

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA
DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL
CONVÊNIO DNPM-CPRM

PROGRAMA NACIONAL DE PROSPECÇÃO
PARA CARVÃO, LINHITO E TURFA

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS
DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

RELATÓRIO FINAL DA FASE I
TEXTO
VOLUME I

José Luiz Flores Machado ✓

Nazário Peruffo ✓

José do Espírito Santo Lima ✓

CPRM -- DIDOTE	
ARQUIVO TÉCNICO	
Relatório n.º	1674
N.º de Volumes:	2 v: 1-S



COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

1984

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS
MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO
CARVÃO MINERAL

Chefe do Projeto

José Luiz Flores Machado ✓

Equipe Executora

José Luiz Flores Machado ✓

Nazário Peruffo ✓

Colaboração Especial

Albert Mente - SUREG/RE ✓

Pedro Eiti Aoki - IPEN, CNEN/SP ✓

Hector Camilo Rocca - IPEN, CNEN/SP ✓

Mário Epstein - FUNDATEC/UFRGS ✓

Coordenação

Vitório Orlandi Filho - COREMI/PA ✓

João Aécio Corrêa Fabrício - PROCAR

Supervisão

Amadeu Paiva Santos - SUNERG ✓

SUMÁRIO

	Pág.
1. RESUMO	1
2. ABSTRACT	3
3. INTRODUÇÃO	4
4. METODOLOGIA DE TRABALHO	6
5. TRABALHOS ANTERIORES	9
5.1 - Avaliação dos Conhecimentos Anteriores	11
6. CARACTERÍSTICAS DOS FATORES CONTAMINANTES	13
6.1 - Origem dos Contaminantes	13
6.2 - Alteração das Piritas	15
6.3 - Mineralogia da Contaminação	17
6.4 - Outras Formas de Enxofre	19
6.5 - Efluentes Líquidos	20
6.6 - Alcalinidade e Qualidade da Drenagem	21
6.7 - Morfologia da Pirita e Acidez da Drenagem	22
6.8 - Cinzas Originadas em Termoelétricas	23
7. CONCEITOS DOS PARÂMETROS UTILIZADOS	27
7.1 - pH (Potencial de Hidrogênio)	27
7.2 - Acidez	29
7.3 - Condutividade Específica	30
7.4 - Sulfatos	30
7.5 - Sólidos Totais	31
7.6 - Ferro	31
7.7 - Elementos Tóxicos	32
7.7.1 - Manganês	33
7.7.2 - Alumínio	33
7.7.3 - Cobre	34
7.7.4 - Chumbo	34
7.7.5 - Zinco	35
7.7.6 - Níquel	35

	Pág.
7.7.7 - Estrôncio	36
7.7.8 - Arsênio	36
7.7.9 - Vanádio	37
7.7.10 - Selênio	37
7.7.11 - Cromo	38
7.7.12 - Cádmio	38
7.7.13 - Cobalto	39
7.7.14 - Berílio	39
7.7.15 - Boro	40
7.8 - Características Físicas e Químicas Complementares	40
7.8.1 - Alcalinidade	40
7.8.2 - Dureza	40
7.8.3 - Temperatura	41
7.9 - Substâncias Dissolvidas usadas na Classificação das Águas	41
7.9.1 - Cátions	41
7.9.1.1 - Sódio	41
7.9.1.2 - Potássio	42
7.9.1.3 - Cálcio	42
7.9.1.4 - Magnésio	42
7.9.2 - Ânions	43
7.9.2.1 - Cloretos	43
7.9.2.2 - Sulfatos	43
7.9.2.3 - Bicarbonatos e Carbonatos.	43
8. ÁREA DE SIDERÓPOLIS	44
8.1 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	45
8.2 - TRABALHOS REALIZADOS	48
8.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	51
8.3.1 - Elementos do Clima	51
8.3.1.1 - Pluviometria	51
8.3.1.2 - Temperatura	53
8.3.1.3 - Umidade Relativa	56
8.3.1.4 - Tipo de Clima	56

