valores foram convertidos em miliequivalentes por litro.

As análises para determinação de resíduos de defensivos agrícolas, foram realizadas no Laboratório da Diretoria de Química Agrícola (DQA) pertencente à Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais. Foram, pesquisados vestígios dos compostos organoclorados Aldrin, D.D.T, Dieldrin, Endrin, H.C.B, Heptacloro, Heptacloro Epóxido, Lindano, Metoxicloro e Clordane, sendo os resultados fornecidos em microgramas por litro (µg/l).

No decorrer dos trabalhos de campo, procurou-se medir, sempre que possível, a condutividade elétrica, a temperatura e o pH das águas subterrâneas da área.

Para elaboração do estudo hidroquímico apresentado a seguir, foram consideradas 19 análises, cujos resultados estão dentro dos limites de erro permissível (Logan, 1965).

Além das 28 amostras coletadas no projeto, foram catalogadas mais 5 análises obtidas junto às fichas de poços nas empresas de perfuração que atuam na área.

3.6.2 Composição Química

O grupo de amostras analisadas mostra que os anions bicarbonato (47,4%) e cloreto (47,4%) predominam sobre os demais. Em relação aos cátions não há predominância relativa.

Os resultados das análises considerados em conjunto, mostram que apenas 26,3% das águas amostradas apresentam condutividade elétrica inferior a 500 micromhos/cm, ao passo que cerca de 63,2% mostram valores superiores a 1.000 micromhos/cm. O valor médio da condutividade é de 1450,13 micromhos/cm. A salinidade das águas na região é elevada, conforme se pode constatar através do quadro 3.1, onde é mostrada a distribuição de freqüência dos resíduos secos. Nesse quadro, nota-se que apenas 26,3% apresentam um valor de resíduo seco inferior a 500mg/l, e que 47,4% estão acima de 1.000mg/l. O resíduo seco médio é de 1.155,2mg/l.

Quadro 3.1 – Distribuição de freqüência dos resíduos secos.

Resíduo Seco (mg/l)	Nº de Amostras	Freqüência	
		Relativa	Acumulada
0 - 500	2	26,3	26,3
500 - 1000	5	26,3	52,6
1000 - 1500	4	21,1	73,7
1500 - 2000	2	10,5	84,2
> 2000	3	15,8	100,0

Em relação ao pH, as águas provenientes de poços tubulares variam de neutras a básicas (6,9 a 8,2), e aquelas oriundas de poços escavados e nascentes variam de ácidas a básicas (5,7 a 8,2). Cerca de 26,3% dos valores são superiores a 8, sendo 8,2 o valor máximo e 5,7 o mínimo.

A dureza apresenta um valor médio de 502,7mg/l de $CaCO_3$, ou seja 50,27°F. Segundo a classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 3.2), 26,3% das águas amostradas são classificadas como "muito moles" e as restantes 73,7% como "muito duras".

Quadro 3.2 – Classificação de dureza de Klut Olszewski.

Dureza até 70°F	água "muito mole"
Dureza de 7 a 12°F	água "mole"
Dureza de 12 a 20°F	água "algo dura"
Dureza maior que 20°F	água "muito dura"
1°F = 10mg/l de $CaCO_3$	

3.6.3 Fácies Hidroquímicas

Na determinação das fácies hidroquímicas das águas amostradas foi utilizado o diagrama triangular da figura 3.6. Neste diagrama, foram plotados os valores percentuais de cada constituinte (cátions e ânions), obtidos transformando-se os valores obtidos em mg/l para meq/l. Na junção das três linhas, que definem cada constituinte, obtém-se um ponto que representa a amostra considerada.

Os tipos químicos das águas subterrâneas que ocorrem na área, são apresentados em mapa de encarte (escala 1:250.000), através de linhas tracejadas que delimitam suas áreas de ocorrência, identificadas por duas letras minúsculas (ex: água bicarbonatada de sódio - bs). O quadro 3.3 mostra os tipos determinados, as siglas que os identificam no mapa e a sua frequência relativa.

Quadro 3.3 – Tipos químicos de água subterrânea.

Tipos Químicos	Siglas	Freqüência relativa (%)
Águas Bicarbonatadas		
a) Bicarbonatada de cálcio	bc	5,3
b) Bicarbonatada de sódio	bs	5,3
c) Bicarbonatada mista	bm	36,8
Águas Cloretadas		
a) Cloretada de cálcio	cc	10,5
b) Cloretada mista	cm	36,8
Águas Mistas		
a) Mista mista	mm	5,3
Totais		100,0

Águas Bicarbonatadas

As águas pertencentes a este grupo são caracterizadas pela presença do ânion bicarbonato predominando sobre os demais. A salinidade, de modo geral baixa, é muito variável e apresenta resíduo seco médio de 551,5 mg/l, mínimo de 20mg/l e máximo de 1.916mg/l. No que tange à dureza, 44,4% das águas são "muito moles" e as restantes 55,6% são "muito duras". São ligeiramente alcalinas, com pH médio igual a 7,2, não sendo raros valores superiores a 8. Neste grupo, predominam as bicarbonatadas mistas, com 77,7%. A maioria dessas águas é proveniente de poços tubulares perfurados em rochas da Associação Gnáissico- Migmatítica.

Águas Cloretadas

Neste grupo, o ânion cloreto supera os demais. A salinidade é elevada e o resíduo seco está entre 990mg/l e 3576mg/l, com valor médio de 1.797,3mg/l. Quanto à dureza, apenas 11,1% das águas são consideradas "muito moles", e os 88,9% restantes, "muito duras". O pH é alcalino com valor médio de 7,8, e 55,5% dos valores em torno de 8. Cerca de 75% das amostras foram coletadas em poços tubulares perfurados em rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica.

Águas Mistas

Nestas águas, não há predominância de um ânion sobre outro. Apresentam salinidade média, e o resíduo seco médio é de 809mg/l. Em relação à dureza, são águas "muito duras". O pH é alcalino, naturalmente acima de 8. São águas provenientes de rochas da Associação Gnáissico-Migmatítica.

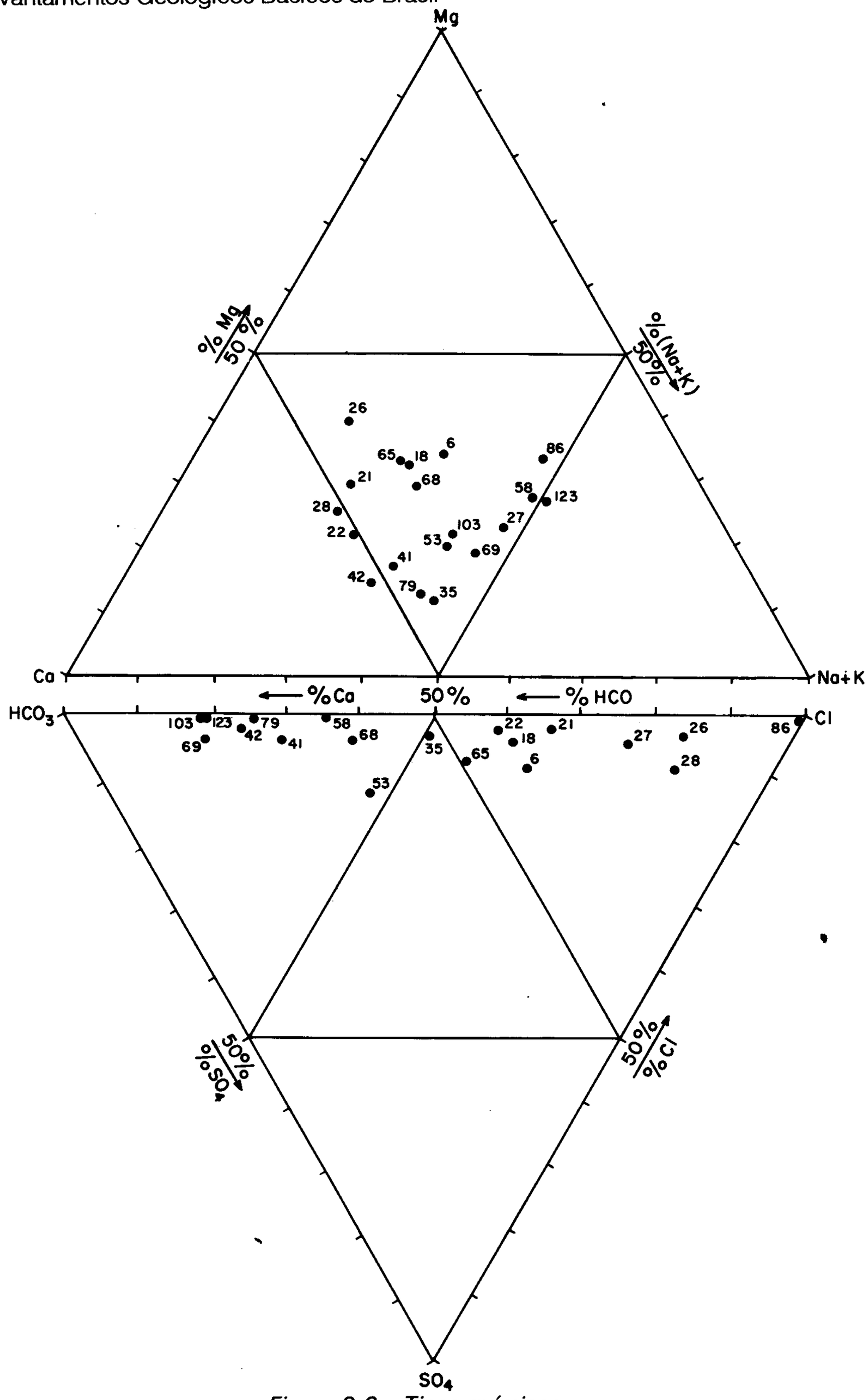


Figura 3.6 – Tipos químicos.

3.6.4 Nível e Tipos de Contaminação

A contaminação dos sistemas aqüíferos na área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, se existe, é muito localizada e ainda não foi detectada. Pelo que se pôde constatar na região, a longo prazo é provável que as reservas hídricas, tanto superficiais quanto subterrâneas, tenham a sua qualidade comprometida face ao uso constante, e em larga escala, de defensivos agrícolas, principalmente nas lavouras de algodão, onde esse material é aplicado duas vezes por ano e permanece por vários anos no solo.

Com o objetivo de verificar a presença desse material contaminante nas águas subterrâneas da região, foram coletadas quatro amostras em pontos previamente escolhidos. As análises foram dirigidas para detectar a presença dos compostos Aldrin, D.D.T, Dieldrin, Endrin, H.C.B, Heptacloro, Heptacloro Epóxido, Lindano, Metoxicloro e Clordane, principais defensivos agrícolas utilizados na região. Nas análises realizadas pelo laboratório da Secretaria de Estado da Agricultura e Pecuária do Estado de Minas Gerais, os compostos pesquisados não foram detectados, o que descarta a possibilidade de estar ocorrendo contaminação do aquífero nos locais amostrados. A longo prazo, todavia, esta possibilidade não pode ser ignorada em virtude do grande volume de defensivos usados e da área de abrangência das culturas onde são utilizados.

3.6.5 Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais, Uso Industrial e Irrigação

Qualidade das Águas para Consumo Humano e de Animais

A qualidade das águas para consumo humano é determinada através do conhecimento de suas características físicas, químicas e bacteriológicas. No caso em apreço, foram determinadas apenas as características físicas e químicas. O conhecimento das características químicas permite determinar a potabilidade, que indica se uma água é ou não adequada quimicamente para o consumo da população.

A potabilidade foi determinada através dos padrões estipulados por Schoeller (1965), apresentados no quadro 3.4. Neste método, baseado na pressão osmótica do organismo humano, são considerados os constituintes principais das águas Ca, Mg, Na, Cl, SO_4, associados ao resíduo seco e à dureza (grau hidrométrico). No presente trabalho, utilizou-se o diagrama logarítmico de Schoeller modificado por Berkaloff, que além do Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 e dureza (°F) considera também K, HCO_3 e pH.

Quadro 3.4 – Padrões de potabilidade segundo Schoeller.