	Pág.
8.3.2 - Geomorfologia	58
8.3.3 - Solos	58
8.3.4 - Vegetação	59
8.4 - ELEMENTOS DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL	61
8.5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	64
8.6 - ATIVIDADES MINEIRAS	67
8.6.1 - Generalidades	67
8.6.2 - Características da Mineração	69
8.6.2.1 - Fontes Área	70
8.6.2.1.1 - Região de Siderópolis	70
8.6.2.1.2 - Região Treviso Sul	74
8.6.2.1.3 - Região Treviso Norte	75
8.6.2.2 - Fontes Pontuais	76
8.6.2.2.1 - Região de Siderópolis	76
8.6.2.2.2 - Região Treviso Sul	77
8.6.2.2.3 - Região Treviso Norte	77
8.7 - GEOLOGIA REGIONAL	79
8.7.1 - Unidades Pré-Gonduânicas	79
8.7.1.1 - Complexo Metamórfico-Migmático	79
8.7.2 - Unidades Gonduânicas	81
8.7.2.1 - Grupo Tubarão	81
8.7.2.1.1 - Subgrupo Itararé	81
8.7.2.1.1.1 - Formação Rio do Sul	81
8.7.2.1.2 - Subgrupo Guatá	82
8.7.2.1.2.1 - Formação Rio Bonito	82
8.7.2.1.2.2 - Formação Palermo	84

	Pág.
8.7.2.2 - Grupo Passa Dois	84
8.7.2.2.1 - Formação Irati	85
8.7.2.2.2 - Formação Estrada Nova ...	86
8.7.2.2.3 - Formação Rio do Rasto	86
8.7.2.3 - Grupo São Bento	87
8.7.2.3.1 - Formação Botucatu	87
8.7.2.3.2 - Formação Serra Geral	88
8.7.3 - Unidades Pós-Gonduânicas	88
8.7.3.1 - Sedimentos Quaternários ..	88
8.8 - GEOLOGIA LOCAL	90
8.8.1 - Unidades Gonduânicas	90
8.8.1.1 - Formação Rio Bonito	90
8.8.1.2 - Formação Palermo	91
8.8.1.3 - Formação Irati	91
8.8.1.4 - Formação Estrada Nova	92
8.8.1.5 - Formação Rio do Rasto	93
8.8.1.6 - Formação Serra Geral	93
8.8.2 - Unidades Pós-Gonduânicas	94
8.8.2.1 - Aluviões	94
8.8.3 - Relação da Geologia com a Contami- nação	94
8.9 - TECTÔNICA	96
8.10 - HIDROGEOLOGIA	97
8.10.1 - Generalidades	97
8.10.2 - Relação entre Geologia e Água Subterrânea	98
8.10.3 - Água Subterrânea em Rochas Fissuradas	99
8.10.3.1 - Formação Serra Geral ...	100

	Pág.
8.10.3.1.1 - Condições de Alimentação	100
8.10.3.1.2 - Escoamento e Exutórios	101
8.10.3.1.3 - Capacidade de Produção dos Poços	102
8.10.4 - Água Subterrânea em Rochas Sedimentares	102
8.10.4.1 - Rochas Sedimentares	103
8.10.4.1.1 - Condições de Alimentação	103
8.10.4.1.2 - Escoamento	104
8.10.4.1.3 - Exutórios	105
8.11 - ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA ISOTÓPICA	106
8.11.1 - Generalidades	106
8.11.2 - Técnicas Utilizadas	107
8.11.3 - Descrição dos Traçadores Aplicados	107
8.11.4 - Princípios do Método	108
8.11.4.1 - Determinação da Velocidade de Darcy	108
8.11.4.2 - Determinação da Direção e Sentido do Fluxo	112
8.11.5 - Trabalhos de Campo	112
8.11.6 - Resultados Obtidos	113
8.12 - LIXIVIAÇÃO DOS ELEMENTOS CONTAMINANTES	119
8.12.1 - Generalidades	119
8.12.2 - Lixiviação de Metais em Rejeitos de Carvão	119
8.12.2.1 - Causas de Lixiviação	119
8.12.2.2 - Elementos Menores Presentes no Carvão	122
8.12.3 - Relação entre Elementos Menores no Carvão e na Drenagem	124
8.12.4 - Simulação da Poluição em Laboratório	125

	Pág.
8.12.5 - Testes de Lixiviação com Carvão Brasileiro	131
8.12.6 - Lixiviação de Carvão de Santa Catarina	132
8.12.7 - Lixiviação de Rejeitos de Lavadores de Carvão	134
8.12.8 - Influência da Altura da Pilha de Rejeitos sobre a Lixiviação de Metais	136
8.12.9 - Lixiviação de Rejeitos Depositados há 5 anos em Siderópolis	137
8.12.10 - Lixiviação de Rejeitos de 20 anos de Siderópolis	139
8.13 - HIDROQUÍMICA	141
8.13.1 - Generalidades	141
8.13.2 - Características Químicas das Águas.	142
8.13.2.1 - Rochas Fissuradas	145
8.13.2.1.1 - Composição Química das Águas	145
8.13.2.2 - Rochas Sedimentares	146
8.13.2.2.1 - Composição Química das Águas	150
8.13.3 - Diagrama de Stiff	151
8.13.4 - Relações Iônicas e Índice de Troca de Bases	151
8.13.5 - Avaliação dos Elementos Maiores e Menores na Água Subterrânea e Superficial	154
8.13.5.1 - Avaliação na Água Subterrânea	154
8.13.5.2 - Avaliação na Água Superficial	157
8.13.6 - Qualidade das Águas para Consumo Humano	158
8.13.6.1 - Rochas Fissuradas	158
8.13.6.2 - Rochas Sedimentares	170
8.13.7 - Qualidade das Águas para Consumo Animal	172

	Pág.
8.13.8 - Qualidade das Águas para Irrigação.	172
8.13.8.1 - Classificação das Águas para Irrigação	173
8.13.9 - Qualidade da Água Superficial	177
8.13.9.1 - Características Químicas das Águas	178
8.13.9.2 - Composição Química e Qualidade da Água	179
8.14 - VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS	182
8.14.1 - Contaminação Atual dos Aquíferos ..	182
8.14.2 - Vulnerabilidade	186
9. ÁREA DE CANDIOTA	190
9.1 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	191
9.2 - TRABALHOS REALIZADOS	194
9.3 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS	196
9.3.1 - Elementos do Clima	196
9.3.1.1 - Pluviometria	196
9.3.1.2 - Temperatura	198
9.3.1.3 - Umidade Relativa, Ventos e Insolação	198
9.3.1.4 - Evaporação e Evapotranspiração	201
9.3.1.5 - Tipo de Clima	204
9.3.2 - Geomorfologia	206
9.3.3 - Solos	206
9.3.4 - Vegetação	207
9.4 - ELEMENTOS DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL	208
9.5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	210
9.6 - ATIVIDADES MINEIRAS	211
9.6.1 - Generalidades	211
9.6.2 - Características da Mineração	213
9.6.2.1 - Fontes Área	213

	Pág.
9.6.3 - Atividades Relacionadas com o Uso do Carvão Mineral - Usinas Termoeleétricas	214
9.6.3.1 - Fontes Área	215
9.6.3.2 - Fontes Pontuais	216
9.7 - GEOLOGIA REGIONAL	217
9.7.1 - Unidades Pré-Gonduânicas	217
9.7.1.1 - Suíte Metamórfica Cambaí .	217
9.7.2 - Unidades Gonduânicas	217
9.7.2.1 - Subgrupo Itararé	217
9.7.2.2 - Formação Rio Bonito	219
9.7.2.3 - Formação Palermo	220
9.7.2.4 - Formação Irati	221
9.7.2.5 - Formação Estrada Nova	222
9.7.2.6 - Formação Rio do Rasto	223
9.7.3 - Unidades Pós-Gonduânicas	224
9.7.3.1 - Quaternário Holoceno Aluvionar/Coluvionar	224
9.8 - GEOLOGIA LOCAL	225
9.8.1 - Unidades Pré-Gonduânicas	225
9.8.1.1 - Suíte Metamórfica Cambaí .	225
9.8.2 - Unidades Gonduânicas	225
9.8.2.1 - Formação Rio Bonito	225
9.8.2.2 - Formação Palermo	226
9.8.2.3 - Formação Irati	227
9.8.2.4 - Formação Estrada Nova	228
9.8.3 - Unidades Pós-Gonduânicas	228
9.8.3.1 - Aluviões	228
9.8.4 - Relação da Geologia com a Contaminação	229
9.9 - TECTÔNICA	230
9.10 - HIDROGEOLOGIA	231
9.10.1 - Generalidades	231
9.10.2 - Relação entre Geologia e Água Subterrânea	232