Potabilidade / Parâmetros	Permanente				
	Boa	Passável	Medíocre	Má	Momentânea
Sabor a 20°C (pesada, amarga, salgada, etc.)	Agradável	Fracamente Perceptível	Pouco Pronunciado	Pouco Desagradável no Máximo	Desagradável
Resíduo Seco	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 4.000	4.000 – 8.000
Na	0 – 115	115 – 230	230 – 460	460 – 920	920 – 1.840
Mg/12 + Ca/20	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80
Grau Hidrométrico	0 – 25	25 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 400
Cl	0 – 177,5	177,5 – 355	355 – 710	710 – 1.420	1.420 – 2.840
SO_4	0 – 144	144 – 288	288 – 576	576 – 1.152	1.152 – 2.304

- Valores em mg/l

Dentre as análises consideradas para o estudo hidroquímico, oito foram selecionadas e plotadas no citado diagrama (figuras 3.7 a 3.9).

O quadro 3.5 resume a situação das águas analisadas de acordo com os padrões constantes* no quadro 3.4. Nesse quadro, estão indicadas as freqüências relativas do número de amostras para cada condição de potabilidade permanente em função dos parâmetros considerados.

Nas figuras 3.7 a 3.9 estão plotadas, em diagramas logarítmicos de Schoeller-Berkaloff, 8 amostras consideradas representativas para a área. Analisando esses diagramas, verifica-se que tanto para as amostras da Associação Gnáissico-Migmatítica quanto para as amostras das coberturas indiferenciadas quaternárias, a potabilidade varia de boa a medíocre.

Na determinação da qualidade das águas para consumo por animais, os limites de potabilidade são mais amplos e se baseiam nos valores de resíduo seco. No quadro 3.1, utilizado na Austrália Ocidental (Leal, 1970), são dados os limites, em miligramas por litro, dos teores de resíduo seco admitidos, levando-se em conta o porte médio do animal.

Comparando os valores de resíduo seco obtidos para as águas amostradas com os limites indicados no quadro 3.6, verifica-se que apenas dois valores determinados (Fazenda Gandu com RS=3.576mg/l e Fazenda Lagoinha I com RS=3.061mg/l) estão acima do limite permitido para aves. Os demais valores atendem perfeitamente aos padrões indicados, não existindo portanto, restrições quanto ao consumo por animal.

Quadro 3.4 – Padrões de potabilidade segundo Schoeller.

Potabilidade / Parâmetros	Permanente				
	Boa	Passável	Medíocre	Má	Momentânea
Sabor a 20°C (pesada, amarga, salgada, etc.)	Agradável	Permanente Perceptível	Pouco Pronunciado	Pouco Desagradável no Máximo	Desagradável
Resíduo Seco	0 – 500	500 – 1.000	1.000 – 2.000	2.000 – 4.000	4.000 – 8.000
Na	0 – 115	115 – 230	230 – 460	460 – 920	920 – 1.840
Mg/12 + Ca/20	0 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 40	40 – 80
Grau Hidrométrico	0 – 25	25 – 50	50 – 100	100 – 200	200 – 400
Cl	0 – 177,5	177,5 – 355	355 – 710	710 – 1.420	1420 – 2.840
SO_4	0 – 144	144 – 288	288 – 576	576 – 1.152	1.152 – 2.304

- Valores em mg/l.

Quadro 3.5 – Potabilidade das águas amostradas

Potabilidade Permanente / Parâmetros	Boa	Passável	Medíocre	Má
Resíduo Seco	26,3	26,3	31,6	15,7
Na	63,1	31,6	–	5,3
Mg/12 + Ca/20	31,6	21,1	36,8	10,5
Dureza (Grau Hidrométrico)	31,6	21,1	36,8	10,5
Cl	47,4	26,3	15,8	10,5
SO_4	100,0	–	–	–

Quadro 3.6 – Limites de potabilidade para animais

Discriminação	Resíduo Seco (mg/l)
Aves	2.860
Porcos	4.290
Cavalos	6.435
Gado Leiteiro	7.150
Gado de Corte	10.000
Carneiros	12.000

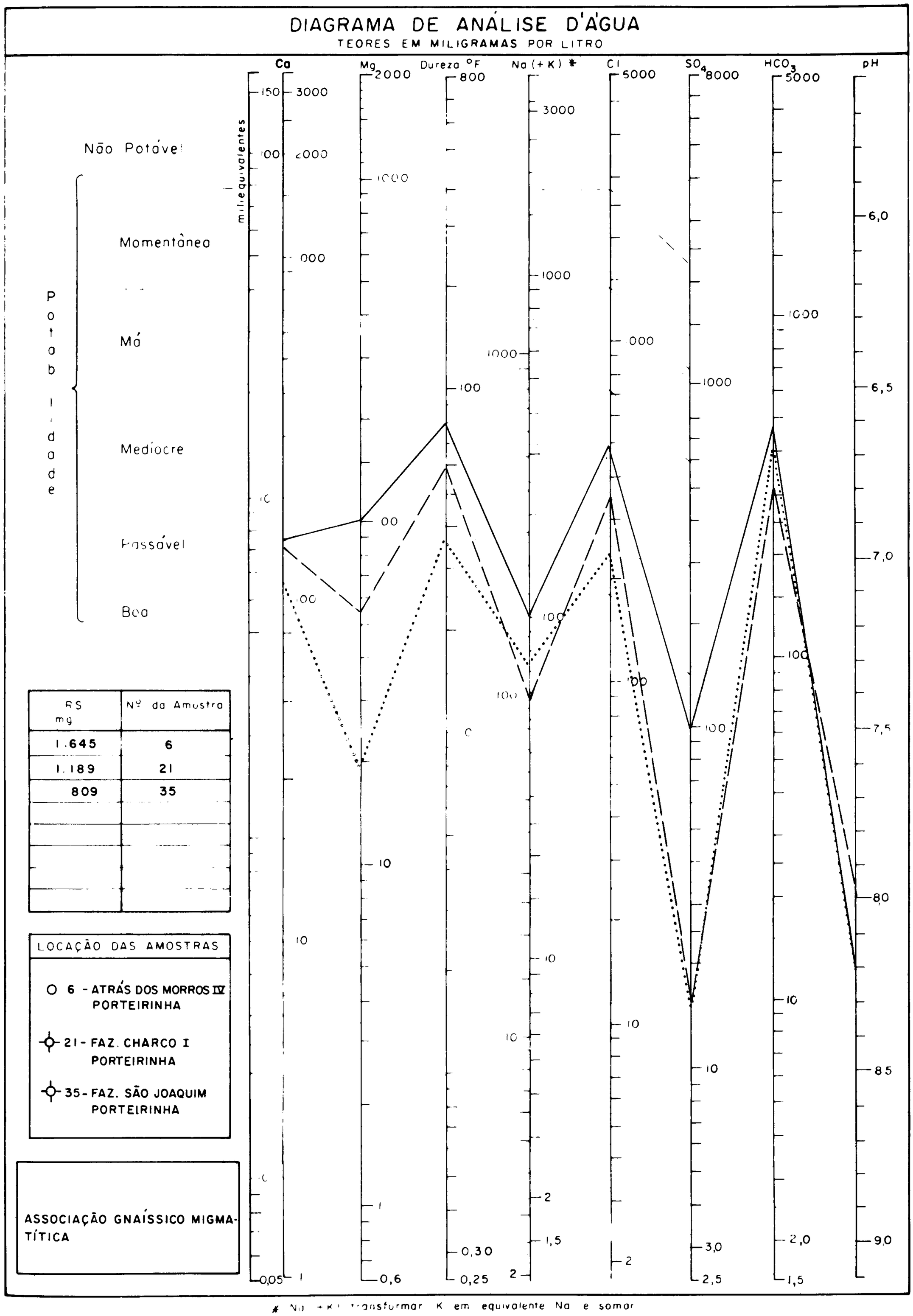


Figura 3.7 – Diagrama de análise d'água para os pontos 06, 21 e 36.

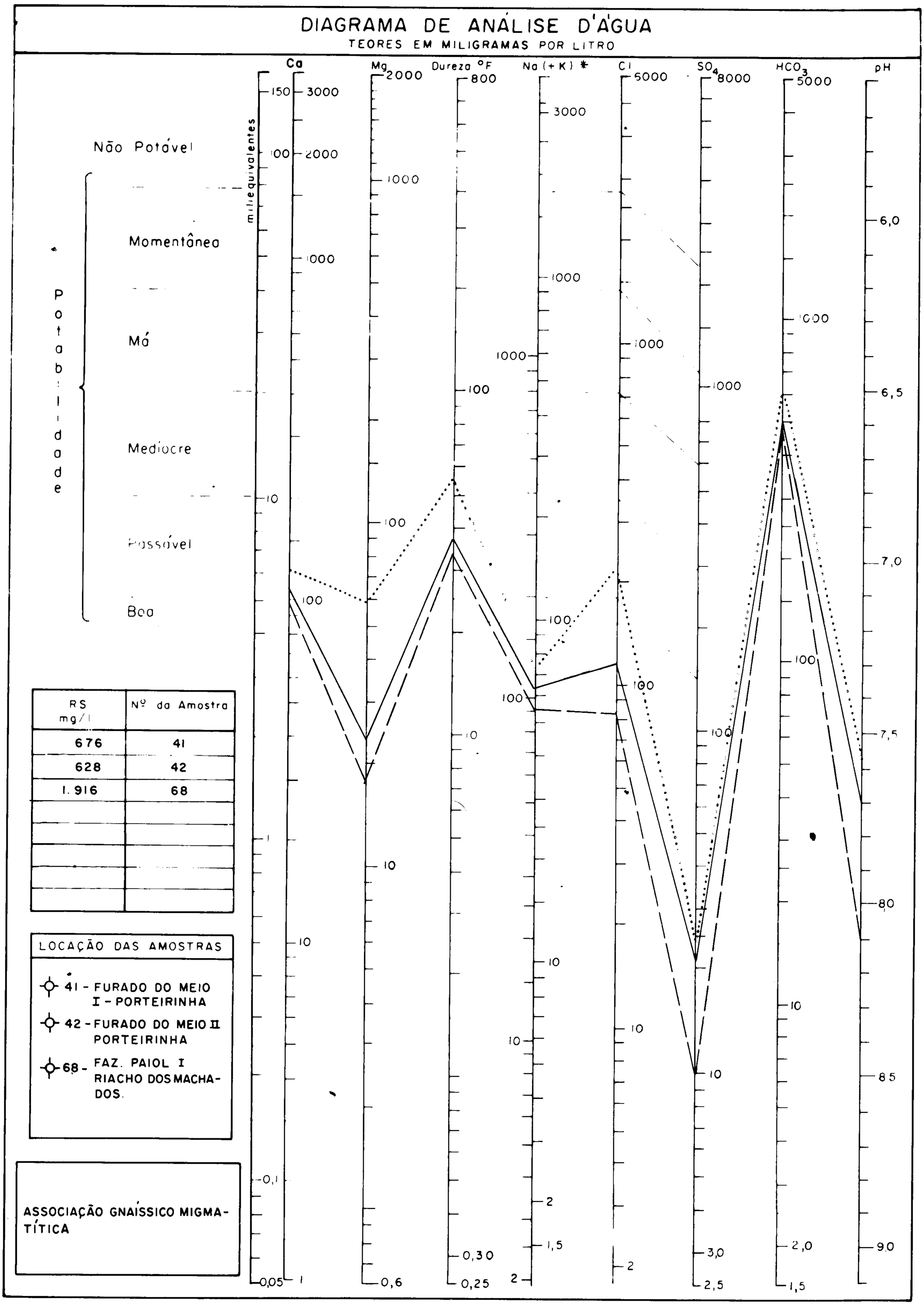


Figura 3.8 – Diagrama de análise d'água para os pontos 41, 42 e 68.

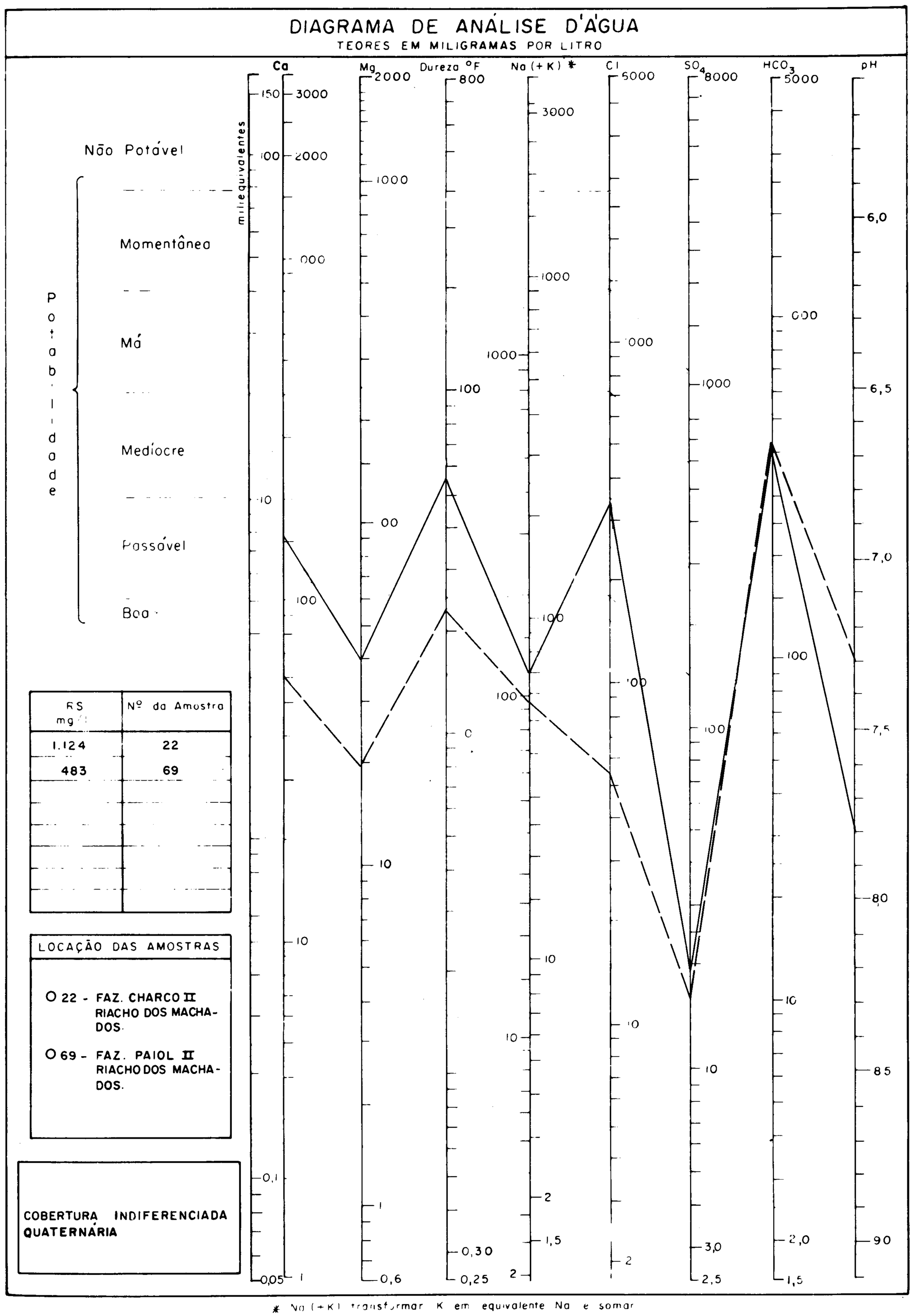


Figura 3.9 Diagrama de análise d'água para os pontos 22 e 69.

Qualidade das Águas para Uso Industrial

Segundo Custódio & Llamas (1976), os principais parâmetros nocivos às indústrias são a agressividade e o poder incrustante de certas águas. Além disso, as matérias-primas utilizadas e a qualidade do produto final condicionam as características da água a ser utilizada. Assim, por exemplo, na elaboração de produtos alimentícios exige-se que a água seja potável, e na fabricação de papéis, tintas, etc., que não apresente coloração.

Na Folha Rio Pardo de Minas, para as águas das aluviões, das coberturas indiferenciadas e do manto de intemperismo, salvo exceções, não existem restrições quanto à utilização na indústria, por apresentarem geralmente baixa salinidade.

Para as águas do sistema aqüífero fraturado, onde a salinidade é, via de regra, elevada, são necessários maiores cuidados nas especificações da qualidade prevista para determinadas indústrias. Assim, de acordo com os limites aconselháveis para diversos usos industriais (Moore, 1940; Anderson, 1966, *in*: Custódio & Llamas, *op. cit.*), confrontando os resultados de resíduo seco, alcalinidade total e dureza obtidos na área estudada, conclui-se que:

- para um total de 52 valores de resíduo seco determinados, cerca de 75% estão acima dos limites aconselháveis para as indústrias de cervejas, tecidos sintéticos e licores, e 76,9% estão acima dos limites para a fabricação de refrigerantes;

- para os valores de alcalinidade total, num total de 18 valores, cerca de 77,8% estão acima dos limites aconselháveis para as indústrias de doces, plásticos claros e tintas; 72,2% são desaconselháveis para a indústria de papéis; e, para as indústrias de cervejas e refrigerantes, não há restrições;

- para os valores de dureza total, num total de 19 valores, cerca de 26,3% não apresentam restrições para as indústrias de conservas de legumes, papéis, tecidos sintéticos, lavanderias e curtumes; 31,6% não apresentam restrições para a fabricação de refrigerantes; e o total das amostras não oferece restrições para a fabricação de cervejas.

Qualidade das Águas para Irrigação

Na determinação da qualidade das águas para irrigação, foi utilizada a classificação americana do U.S.Salinity Laboratory. Nesta classificação, os tipos de água são determinados através de um gráfico semilogarítmico, onde são plotados em abscissas os valores de condutividade elétrica em micromhos/cm a 25°C, e em ordenadas a razão de adsorção de sódio (SAR), calculada conhecidos os teores em meq/l de Na, Ca e Mg, através da seguinte expressão:

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{1/2\ (rCa + rMg)}}$$

Os tipos de água são definidos para os diversos tipos de solo e culturas que se pretenda irrigar.

No caso da Folha Rio Pardo de Minas, plotados os valores de condutividade elétrica e de SAR no gráfico da figura 3.10, foram definidos os seguintes tipos:

a) C0-S1 - Compreende águas de salinidade fraquíssima, pobres em sódio, e que podem ser utilizadas sem restrição para a irrigação. Riscos de aparecimento de teores de sódio, passíveis de troca, são mínimos. Neste campo do gráfico, estão enquadrados 21,1% do total de amostras consideradas, provenientes de nascente do quartzito da Serra do Espinhaço; de poços tubulares perfurados em paracon-

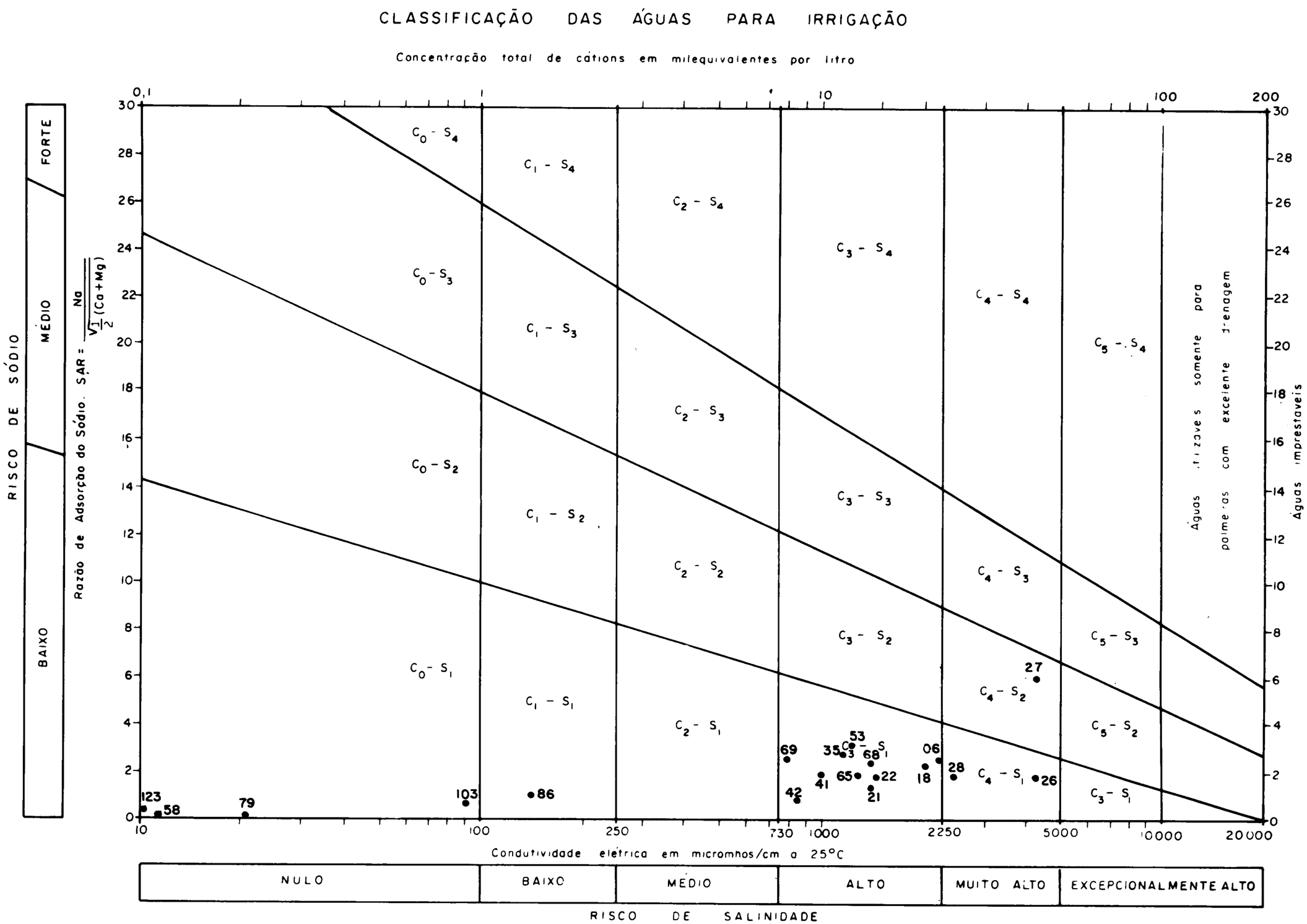


Figura 3.10 – Classificação das águas para irrigação.

glomerados do Macaúbas; e de poço escavado em cobertura terciário-quaternária.

b) C1-S1 - Abrange as águas de salinidade fraca que possuem condutividade elétrica entre 100 e 250 micromhos/cm a 25°C (resíduo seco entre 64 e 160mg/l), e são fracamente sódicas. Podem ser usadas para irrigação na maioria das culturas, em quase todo tipo de solo, com poucas possibilidades de incidentes de salinização, exceto no caso de solos de permeabilidade muito fraca. Risco de aparição de teores nocivos de sódio susceptíveis de troca são mínimos. Do total de amostras, 5,3% possuem as características deste grupo e procedem de áreas onde ocorrem coberturas terciário-quaternárias (setor oriental).

c) C3-S1 - Abrange águas de alta salinidade, condutividade entre 750 e 2.150 micromhos/cm a 25°C (resíduo seco entre 480 e 1. 440mg/l) e fracamente sódicas. Sua utilização se restringe a solos com bom sistema de drenagem; mesmo assim, devem ser tomados cuidados especiais de defesa contra a salinidade, e apenas as plantas de boa tolerância salina devem ser cultivadas. Quanto ao risco de aparecimento de teores nocivos de sódio, susceptíveis de troca, é bastante remoto. Neste campo, estão plotadas 57,8% das amostras consideradas. Oito amostras foram coletadas em áreas de gnaisses e migmatitos indivisos, e três em áreas de cobertura e manto de intemperismo.

d) C4-S1 - Identifica águas de salinidade muito forte, condutividade entre 2.250 e 5.000 micromhos/cm a 25°C (resíduo seco entre 1.440 e 3.200mg/l) e fracamente sódicas. De um modo geral, não se prestam à irrigação. Entretanto podem ser excepcionalmente utilizadas em solos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Somente as plantas de altíssima resistência salina podem ser cultivadas. Presença de teores nocivos de sódio, passíveis de troca, é mínima. Nesta classe, estão 10,5% do total das amostras, provenientes de gnaisses e migmatitos indivisos.

e) C4-S2 - Define águas de salinidade muito forte, condutividade entre 2.250 e 5.000 micromhos/cm a 25°C (resíduo seco entre 1.440 e 3.200mg/l) e medianamente sódicas. De um modo geral, não se prestam à irrigação. Entretanto podem ser excepcionalmente utilizadas em solos permeáveis bem cuidados e abundantemente irrigados. Somente as plantas de altíssima resistência salina podem ser cultivadas. Apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade. Do total de amostras, somente 5,3% se enquadram nesta classe e são procedentes de gnaisses e migmatitos indivisos.