	Pág.
9.10.3 - Água Subterrânea em Rochas Fraturadas	233
9.10.3.1 - Rochas Cristalinas	234
9.10.3.1.1 - Condições de Alimentação	234
9.10.3.1.2 - Escoamento e Exutórios	235
9.10.3.1.3 - Capacidade de Produção dos Poços	236
9.10.4 - Água Subterrânea em Rochas Sedimentares	236
9.10.4.1 - Rochas Sedimentares	237
9.10.4.1.1 - Condições de Alimentação	237
9.10.4.1.2 - Escoamento	238
9.10.4.1.3 - Exutórios	239
9.11 - LIXIVIAÇÃO DOS ELEMENTOS CONTAMINANTES.....	241
9.11.1 - Generalidades	241
9.11.2 - Lixiviação de Cinzas e do Carvão de Candiota, RS	241
9.12 - HIDROQUÍMICA	244
9.12.1 - Generalidades	244
9.12.2 - Características Químicas das Águas	245
9.12.2.1 - Embasamento Cristalino	248
9.12.2.1.1 - Composição Química das Águas	248
9.12.2.2 - Rochas Sedimentares	250
9.12.2.2.1 - Composição Química das Águas	253
9.12.3 - Diagrama de Stiff	254
9.12.4 - Relações Iônicas e Índice de Troca de Bases	254
9.12.5 - Avaliação dos Elementos Maiores e Menores na Água Subterrânea e Superficial	257

	Pág.
9.12.5.1 - Avaliação na Água Subterrânea	257
9.12.5.2 - Avaliação na Água Superficial	260
9.12.6 - Qualidade das Águas para Consumo Humano	261
9.12.6.1 - Embasamento Cristalino ..	271
9.12.6.2 - Rochas Sedimentares	271
9.12.7 - Qualidade das Águas para Consumo Animal	273
9.12.8 - Qualidade das Águas para Irrigação .	273
9.12.8.1 - Classificação das Águas para Irrigação	274
9.12.9 - Qualidade da Água Superficial	278
9.12.9.1 - Características Químicas das Águas	278
9.12.9.2 - Composição Química e Qualidade da Água	279
9.13 - VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS	282
9.13.1 - Contaminação Atual dos Aquíferos ...	282
9.13.2 - Vulnerabilidade	286
10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	289
11. BIBLIOGRAFIA	301

QUADROS

- 6.1 - Concentração de Alguns Elementos nas Cinzas de Carvão de Candiota
- 7.1 - Fatores Indicativos de Contaminação
- 8.3.1 - Dados Meteorológicos - Área de Siderópolis
- 8.4.1 - Descargas Médias Mensais
- 8.11.1 - Resultados dos Ensaios com Traçadores
- 8.12.1 - Concentrações Médias de Elementos Menores em Carvões
- 8.12.2 - Elementos Menores no Carvão do RS
- 8.12.3 - Elementos Menores Presentes no Carvão e na Drenagem das Pilhas de Carvão
- 8.12.4 - Testes de Lixiviação com Carvões de Santa Catarina
- 8.12.5 - Testes de Lixiviação com Rejeitos de Lavadores
- 8.12.6 - Concentrações de Metais nos Sólidos em Suspensão na Drenagem de Rejeitos de Lavadores de Siderópolis e Volta Redonda
- 8.12.7 - Efeito da Altura da Pilha dos Rejeitos sobre a Qualidade da Drenagem
- 8.12.8 - Lixiviação de Rejeitos de 5 anos
- 8.12.9 - Lixiviação de Rejeitos de 20 anos
- 8.13.1 - Distribuição de Freqüência dos Resíduos Secos
- 8.13.2 - Classificação de Dureza de Klut Olszewski
- 8.13.3 - Tipos Químicos de Águas
- 8.13.4 - Distribuição de Freqüência dos Resíduos Secos
- 8.13.5 - Tipos Químicos de Águas
- 8.13.6 - Relações Iônicas - Área de Siderópolis
- 8.13.7 - Padrões de Potabilidade segundo Schoeller
- 8.13.8 - Limites de Potabilidade para Animais
- 8.13.9 - Distribuição de Freqüência dos Tipos de Água para Irrigação
- 9.3.1 - Dados Meteorológicos - Área de Candiota
- 9.4.1 - Descargas Médias Mensais
- 9.11.1 - Lixiviação de Carvão e Cinzas das Termoelétricas de Candiota
- 9.12.1 - Distribuição de Freqüência dos Resíduos Secos
- 9.12.2 - Classificação de Dureza de Klut Olszewski