Analisando a disposição das amostras no gráfico da figura 3.10 e as características de cada tipo definido pelo mesmo, verifica-se que do total das águas amostradas, 26,4% não oferecem restrições quanto à utilização na irrigação, e os restantes 73,6% requerem determinadas precauções para tal fim.

De um modo geral, os sistemas aqüíferos associados às zonas fraturadas não se prestam à irrigação, devido às pequenas reservas hídricas disponíveis e à qualidade da água, só indicada para um pequeno grupo de cultura, e mesmo assim quando em solos especiais.

3.7 Gestão das Águas Subterrâneas

3.7.1 Nível de Conhecimento Atual

O conhecimento atual da hidrogeologia no âmbito da Folha Rio Pardo de Minas é muito limitado e o único estudo conhecido foi desen-

volvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), através da Superintendência Regional de Belo Horizonte (SUREG/BH), em convênio com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) e a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE).

Esse trabalho, iniciado em 1974 e concluído em 1977, é um estudo de cunho regional na escala 1:500.000 e objetivou completar o Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste, realizado pela SUDENE, no extremo sul do chamado "Polígono das Secas", dotando a região de conhecimentos hidrogeológicos básicos necessários como suporte para programas integrados de desenvolvimento.

Outros trabalhos relacionados com as águas subterrâneas que se tem notícia na região, são aqueles relativos à perfuração de poços tubulares para particulares e prefeituras, visando ao fornecimento de água para a população. Esses poços vêm sendo perfurados por firmas particulares tais como MECAR, HIDROPOÇOS, HIDRORIZONTE e T.Janer, além de órgãos públicos como COPASA, COMIG (ex-CAMIG), DNOCS, CODEVASF, SUDENOR, CEDEC, SUDENE, CPRM e outros.

O trabalho objeto desta nota explicativa, veio preencher uma lacuna no conhecimento hidrogeológico do norte de Minas Gerais e fornece importantes subsídios à orientação de todos aqueles interessados na obtenção e aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos.

3.7.2 Gerenciamento dos Recursos

O gerenciamento dos recursos hídricos nos domínios da Folha Rio Pardo de Minas é exercido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), na cidade de Rio Pardo de Minas e também nos povoados de Serranópolis, Serra Nova e Nova Aurora. Nas demais localidades, com algum sistema de abastecimento, o gerenciamento é feito pelas prefeituras municipais com a participação dos moradores.

Na cidade de Rio Pardo de Minas, a água antes de ser distribuída à população, recebe tratamento e provém de captação feita no rio Preto, principal afluente do rio Pardo na área.

Em Serranópolis, a água é distribuída à população *in natura* e é procedente de barragem da CEMIG, localizada no rio Mosquito, cerca de 3km a montante do povoado. Serra Nova recebe água sem tratamento, proveniente de captação de nascente na cabeceira do córrego Suçuarana, a 4km a oeste do povoado. A água fornecida à população de Nova Aurora provém do poço tubular nº 123.

No meio rural, a água utilizada é proveniente de poços tubulares, poços escavados e nascentes existentes nas fazendas e sítios da região. Muito comuns são as pequenas escavações feitas nos leitos secos dos rios, cuja profundidade, geralmente em torno de 1m, vai sendo aumentada à medida que o nível da água vai se aprofundando.

3.7.3 Facilidades Governamentais

Na área, atuam diversas entidades governamentais que dão assistência técnica e, em alguns casos, financeira aos diversos setores da economia.

As principais entidades são:

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais: responsável, em parte, pelo abastecimento d'água na área.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais: presta assistência técnica aos pecuaristas e agricultores da região.

COMIG (ex- Companhia Mineradora de Minas Gerais: além de CAMIG) desenvolver estudos geológicos voltados para a mineração no Estado, atua na perfuração de poços, sendo também é produtora e fornecedora de insumos agrícolas.

EPAMIG - Empresa de Pesquisas Agrícolas de Minas Gerais: desenvolve pesquisas no sentido de melhorar a produção agrícola da região.

SUDENOR - Superintendência do Desenvolvimento do Norte de Minas Gerais: cria projetos para incrementar o desenvolvimento na área.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste: através de ajuda financeira e técnica, gera condições para o desenvolvimento da região.

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas: atua na perfuração de poços, construção de açudes e outras atividades ligadas aos recursos hídricos.

BB, BNB - Banco do Brasil, Banco do Nordeste do Brasil: oferecem financiamentos à pecuária e à agricultura

CEDEC - Coordenadoria Estadual da Defesa Civil: presta assistência à população nos momentos de seca, de inundações e em programas emergenciais.

A atuação desses órgãos na área, através de financiamentos à pecuária e à agricultura, assistência técnica nos vários setores da economia, e incentivos visando à fixação do homem em sua região, contribui decisivamente para o seu desenvolvimento e proporciona melhores condições de vida para a população.

4

Conclusões e Recomendações

Os objetivos visados e as metas previstas no presente estudo podem ser considerados atingidos, face aos resultados obtidos e expostos a seguir:

- Em termos de água subterrânea, na área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, merecem destaque as rochas quartzíticas do Supergrupo Espinhaço pelas condições favoráveis que oferecem à exploração de suas reservas hídricas, caracterizadas pelo intenso fraturamento normalmente aberto; pela boa qualidade das águas; e por se localizarem em áreas onde a recarga é facilitada, devido ao fraturamento e à incidência de chuvas. As aluviões, em maior escala, e as coberturas indiferenciadas quaternárias, terciário-quaternárias e terciárias, também definem fontes razoáveis de recursos hídricos subterrâneos. O embasamento cristalino é reconhecidamente um meio aqüíferos com fracas possibilidades hídricas, tanto em relação à quantidade quanto à qualidade das águas. No presente caso, mostra em determinadas zonas uma produtividade que face a carência local, pode ser considerada razoável, com vazões específicas superiores a 2m3/h/m.

- O sistema aqüíferos representado pelas aluviões pode ser considerado o mais importante da área devido à concentração da população ao longo dos vales, à boa qualidade da água que fornece e à facilidade de exploração através de poços escavados de grande diâmetro. Sua importância hidrogeológica relativa local, por esses motivos, foi considerada mediana. Outro sistema importante, embora pouco explorado na região, é aquele definido pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço e cuja importância hidrogeológica relativa local varia de negligenciável (nas partes mais elevadas da Serra do Espinhaço), até pequena

(nas regiões de relevo suave, menos acidentado, a leste desta serra). No setor ocidental, o sistema aqüíferos definido pelos gnaisses/migmatitos e granitóides da Associação Gnáissico-Migmatítica, embora com importância hidrogeológica relativa local variando de negligenciável (áreas de relevo abrupto, praticamente desabitadas e de difícil acesso), muito pequena (área situada a oeste da Serra do Espinhaço com relevo desfavorável, poços com baixas vazões e menor densidade de fraturas) a pequena (áreas com relativo fraturamento, relevo plano, águas de razoável qualidade, considerável demanda e boas vazões para essas litologias), representa ao lado das aluviões, a principal fonte de recursos hídricos para esse setor, exceto nas proximidades dos rios Mosquito e Serra Branca que não secam e suprem a demanda da população ribeirinha.

- Atualmente, a exploração de água subterrânea na área se destina a complementar a demanda para suprir as necessidades da população, dos animais e da lavoura, notadamente no setor ocidental, a oeste da Serra do Espinhaço, onde a escassez de chuvas é uma constante. A lavoura irrigada, ainda pouco desenvolvida, utiliza pequeno volume de água.

- Quanto à relação entre usos de água subterrânea e outras fontes hídricas, no setor ocidental utiliza-se mais a água subterrânea, principal fonte de recursos hídricos, ao passo que no setor oriental a água de superfície ocorrendo com relativa fartura, é suficiente para suprir as necessidades locais. Os sistemas aqüífeross mais explorados na área são, em ordem decrescente, o definido pelas rochas fraturadas da Associação Gnáissico-Migmatítica; o relativo às aluviões; e aquele definido pelas coberturas indiferenciadas (estes dois últimos são explorados através de poços escavados).

- Quanto à qualidade química, as águas apresentam salinidade elevada, com um resíduo secó (TSD) médio de 1.155,2mg/l. Entre os tipos químicos, se destacam as águas bicarbonatadas e cloretadas com 47,4% cada, vindo por último as mistas com 5,2%.

- No que diz respeito à contaminação dos sistemas aqüífeross, se existe, ainda é incipiente; mas devido ao uso contínuo e em larga escala de defensivos agrícolas na lavoura, não pode ser descartada a possibilidade desta vir acontecer a médio prazo, principalmente nas áreas de lavouras de algodão, caso nada seja feito para proteger os aqüífeross, em geral muito vulneráveis.

- Em relação à vulnerabilidade dos aqüífeross, o sistema definido pelas rochas fraturadas da Associação Gnáissico- Migmatítica e do Supergrupo Espinhaço, é o mais vulnerável e no presente estudo foi classificada como alta. Em seguida vêm os sistemas caracterizados pelas aluviões, com vulnerabilidade moderada; pelas coberturas indiferenciadas com vulnerabilidade baixa; e pelos xistos, paraconglomerados e metavulcânicas, com vulnerabilidade negligenciável.

- Quanto à qualidade das águas para consumo humano e de animais, para uso industrial e na irrigação, a potabilidade varia de boa a medíocre. Para os animais, a potabilidade é boa, exceto para duas amostras que apresentaram valores de resíduo seco acima do limite permitido para aves. Para utilização no setor industrial, na área abrangida pela Folha Rio Pardo de Minas, as águas provenientes das aluviões, das coberturas indiferenciadas e do manto de intemperismo, salvo exceções, não apresentam restrições devido à sua boa qualidade e baixa salinidade. As águas do sistema aqüíferos fraturado apresentam restrições ao seu uso na indústria, principalmente em relação ao resíduo seco, à alcalinidade total e à dureza total, mais especificamente para as

indústrias de cerveja, refrigerantes, tecidos sintéticos, licores, papéis, doces e tintas. Em relação à qualidade da água para a irrigação, do total de resultados de análises interpretados para tal fim, 26,4% das águas amostradas não oferecem restrições, e os restantes 73,6% requerem determinadas precauções para sua utilização, pois são águas de salinidade alta a muito alta (resíduo seco entre 480 a 3.200mg/l).

- A nível de conhecimento atual, o único documento sobre hidrogeologia da área estudada, é um trabalho de cunho regional na escala 1:500.000, executado pela CPRM e concluído em 1977. O gerenciamento dos recursos hídricos na região é exercido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) na cidade de Rio Pardo de Minas e nos povoados de Serranópolis, Serra Nova e Nova Aurora. Nas demais localidades, com algum sistema de abastecimento, o gerenciamento é feito pelas prefeituras municipais. As facilidades governamentais estão presentes na área através dos órgãos COPASA, EMATER, COMIG (ex-CAMIG), EPAMIG, SUDENOR, SUDENE, CEDEC, BB, BNB entre outras, que dão apoio aos vários setores da economia regional por meio de financiamentos, assistência técnica e incentivos, objetivando o desenvolvimento da região.