- 9.12.3 - Tipos Químicos de Águas
- 9.12.4 - Distribuição de Freqüência dos Resíduos Secos
- 9.12.5 - Tipos Químicos de Águas
- 9.12.6 - Relações Iônicas - Área de Candiota
- 9.12.7 - Padrões de Potabilidade segundo Schoeller
- 9.12.8 - Limites de Potabilidade para Animais
- 9.12.9 - Distribuição de Freqüência dos Tipos de Água para Irrigação

FIGURAS

- 8.1.1 - Mapa de Localização - Área de Siderópolis
- 8.3.1 - Precipitações Médias Mensais - Área de Siderópolis
- 8.3.2 - Temperaturas Médias Mensais - Área de Siderópolis
- 8.3.3 - Umidade Relativa - Valores Médios Mensais - Área de Siderópolis
- 8.4.1 - Descargas Médias Mensais - Área de Siderópolis
- 8.5.1 - Mapa de Localização da Área em Relação aos Municípios - Área de Siderópolis
- 8.6.1 - Atividades Mineiras - Área de Siderópolis
- 8.7.1 - Coluna Estratigráfica da Região de Siderópolis
- 8.11.1 - Localização dos Ensaios com Traçadores - Região de Siderópolis
- 8.11.2 - Localização dos Ensaios com Traçadores - Região de Treviso
- 8.11.3 - Localização dos Ensaios com Traçadores - Região de Forquilha
- 8.12.1 - Solubilidade de Alguns Metais em Função do pH da Drenagem
- 8.12.2 - Variação das Concentrações de Acidez e Ferro Total Dissolvido em relação ao pH
- 8.12.3 - Alcalinidade gerada entre duas Drenagens Consecutivas para Diferentes Intervalos de Tempo entre as Drenagens
- 8.12.4 - Alcalinidade Acumulada por Diversas Drenagens em Função do Intervalo entre as Drenagens
- 8.12.5 - Acidez gerada entre duas Drenagens Consecutivas em Função do Intervalo entre as Drenagens
- 8.12.6 - Acidez Acumulada gerada em Pilha de Carvão em Função do Intervalo entre as Drenagens

- 8.12.7 - Efeitos da Aeração de Rejeitos Piritosos sobre o pH e a Concentração de Ferro da Drenagem
- 8.13.1 - Diagrama de Piper - Formação Serra Geral - Área de Siderópolis
- 8.13.2 - Diagrama de Piper - Rochas Sedimentares - Área de Siderópolis
- 8.13.3 - Valores Críticos dos Elementos Maiores e Menores - Metais Pesados - Área de Siderópolis
- 8.13.4 - Diagrama Logarítmico de Schoeller-Berkaloff - Área de Siderópolis
- 8.13.5 - Classificação das Águas para Irrigação - Formação Serra Geral - Área de Siderópolis
- 8.13.6 - Classificação das Águas para Irrigação - Rochas Sedimentares - Área de Siderópolis
- 8.13.7 - Qualidade da Água Superficial - Área de Siderópolis
- 8.14.1 - Mecanismo de Contaminação - Área de Siderópolis
- 9.1.1 - Mapa de Localização - Área de Candiota
- 9.3.1 - Precipitações Médias Mensais - Área de Candiota
- 9.3.2 - Temperaturas Médias Mensais - Área de Candiota
- 9.3.3 - Umidade Relativa - Valores Médios Mensais - Área de Candiota
- 9.3.4 - Insolação - Valores Médios Mensais - Área de Candiota
- 9.3.5 - Evaporação - Médias Mensais - Área de Candiota
- 9.4.1 - Descargas Médias Mensais - Área de Candiota
- 9.6.1 - Atividades Mineiras - Área de Candiota
- 9.7.1 - Coluna Estratigráfica da Região de Candiota
- 9.12.1 - Diagrama de Piper - Embasamento Cristalino - Área de Candiota
- 9.12.2 - Diagrama de Piper - Rochas Sedimentares - Área de Candiota
- 9.12.3 - Valores Críticos dos Elementos Maiores e Menores - Metais Pesados - Área de Candiota
- 9.12.4 - Diagrama Logarítmico de Schoeller-Berkaloff - Área de Candiota
- 9.12.5 - Classificação das Águas para Irrigação - Embasamento Cristalino - Área de Candiota
- 9.12.6 - Classificação das Águas para Irrigação - Rochas Sedimentares - Área de Candiota
- 9.12.7 - Qualidade da Água Superficial - Área de Candiota
- 9.13.1 - Mecanismo de Contaminação - Área de Candiota