As recomendações julgadas importantes no presente trabalho são as seguintes:

- procurar preservar a vegetação nas proximidades das nascentes para manter a perenidade das mesmas;
- através da orientação pelos órgãos governamentais atuantes na região, racionalizar a utilização de defensivos agrícolas como preventiva para evitar a degradação dos mananciais;
- orientar os proprietários de poços tubulares quanto à necessidade da proteção sanitária, desses poços para evitar a contaminação do aqüíferos;
- alertar os órgãos governamentais atuantes na área no sentido de que, na implantação de programas de abastecimento de comunidades, sejam feitos estudos técnicos que levem em consideração as características hidrogeológicas da região, a fim de se evitar problemas, tais como perda total ou parcial de reservatórios metálicos, susceptíveis à corrosão devido à agressividade das águas da região, via de regra com elevado teor salino;
- incrementar a exploração do sistema aqüíferos aluvial por meio de poços escavados de grande diâmetro, através de orientação de orgãos competentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. O Cráton do São Francisco. *Rev.Bras.Geoc.*, São Paulo, 1977. 7:349-64.

ALMEIDA ABREU, P.A. *et al.* "Elementos da zona de cisalhamento dúctil da borda oriental da Serra do Espinhaço, Minas Gerais". *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 1986. *Anais*, Goiânia, SBG, 1986. v.3, p. 1219-25.

BRAUN, O.P.G. "O termo "Associação" e seu emprego na taxonomia da estratigrafia brasileira". *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. *Anais*, Porto Alegre, SBG, 1974. v.2,p. 151-59.

CETESB. *Água Subterrânea e Poços Tubulares.* São Paulo, 1978. 482p. il. (tradução da primeira edição do original norte-americano publicado pela JOHNSON Division UOP, Inc., Saint Paul, Minnesota. 3 ed. rev.)

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. *Projeto Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos na escala 1:100.000 - roteiro metodológico de elaboração.* Rio de Janeiro, s. ed., 1986 (documento interno).

COSTA, J.A. & MORENO, E.F. *Manual de métodos cuantitativos en el estudio de aguas subterraneas.* Centro Regional de Ayuda Tecnica, México, 1966. 105 p.

COSTA, L.A.M. *et al. Projeto Leste do Tocantins - Oeste do Rio São Francisco.* Rio de Janeiro, s. ed., 1976. (Relatório inédito DNPM/CPRM).

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. *Hidrologia Subterránea.* Barcelona, Omega, 1976.

DRUMOND, J.B.V. *et al. Projeto Porteirinha-Monte Azul.* Belo Horizonte, s. ed., 1980. (Relatório inédito DNPM/CPRM).

FOSTER, S. & HIRATA, R. *Determinación del riesgo de contaminacion de aguas subterráneas.* Centro Panamericano de Ingenieria Sanitária y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, 2da. edición revisada, 1991. 81 p. il.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. *Diagnóstico ambiental do Estado de Minas Gerais.* Belo Horizonte, 1983. 1v. (Série de Publicações Técnicas, 10). mapas.

GALVÃO, M.V. ed. *Geografia do Brasil; grande Região Sudeste.* Rio de Janeiro, IBGE, 1977. v.5.

HANCOCK, P.L. Brittle microtectonics: principles and practice. *Journal of Structural Geology*, 1985. 7(3/4):437-57.

KARFUNKEL, J. *et al.* "Contribuição à estratigrafia e tectônica da faixa de dobramento Araçuaí". *In*: Simpósio sobre o Craton do São

Francisco e suas Faixas Marginais. SBG - Núcleo Bahia, 1981. p. 158-63.

KIANG, C.H. *et al.* "Considerações sobre a Evolução Tectônica da Bacia do São Francisco". *In*: Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Belém, 1988. *Anais*, Belém, SBG, 1988. v. 5, p. 2076-90.

LEAL, A.S. *Considerações sobre a circulação da água em rochas cristalinas e salinização em região árida; área piloto de Juazeiro/Curaçá - Bahia.* Recife, SUDENE, 1969. 28 p. (BRASIL SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, Série Hidrogeologia, 24).

LEAL, A.S. *Inventário hidrogeológico básico do Nordeste; folha no. 19 - Aracaju - NO.* Recife, SUDENE, 1971. 242p. (BRASIL. SUDENE - Divisão de Hidrogeologia, Série Hidrogeologia, 33).

LEAL, A.S. *Mapas hidrogeológicos do PLGB-modelo e legenda.* Belo Horizonte, s. ed., 1991. (Documento interno).

LIMA, J.E.S. *Projeto Hidrogeologia do Centro de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo; folha Belo Horizonte-SE.* Belo Horizonte, s. ed., 1980. (Relatório inédito DNPM/CPRM).

LOGAN, J. *The interpretation of chemical analysis of water.* Recife, s. ed., 1965. (Relatório inédito USAID).

MARGAT, J. *Carte hydrogéologique de la France à l'échelle de 1:1.500.000 - systémes aquiféres. Notice explicative.* Paris, BRGM, 1980. 36 p. il. mape.

PESSOA, M.D. *Inventário hidrogeológico básico do Nordeste - folha no. 13 - Teresina-SE.* Recife, SUDENE, 1978. 251 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, Série Hidrogeologia, 57)

PLATT, J.P. & VISSERS, R.L.M. Extensional structures in anisotropic rocks. *Journal of Structural Geology*, 1980. 2(4):397-10.

SANTOS, M. *Projeto Hidrogeologia do Norte de Minas Gerais e Sul da Bahia; folha no.31, Brasília-SE.* Belo Horizonte, s. ed., 1977. (Relatório inédito DNPM/CPRM).

SCHOELLER, J. *Les eaux souterraines.* Paris, Masson, 1962. 611 p.

SUDENE. *Elementos de Hidrogeologia Prática.* Recife, SUDENE, 1967.Aé372p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogelogia, Série Hidrogeologia, 13).

UHLEIN, A. *et al.* Estruturação tectônica do Supergrupo EspinhaçoAéna região de Diamantina (MG). *Rev.Bras.Geoc.*, São Paulo, 1986. 16(2):212-16.

SÚMULA DE DADOS DE PRODUÇÃO

1.Mapeamento Geológico

Área estudada (km^2) 3.000

2.Hidrogeologia

2.1 Cadastramento de pontos d'água

Poços tubulares 41
Poços escavados 74
Nascentes 13

2.2 Amostragem

Água para análise físico-química 28
Água para a determinação de resíduos de defensivos agrícolas 04

ILUSTRAÇÕES FOTOGRÁFICAS

Foto 01

Pequena cisterna, revestida com manilhão de concreto, escavada no leito seco do córrego Lagoa Nova, Fazenda Pé Grosso I, município de Riacho dos Machados (Ponto nº 72).

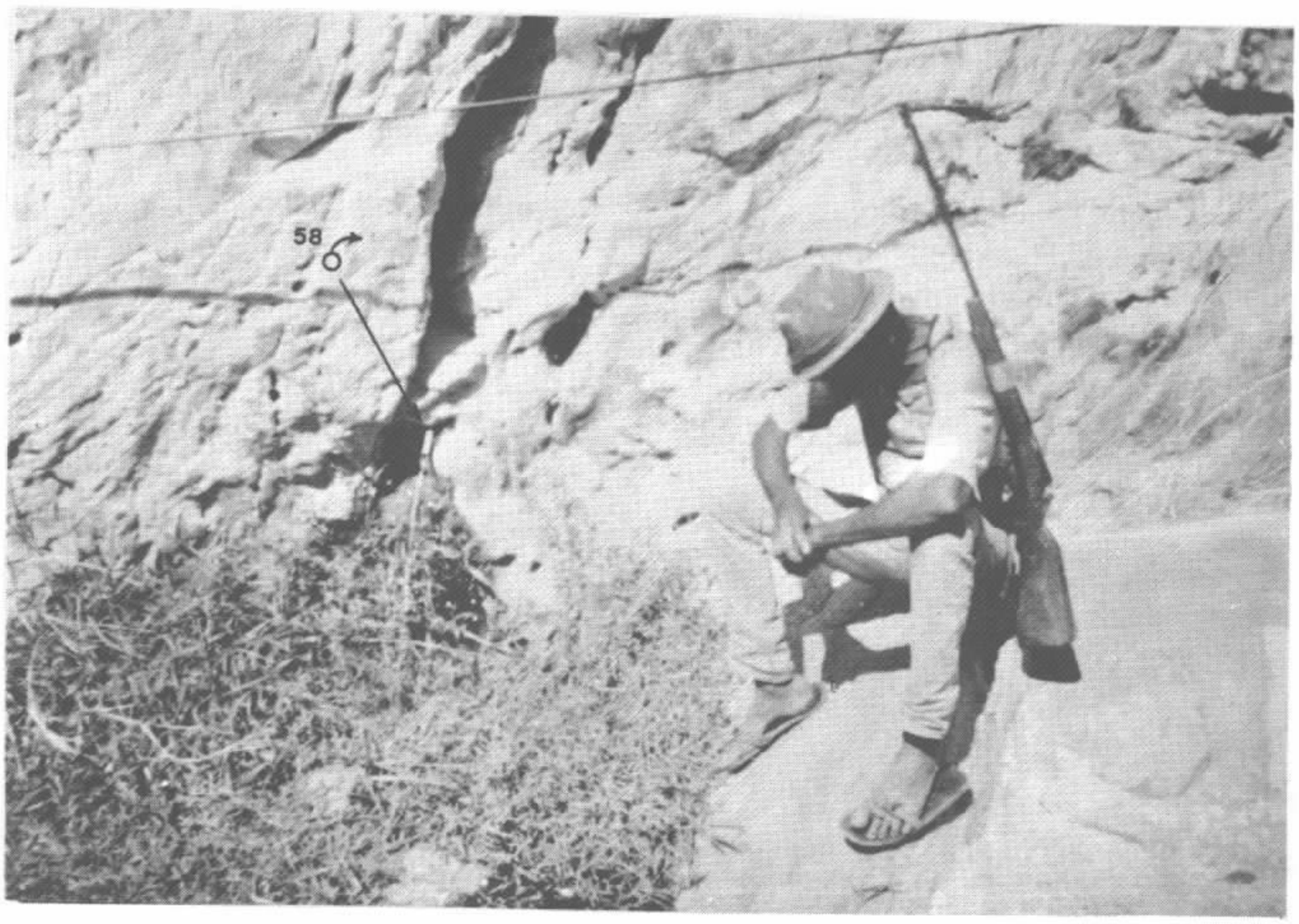


Foto 02

Nascente proveniente de fratura no quartzito da Serra do Espinhaço. Margem esquerda do rio Mosquito (Ponto nº 58).

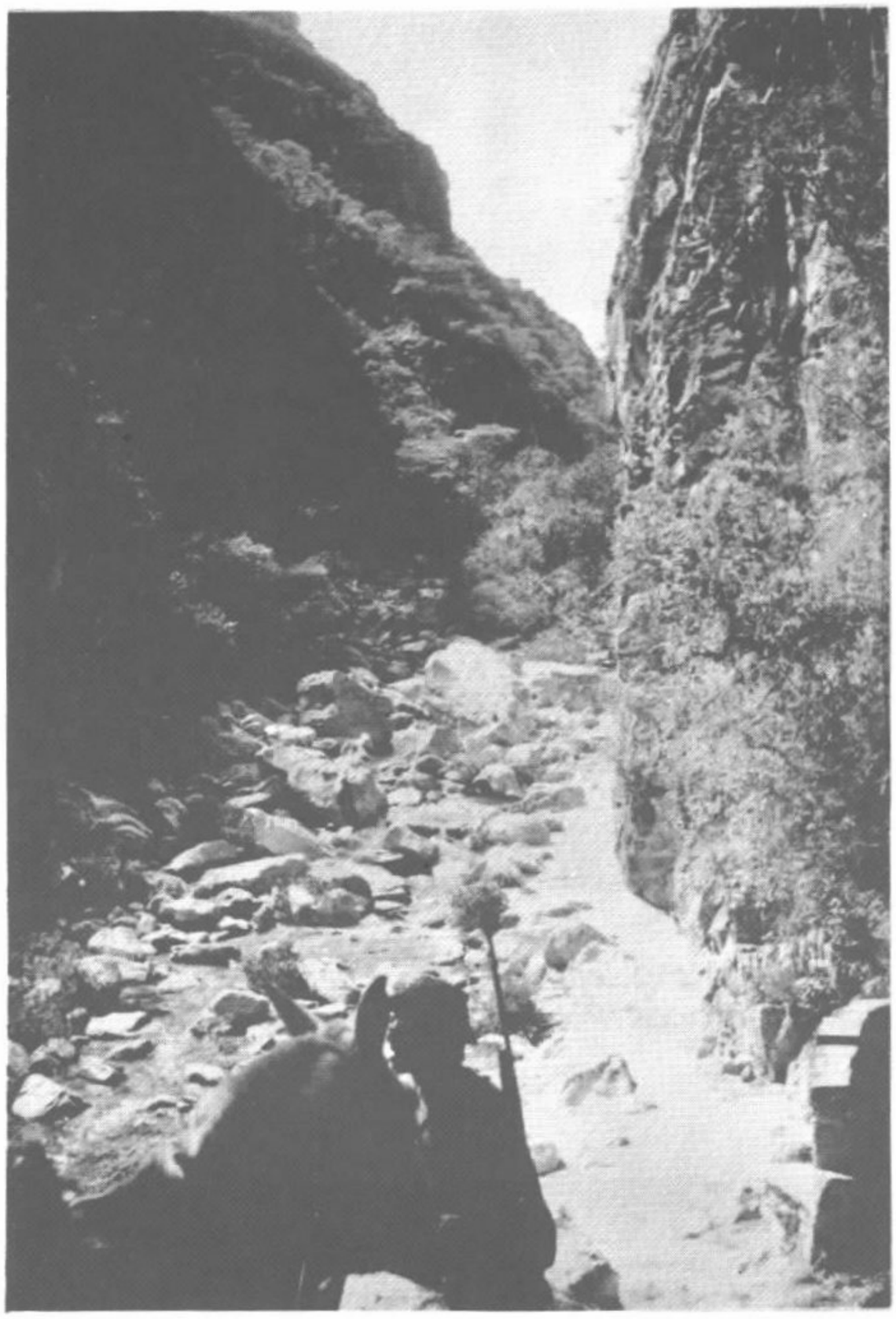


Foto 03
Vista Parcial do canyon do rio Mosquito, encaixado em quartzitos intensamente fraturados da Serra do Espinhaço (200m à jusante da foto 2).

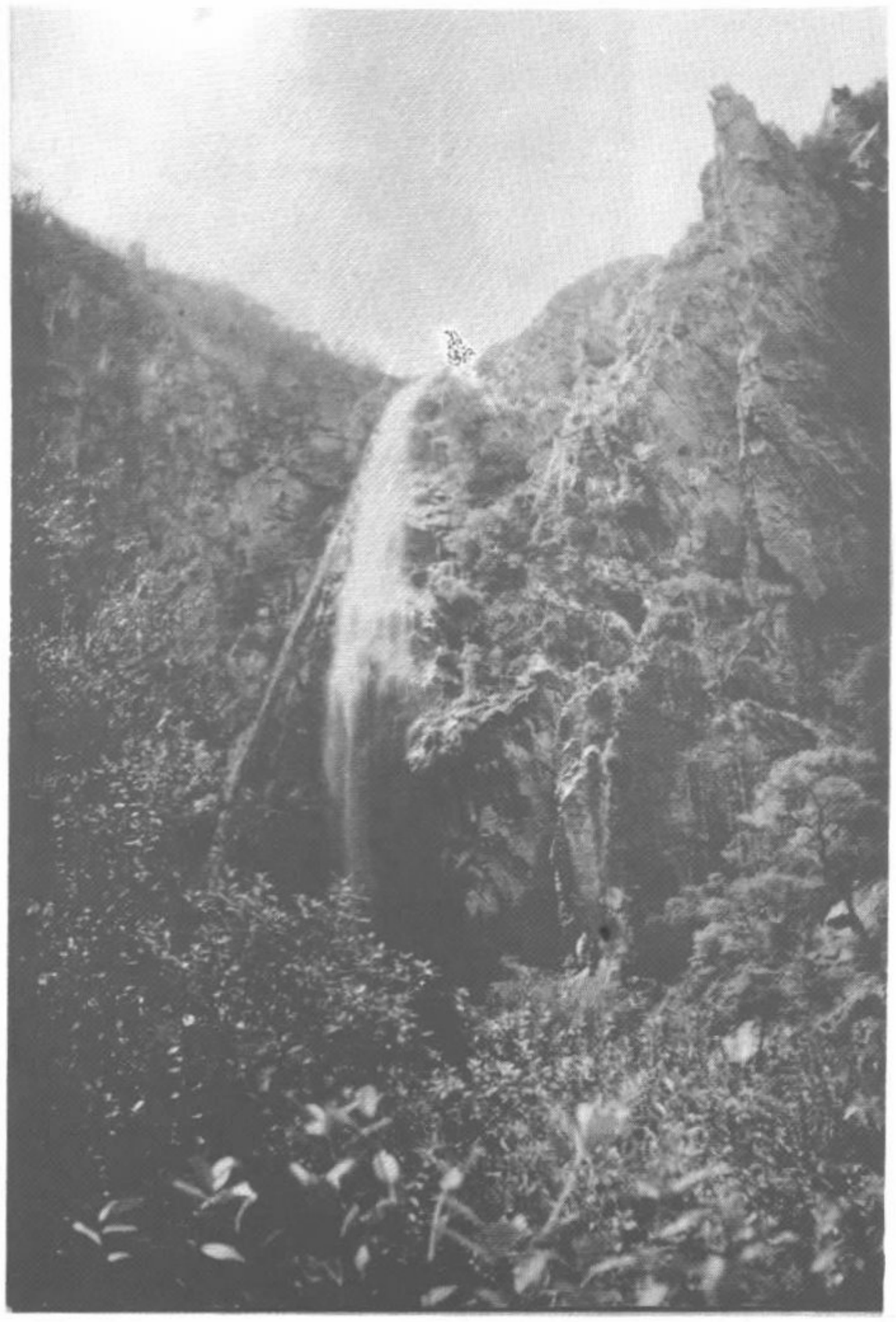


Foto 04
Queda d'água com aproximadamente 30m de desnível, no rio Serra Branca junto a pequena barragem na borda ocidental da Serra do Espinhaço. Note-se as várias fraturas no quartzito.

Foto 05

Pequena escavação no leito seco do ribeirão Butiá, próximo à localidade homônima.

Foto 06

Aspecto do ribeirão Sítio Novo na época da estiagem. Proximidades da Fazenda Sítio Novo (município de Riacho dos Machados).

Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (Período 1985 a 1993)

Folhas em Execução

NA.19-X	Alto Rio Negro[1]	SB.24-Y-B	Iguatu[1]	SE.22-X-A-II	Sanclerlândia[1]
NA.19-X-C	Sem denominação	SB.24-Z-B	Caicó[1]	SG.22-X-B	Goiânia[1] (rev.)
NA.19-X-D	Sem denominação	SB.24-Z-D-III	Boqueirão[1]	SE.23-Z-B-IV	Serro[1]
NA.19-Y	Alto Rio Negro[1]	SB.24-Z-D-V	Sumé[1]	SE.23-Z-C-VI	Belo Horizonte[1]
NA.19-Y-B	Rio Aiari[1]	SB.24-Z-D-VI	Santa Cruz do Capibaribe[1]	SE.23-Z-D-I	Conceição do Mato Dentro[1]
NA.19-Y-D	Rio Iauaretê	SC.20-Z-C-V	Paulo Saldanha[1]	SE.23-Z-D-IV	Itabira[1]
NA.19-Z	Alto Rio Negro[1]	SC.24-Z-C-VI	Rio Pardo[1]	SE.24-V-A	Almenara[1]
NA.19-Z-A	Rio Içana[1]	SC.22-X-A	Redenção[4]	SF.21-V-B	Aldeia Tomazia[1]
NA.19-Z-B	Cucuí[1]	SC.23-X-B-VI	Barragem[1]	SF.21-V-D	Porto Murtinho[1]
NA.19-Z-C	Rio Uaupés[1]	SC.23-X-D-II	São Raimundo Nonato[1]	SF.21-X-A	Aquidauana[1]
NA.19-Z-D	Pico da Neblina[1]	SC.23-X-D-IV	Campo Alegre de Lourdes[1]	SF.23	Rio de Janeiro[8]
NA.20-V	Rio Parima[1]	SC.23-Y-D-VI	Cariparé[1]	SF.24-V-A	Cachoeiro de Itapemirim[1]
NA.20-X	Boa Vista[1]	SC.23-Z-A/Y-B	Curimatã/Corrente[1]	SG.22-X-C-III-4	Campo Largo[7]
NA.20-Y	Serra do Imeri[1]	SC.23-Z-C-IV	Riachão das Neves[1]	SG.22-X-C-VI-2	Contenda[7]
NB.20-Z	Vila Surumu[1]	SC.24	Aracaju[8]	SG.22-X-D-I-1	Rio Branco do Sul[7]
SA.19-V	Alto Rio Negro[1]	SC.24-V-A	Paulistana[1]	SG.22-X-D-I-3	Curitiba[7]
SA.19-V-B	Sem denominação	SC.24-V-A-I	Riacho Queimadas[1]	SG.22-X-D-I-4	Piraquara[7]
SA.19-X	Alto Rio Negro[1]	SC.24-V-C	Petrolina[1]	SG.22-X-D-IV-1	Araucária[7]
SA.19-X-A	Rio Curicuriari[1]	SC.24-X-D-V	Arapiraca[1]	SG.22-X-D-IV-2	São José dos Pinhais[7]
SA.19-X-B	São Gabriel da Cachoeira[1]	SC.24-Y-C	Jacobina[1]	SG.22-X-D-IV-3	Mandirituba[7]
SA.20-V	Santa Isabel do Rio Negro[1]	SC.24-Y-C-V	Morro do Chapéu[1]	SG.22-Z-D	Florianópolis[1]
SA.22-X-D	Belém[4]	SC.24-Y-D	Serrinha[1] (rev.)	SH.22-V-C-IV	Santa Maria[3]
SA.23	São Luís[8]	SD.22-Z-C-V	Goiás[1]	SH.22-X-B-I	Tubarão[1]
SA.23-V-C	Castanhal[4]	SD.23-X-C-V	Coribe[1]	SH.22-X-B-II	Laguna[1]
SA.24-Y-D-V	Irauçuba[3]	SD.24-V-A-I	Seabra[1]	SH.22-X-B-IV	Criciúma[1]
SB.23-V-A	Rio Cajuapara[4]	SD.24-Y-B-IV	Poções[1]	SH.22-Y-B	Porto Alegre[1]
SB.23-X-B	Caxias[4]	SE.21-Y-D	Corumbá[1]	SH.22-Y-C	Pedro Ósorio[1]
SB.24	Jaguaribe[8]	SE.22	Goiânia[8]		