TABELAS

- 8.13.1 - Resultados de Análise - Área de Siderópolis
- 9.12.1 - Resultados de Análise - Área de Candiota

VOLUME II

ANEXOS

CATÁLOGO GERAL DE PONTOS DE ÁGUA - ÁREA DE SIDERÓPOLIS

I.1 - Catálogo Geral de Pontos de Água (1)

I.2 - Catálogo Geral de Pontos de Água (2)

CATÁLOGO GERAL DE PONTOS DE ÁGUA - ÁREA DE CANDIOTA

II.1 - Catálogo Geral de Pontos de Água (1)

II.2 - Catálogo Geral de Pontos de Água (2)

MAPAS DA ÁREA DE SIDERÓPOLIS

III.1 - Mapa Geológico

III.2 - Mapa de Pontos de Água

III.3 - Mapa Piezométrico

III.4 - Mapa de pH

III.5 - Mapa de Condutividade Elétrica

III.6 - Mapa de Acidez

III.7 - Mapa de Sulfatos

III.8 - Mapa de Sólidos Totais

III.9 - Mapa Hidroquímico

III.10 - Mapa de Vulnerabilidade

MAPAS DA ÁREA DE CANDIOTA

IV.1 - Mapa Geológico

IV.2 - Mapa de Pontos de Água

IV.3 - Mapa Piezométrico

IV.4 - Mapa de pH

IV.5 - Mapa de Condutividade Elétrica

IV.6 - Mapa de Acidez

IV.7 - Mapa de Sulfatos

IV.8 - Mapa de Sólidos Totais

IV.9 - Mapa Hidroquímico

IV.10 - Mapa de Vulnerabilidade

APRESENTAÇÃO

Este relatório expõe os resultados obtidos na Fase I do Projeto Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrente da Extração do Carvão Mineral, executado pela CPRM nos termos do Convênio DNPM-CPRM, que objetivou, fundamentalmente, a avaliação da vulnerabilidade e atual estágio de contaminação que os aquíferos das regiões de Siderópolis-SC e Candiota-RS apresentam devido à presença dos rejeitos piritosos, de cobertura e cinzas da queima do carvão em termoelétricas.

O relatório é apresentado em dois volumes, contendo texto, anexos, mapas geológicos e hidrogeológicos, além de mapas indicando as áreas com aquíferos de diferentes graus de vulnerabilidade à contaminação.

RESUMO

O presente relatório consubstancia os resultados dos trabalhos desenvolvidos nas áreas de Siderópolis, no Estado de Santa Catarina, e Candiota, no Estado do Rio Grande do Sul.

Estas duas áreas foram selecionadas pelo fato de apresentarem fontes de contaminação diferentes, já que na área de Siderópolis a poluição é provocada basicamente pela mineração e beneficiamento do carvão e na área de Candiota o uso do carvão em usina termoelétrica é o principal fator poluente.

A análise dos resultados nas duas áreas estudadas mostra que realmente existe contaminação, tanto da água superficial quanto da subterrânea.

As minerações de carvão são os principais focos de contaminação, através dos rejeitos que delas resultam. As cinzas da termoelétrica também contribuem para essa contaminação. Os principais contaminantes são representados pela pirita e marcassita através da sua oxidação.

Constatou-se que os principais aquíferos das áreas de Candiota (Formação Rio Bonito) e de Siderópolis (Formação Rio Bonito e Serra Geral) são vulneráveis à contaminação.

De um modo geral, os principais contaminadores são o ferro, cobre, zinco, chumbo, manganês, cromo, alumínio, estrôncio e níquel para a água subterrânea. Para a água superficial a contaminação provém do ferro, cobalto, manganês, níquel, zinco, alumínio e cobre. Além disso, problemas graves resultam da acidez gerada pela alteração da pi-

rita, com aumento dos teores de sulfatos e diminuição dos valores de pH até níveis intoleráveis.