Folhas Impressas

NA.20-Z-B-V	Monte Roraima[1]	SC.24-V-A-V	Afrânio[1]	SD.24-Y-A	Vitória da Conquista[2]
NB.20-Z-B-VI	Monte Caburaí[1]	SC.24-V-A-VI	Riacho do Caboclo[1]	SD.24-Y-B-V	Ibicaraí[1]
NB.20-Z-D-II	Rio Quinô[1]	SC.24-V-B-IV	Cristália[1]	SD.24-Y-B-VI	Itabuna[1]
NB.20-Z-D-III	Rio Cotingo[1]	SC.24-V-C-III	Petrolina[1]	SE.22-V-B	Iporã[2]
NB.20-Z-D-V	Vila Pereira[1]	SC.24-V-D	Uauá[2]	SE.22-X-A	São Luís de Montes Belos[2]
NB.20-Z-D-VI	Rio Viruquim[1]	SC.24-V-D-I	Itamotinga[1]	SE.22-X-A-VI	Nazário[1]
NB.21-Y-A-IV	Sem denominação	SC.24-X-C-V	Santa Brígida[1]	SE.22-X-B	Goiânia[2]
NB.21-Y-C-I	Sem denominação	SC.24-X-C-VI	Piranhas[1]	SE.22-X-B-I	Nerópolis[1]
SA.22-Y-D	Altamira[4]	SC.24-Y-B	Senhor do Bonfim[2]	SE.22-X-B-II	Anápolis[1]
SA.23-Y-D	Santa Inês[4]	SC.24-Y-B-VI	Euclides da Cunha[3]	SE.22-X-B-IV	Goiânia[1]
SB.20-Z-B-VI	Mutum[1]	SC.24-Y-C	Jacobina[2]	SE.22-X-B-V	Leopoldo de Bulhões[1]
SB.22-Z-A	Serra dos Carajás[4]	SC.24-Y-D	Serrinha[2]	SE.22-X-B-VI	Caraíba[1]
SB.22-Z-D	Araguaína[4]	SC.24-Y-D-II	Gavião[1]	SE.22-X-D	Morrinhos[2]
SB.23-V-B	Vitorino Freire[4]	SC.24-Y-D-IV	Mundo Novo[1]	SE.23-V-B	São Romão[2]
SB.23-V-C	Imperatriz[4]	SC.24-Y-D-V	Pintadas[1]	SE.23-Z-B	Guanhães[2]
SB.24-D-V	Mombaça[1]	SC.24-Y-D-VI	Serrinha[1]	SE.23-Z-C	Belo Horizonte[2]
SB.24-X-B-/D	Areira Branca/Mossoró[2]	SC.24-Z-A-II	Jeremoabo[1]	SE.23-Z-D	Ipatinga[2]
SB.24-Y-B-II	Catarina[1]	SC.24-Z-A-III	Carira[1]	SE.24-Y-C-V	Baixo Guandu[1]
SB.24-Y-C-V	Patos(PI)[1]	SC.25-V-A-II	Vitória de Santo Antão[1]	SE.24-Y-C-VI	Colatina[1]
SB.24-Y-C-VI	Simões[1]	SD.21-Y-C-II	Pontes e Lacerda[1]	SF.23-V-D-V-4	São Gonçalo de Sapucaí[1]
SB.24-Z-B-II	Currais Novos[3]	SD.21-Z-A	Rosário do Oeste[2]	SF.23-X-B-I	Mariana[1]
SB.24-Z-B-V	Jardim do Seridó[3]	SD.21-Z-C	Cuiabá[2]	SF.23-X-B-II	Ponte Nova[1]
SB.24-Z-C	Serra Talhada[2]	SD.22-X-D	Porangatu[2]	SF.23-X-B-IV	Rio Espera[1]
SB.24-Z-C-VI	Afogagos da Ingazeira[1]	SD.22-Z-B	Uruaçu[2]	SF.23-X-C-III	Barbacena[1]
SB.24-Z-D-I	Patos(PB)[1]	SD.22-Z-C	Ceres[2]	SF.23-X-C-VI	Lima Duarte[1]
SB.24-Z-D-II	Juazeirinho[1]	SD.22-Z-D	Goianésia[2]	SF.23-X-D-I	Rio Pomba[1]
SB.24-Z-D-IV	Monteiro[1]	SD.22-Z-D-IV	Jaraguá[1]	SF.23-Y-B-II-2	Heliodora[1]
SB.25-V-C	Natal[2]	SD.22-Z-D-V	Pirenópolis[1]	SF.24-V-A-II	Afonso Cláudio[1]
SB.25-V-C-IV	João Câmara[1]	SD.23-X-B	Ibotirama[2]	SF.24-V-A-III	Domingos Martins[1]
SB.25-Y-C-V	Limoeiro[1]	SD.23-X-D	Bom Jesus da Lapa[2]	SF.24-V-A-V	Cachoeiro de Itapemirim[1]
SC.20-V-B-V	Porto Velho[1]	SD.23-Y-C	Brasília[2]	SF.24-V-A-VI	Piúma[1]
SC.20-V-C-V	Abunã[1]	SD.23-Y-D	Buritis[2]	SG.22-Z-B	Joinville[2]
SC.20-V-C-VI	Mutumparaná[1]	SD.23-Z-D-IV	Janaúba[3]	SH.22-Y-A	Cachoeira do Sul[2]
SC.20-V-D-I	Jaciparaná[1]	SD.24-V-A-II	Utinga[1]		
SC.22-X-B	Conceição do Araguaia[4]	SD.24-V-A-V	Lençóis[1]		
SC.24-V-A-II	Paulistana[1]	SD.24-V-C	Livramento do Brumado[2]		
SC.24-V-A-III	Santa Filomena[1]	SD.24-V-C-II	Mucugê[1]		
SC.24-V-A-IV	Barra do Bonito[1]				

Folhas em Editoração

NA.20-X-C-III	Paredão[1]	SB.22-Y-B	São Félix do Xingu[4]	SD.22-Z-C-VI	Itaguaru[1]
NA.20-X-C-VI	Serra do Ajarani[1]	SB.22-Z-B	Xambioá[4]	SD.23-Z-D-II	Monte Azul[3]
SA.23-V-D	Turiaçu[4]	SB.22-Z-C	Xinguara[4]	SD.23-Z-D-IV	Rio Pardo de Minas[3]
SA.23-X-C	Cururupu[4]	SB.23-V-D	Barra do Corda[4]	SE.22-X-A-III	Itaberaí[1]
SA.23-Y-B	Pinheiro[4]	SB.23-X-A	Bacabal[4]	SG.22-Z-D-I-2	Botuverá[1]
SA.23-Z-A	São Luís[4]	SB.23-X-C	Presidente Dutra[4]	SG.22-Z-D-II-1	Brusque[1]
SA.23-Z-C	Itapecuru-Mirim[4]	SB.24-V-C-III	Crateús[3]	SG.22-Z-D-V	Florianópolis[1]
SB.22-X-C	Serra Pelada[4]	SC.23-Y-D	Formosa do Rio Preto[1]	SH.22-Y-A-I-4	Passo do Salsinho[1]
SB.22-X-D	Marabá[4]	SC.23-Z-C	Santa Rita de Cássia[1]	SH.22-Y-C-II	Piratini[1]

[1] Levantamento Geológico/Geoquímico/Metalogenético nas escalas 1:500:000, 1:250:000, 1:100:000, 1:50:000; [2] Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais escala 1:250:000; [3] Mapas de Previsão de Recursos Hídricos Subterrâneos escala 1:100:000; [4] Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solos e de Vegetação para a Área do Programa Grande Carajás - Subprojeto Recursos Minerais; [5] Levantamento geológico visando ao meio ambiente; [6] Levantamentos aerogeofísicos; [7] Integração geológico/geoquímica de regiões metropolitanas

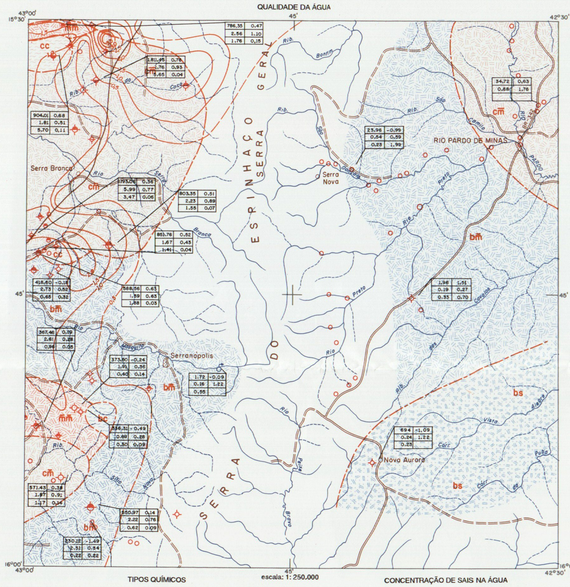
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE MINAS E METALURGIA
COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS

PROGRAMA LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS DO BRASIL
CARTA HIDROGEOLÓGICA - ESCALA 1:100 000 - ANEXO 1

CARTA HIDROGEOLÓGICA
FOLHA RIO PARDO DE MINAS - SD.23-Z-D-V
ESCALA 1:100.000 - CPRM, 1994

FOLHA SD.23- Z- D -V RIO PARDO DE MINAS

QUALIDADE DA ÁGUA



TIPOS QUÍMICOS

- bc — Bicarbonatada de cálcio
- cc — Cloretada de cálcio
- bs — Bicarbonatada de sódio (+K)
- cm — Cloretada mista
- bm — Bicarbonatada mista
- mm — Mista mista
- Área sem informação
- Limite de áreas de tipos químicos de águas subterrâneas diferentes

CONCENTRAÇÃO DE SAIS NA ÁGUA

- Inferior a 1g / l
- Entre 1 e 2g / l
- Entre 2 e 4g / l
- Superior a 4g / l

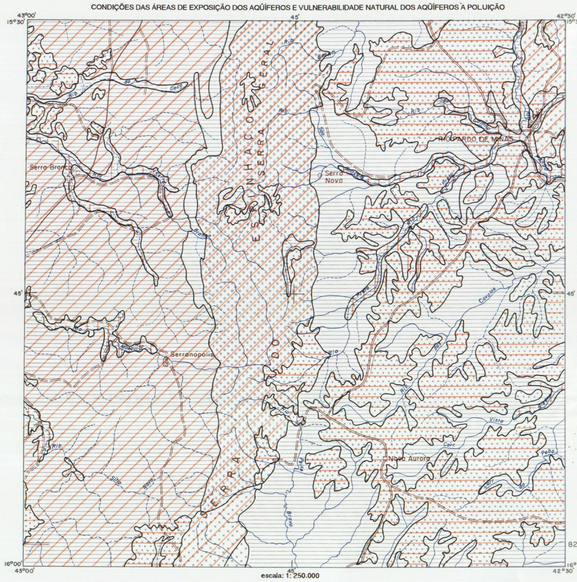
DADOS DE QUALIDADE DE ÁGUAS

1	2
3	4
5	6

1 - Dureza total, em mg / l de $CaCO_3$
2 - Índice de troca de base (ifb)
3 - Taxa de absorção de sódio (SAR)
4 - rMg / rCa
5 - rCl / $rHCO_3$
6 - rSO_4 / rCl

Curvas de igual resíduo seco (g / l)tracejadas quando aproximadas

CONDIÇÕES DAS ÁREAS DE EXPOSIÇÃO DOS AQÜÍFEROS E VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQÜÍFEROS À POLUIÇÃO

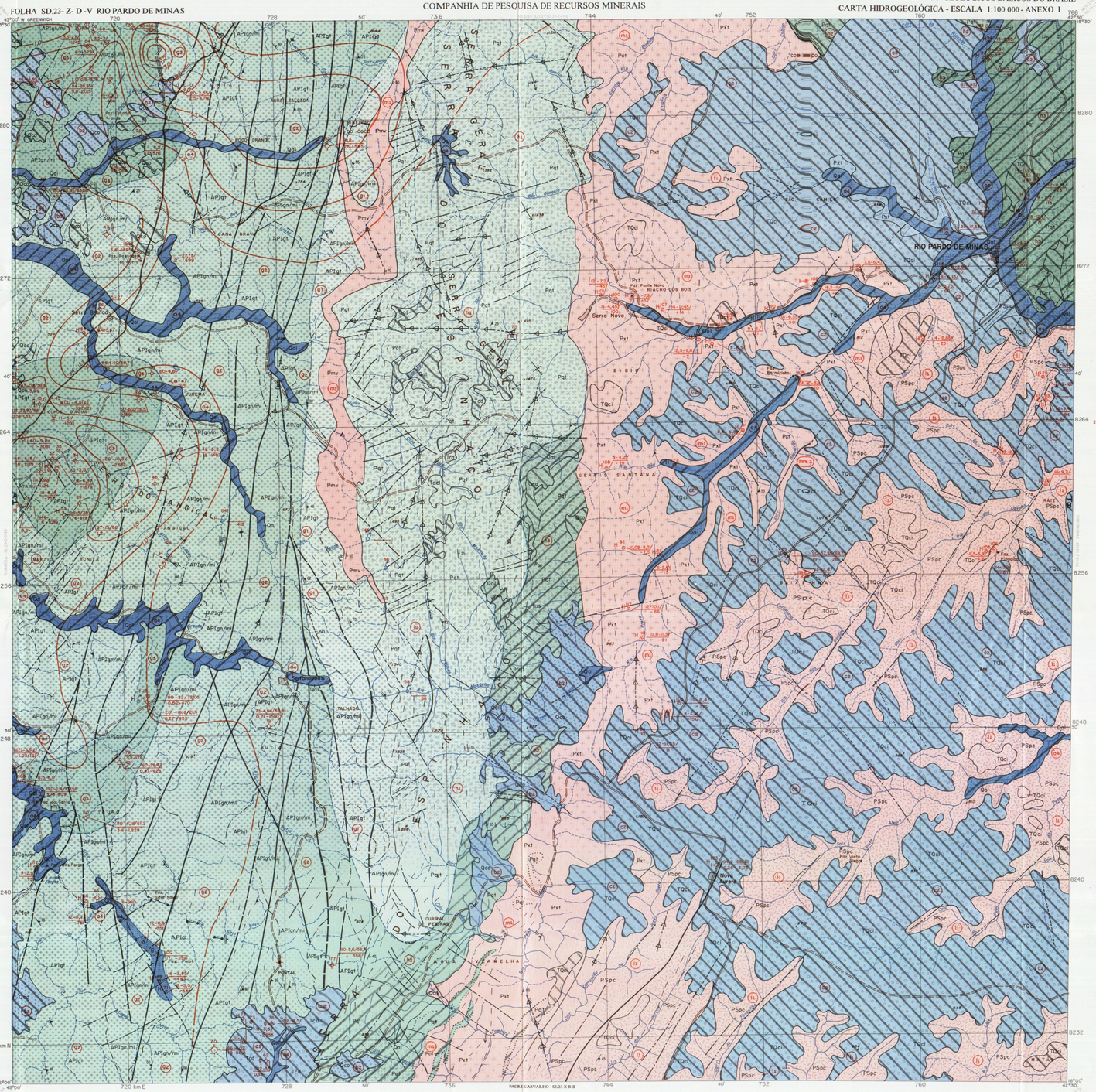


CONDIÇÕES DAS ÁREAS DE EXPOSIÇÃO DOS AQÜÍFEROS

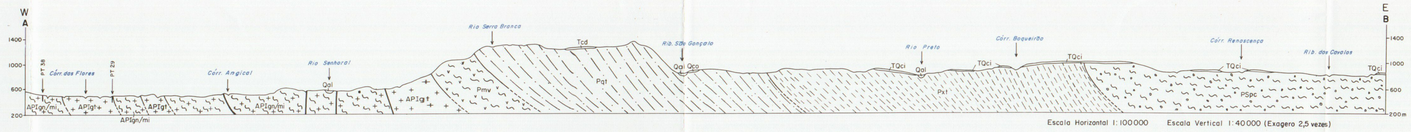
- Área de recarga de aqüíferos integralmente sobrepostos a aqüíferos fraturados descontínuos,sujeita a inundações periódicas.
- Área de recarga em coberturas inconsolidadas sobre aqüíferos fraturados.
- Área de recarga de aqüíferos fraturados com relevo acidentado.
- Área de recarga/descarga de aqüíferos fraturados com relevo moderado a plano.
- Área de rochas impermeáveis a semi-permeáveis com infiltração negligenciável.

VULNERABILIDADE NATURAL DOS AQÜÍFEROS À POLUIÇÃO

- Negligenciável
- Baixa
- Moderada
- Alta



SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA



HIDROGEOLOGIA

IMPORTÂNCIA HIDROGEOLÓGICA RELATIVA LOCAL				SISTEMAS AQÜÍFEROS
NEGLIGENCIÁVEL 1	MUITO PEQUENA 2	PEQUENA 3	MEDIANA 4	
			a4	a - Aqüíferos intergranulares descontínuos, livres, subordinados a cursos d' água. Espessura de até 23m. Permeabilidade alta a baixa. Alimentação direta através dos rios e chuvas. Aproveitamento por meio de poços escavados de grande diâmetro ou tubulares rasos. Principal fonte de abastecimento hídrico da área.
	b2			b - Aqüíferos intergranulares locais, livres, constituídos por sedimentos não consolidados, com espessura máxima de 20m. Sua principal função é alimentar o aqüífero fraturado subjacente. Permeabilidade alta a média. Aproveitamento por poços escavados de grande diâmetro. Importância apenas local. Reservas sujeitas a grandes variações sazonais. Espessura saturada muito variável.
	c2			c - Aqüíferos intergranulares descontínuos de extensão variável, livres. Espessura máxima de 30m. Permeabilidade média a baixa. Aproveitamento por poços escavados de grande diâmetro. Ocorrem em áreas onde há abundância de água de superfície. Reservas sujeitas a grandes variações sazonais. Espessura saturada muito variável.
g1	g2	g3		g - Aqüíferos locais fraturados, livres. Permeabilidade variável, comumente baixa. Aproveitamento por poços tubulares de até 100m.
h1	h2	h3		h - Aqüíferos descontínuos restritos a juntas e fraturas, ampliados pela presença de aluviões ou coberturas indiferenciadas, livres ou confinados. Permeabilidade média a muito baixa. Exploração restrita às áreas de relevo suave.
i1				i - Zonas geralmente sem aqüíferos com possibilidades de água subterrânea restritas aos níveis quartzitos.
m1				m - Zonas sem água subterrânea significativa. Ocorrências de água subterrânea inexpressivas e restritas aos níveis quartzíticos.

PRODUTIVIDADE DE AQÜÍFERO (Capacidade específica dos poços)

- Inferior a 0,033 l / s / m
- Entre 0,033 e 0,11 l / s / m
- Superior a 0,11 l / s / m

PRODUTIVIDADE DE POÇO

A B C (A - Nascente, B - Poço Escavado, C - Poço Tubular)

- Seco
- Até $3m^3$ / h
- Entre 3 e $10m^3$ / h
- Entre 10 e $40m^3$ / h
- Superior a $40m^3$ / h
- Ponto d'água com vazão estimada (vazões definidas para rebaixamento de nível d'água de 25m)

Disposição dos Elementos

1 - Número do poço
2 - Aqüífero captado
3 - Profundidade (m)
4 - Nível estático (m) / Nível dinâmico (m)
5 - Vazão (m^3 / h)
6 - Totais de sais dissolvidos (mg / l)

(Entre parênteses o número de dados usados para obter as médias)

- Fratura com possibilidades de ocorrência de água subterrânea
- Limite de áreas de importância hidrogeológica relativa local
- Limite de extensão de áreas de produtividade de aqüífero

QUALIDADE QUÍMICA

Curvas de igual resíduo seco (g / l), tracejadas quando aproximadas

USO DA ÁGUA

H - Consumo humano, G - Consumo animal

GEOLOGIA / LITOLOGIAS

Aluvião (Quaternário)	Qal	Sedimentos aluviais inconsolidados, arenosos, areno-argilosos, argilo-siltico e, localmente, contendo seixos e matacões
Coluvião (Quaternário)	Qco	Sedimentos coluviais e resultantes do retrabalhamento de sedimentos pleistocênicos
Cobertura indiferenciada(Terciário-Quaternário)	TQci	Cobertura detrítica indiferenciada, total ou parcialmente lateritizada
(Terciário)	Tcd	Cobertura detrítica areno-argilosa, localmente mostrando níveis de cascalho
Grupo Macaúbas (Proterozóico Superior)	PSpc	Paraconglomerados
Supergrupo Espinhaço (Proterozóico)	Pxt	Xistos, filitos grafitosos ou não, rítmitos e quartzitos
	Pqt	Quartzitos com níveis subordinados de conglomerados
	Pmv	Xistos, filitos, quartzitos, rochas vulcanoclásticas e vulcânicas ácidas a intermediárias
Associação Gnáissico Migmatítica (Arqueano a Proterozóico Inferior)	APlgn / mi	Gnáisses e migmatitos indivisos
	APlgt	Granitóides de filiação básica, associados a rochas porfiroblásticas, migmaticas gnáissicas e xistosas

ELEMENTOS ESTRUTURAIS

DENSIDADE DE FRATURAS

- <0,5 km / km^2
- 0,5 - 1,0km / km^2
- >1,0km / km^2

DIAGRAMAS DE FRATURAS

- Contato definido, aproximado ou transicional
- Limite litológico
- Falha indiscriminada definida ou aproximada
- Sinformal com indicação do caimento do eixo
- Antiformal com indicação do caimento do eixo
- Lineamento estrutural
- Fratura definida e encoberta
- Fratura aberta com mergulho medido
- Fratura aberta vertical
- Fratura fechada cnm mergulho medido
- Foliação / bandamento gnáissico com mergulho medido ou indicado
- Foliação / bandamento gnáissico vertical
- Foliação milonítica medida ou indicada
- Clivagem de acamamento com mergulho medido e indicado
- Acamamento com mergulho medido
- Dobras menores com indicação do caimento do eixo
- Dique

PLUVIOMETRIA

(mm) 100 0 — J F M A M J J A S O N D

HIDROLOGIA

- Curso de água perene
- Curso de água intermitente
- Lagoa permanente
- Lagoa intermitente
- Barragem sem indicação de volume
- Área sujeita a inundação
- Captação de fonte

Base planimétrica elaborada a partir da Folha SD.23-Z-D-V, Rio Pardo de Minas , escala 1: 100.000, 1.ª edição - 1978, IBGE.
Tratamento cartográfico dos elementos da base e do tema sob a responsabilidade do SECART / SUREG - BH, com a supervisão geral do Centro de Cartografia - CECAR / CPRM.
Chefia do CECAR: Célio Lima de Macedo.
Planejamento cartográfico geral: Célio Lima de Macedo.
Preparo da base para o desenho: Manoel Leite de Sá.
Orientação e preparo dos originais: Alba Martinho Coelho.
Execução cartográfica: João de Matos Leão (SECART/SUREG-BH).
Revisão da execução cartográfica: Denize Kistemann Chiodi (SECART/SUREG-BH).
Especificações e revisão cartográfica: Wilhelm Petter de Freire Bernard,Marilia Gomes dos Santos, Carlos Alberto da Silva Copelillo e Maria Luiza Pouzinho.

O Projeto Mapas Hidrogeológicos é parte do Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB, em execução pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, desde setembro de 1985.
Este mapa foi elaborado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte, utilizando como base os mapas geológicos dos Projetos Leste do Tocantins / Oeste do Rio São Francisco (DNPM/CPRM - 1976, esc. 1:250.000) e Porteirinha-Monte Azul (DNPM/CPRM - 1980 - esc. 1:50.000), tendo sido concluído em fevereiro de 1993. Atualização e complementação de dados a partir de aerofotos, imagens de satélite e trabalhos de campo.
Coordenação Geral do PLGB: Inácio de Medeiros Delgado.
Coordenação Nacional de Hidrogeologia: Antônio de Souza Leal.
Coordenação Regional do PLGB: Clafton Piva Pinto.
Coordenadores Regionais de Hidrogeologia: Antônio de Souza Leal
José do Espírito Santo Lima.

Responsáveis técnicos: Fernando Fernandez
José do Espírito Santo Lima.

As informações cartográficas e demais dados gerados e utilizados para execução deste documento estão disponíveis em meios convencionais e magnéticos, no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAS, concebido e implantado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM.

ESCALA 1: 100.000

1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10km

PROJEÇÃO TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 45° WGr., acrescidas as constantes: 10.000km e 500km, respectivamente.
Datum vertical: marégrafo Imbituba, SC.
Datum horizontal: Córrego Alegre, MG.
Declinação magnética do centro da folha em 1994: 21° 52' crescе 8' anualmente

CPRM
1994

CPRM BIBLIOTECA