ABSTRACT

This paper presents the results of tests on groundwater contamination developed in Sideropolis (Santa Catarina State) and Candiota (Rio Grande do Sul State) areas.

These two areas were selected as targets for such a work because they have different sources of contamination: in Sideropolis pollution is due mainly to coal strip mining and washing, whereas in Candiota it is the coal burning at a thermoelectric plant that pollutes.

In these areas it was detected contamination of both surface and groundwater.

On the one hand there are the tailings of open pit mining and washing, on the other hand the flying ashes from coal burning play a major role in polluting. Pyrite and marcassite oxidation is the main contaminant.

The sources of groundwater in Candiota (Rio Bonito Formation) and Sideropolis (Rio Bonito and Serra Geral Formations) areas proved to be highly vulnerable to this kind of contamination.

Generally, elements like Fe, Cu, Zn, Pb, Co, Mn, Cr, Al, Sr and Ni contaminate groundwater. Surface water is contaminated by Fe, Co, Mn, Ni, Zn, Al and Cu. Furthermore, acidity of effluents due to pyrite alteration results in severe problems such as the increase in sulfate amounts and the decrease of pH to intolerable levels.

3. INTRODUÇÃO

Com os trabalhos de extração e beneficiamento de carvão na região sul do país, certas regiões, especialmente nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, vêm sofrendo prejuízos decorrentes da contaminação das águas superficiais e subterrâneas, através dos rejeitos deixados pelas mencionadas atividades. O ácido sulfúrico é o principal elemento contaminante destas áreas. É originado pela oxidação da pirita e da marcassita, que são minerais relativamente abundantes nestas regiões carboníferas, mormente no Estado de Santa Catarina onde as concentrações são maiores.

Em decorrência desse estado de coisas e para evitar que o problema venha a se agravar com o grande crescimento da produção de carvão mineral previsto para os próximos anos, o DNPM julgou oportuno avaliar o grau de vulnerabilidade dos mananciais de água subterrânea nas áreas em torno das minas de carvão, tanto nas minas exauridas como naquelas em operação ou a entrarem em operação num futuro próximo. Pretende-se assim orientar a atividade da mineração de carvão no sentido de evitar a presença de rejeitos nocivos em áreas vulneráveis à contaminação da água subterrânea.

O uso da água subterrânea vem crescendo sensivelmente, em especial no sul do país, tanto para fins industriais como agrícolas ou para uso doméstico, em decorrência da acelerada degradação dos recursos hídricos superficiais disponíveis. O fato nos alerta para a necessidade de promover desde já a defesa dos recursos subterrâneos, para evitar que também nestes a qualidade venha a ser irremediavelmente comprometida pela ação dos agentes poluidores.

Nesta primeira fase foram selecionadas duas

áreas, uma em Candiota, no Estado do Rio Grande do Sul e outra em Siderópolis, no Estado de Santa Catarina.

O estudo destas duas áreas piloto nos permitiram o estabelecimento dos elementos poluentes e mecanismos de contaminação.

O estabelecimento destes parâmetros nos permitirá uma melhor avaliação no restante das áreas carboníferas existentes na região sul do país, especialmente nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

Agradecimentos são dirigidos às empresas atuantes na área de mineração e utilização do carvão mineral e aos órgãos públicos atuantes na área do meio ambiente que se prontificaram em ceder dados que muito auxiliaram na elaboração deste relatório.

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia utilizada constou primeiramente da seleção das áreas a serem estudadas, de forma que pudessem fornecer parâmetros confiáveis para a avaliação dos elementos poluentes e mecanismos de contaminação atuantes em cada área.

Para tanto foram selecionadas duas áreas com princípios de poluição diferentes. Siderópolis, em Santa Catarina, onde a poluição é provocada basicamente pela mineração e beneficiamento do carvão e Candiota, no Rio Grande do Sul, onde o principal fator poluente advém do uso do carvão em usina termoelétrica.

Para a execução dos trabalhos de campo foram selecionadas fotografias aéreas e folhas topográficas na escala 1:50.000.

Os trabalhos de campo constaram do cadastramento de nascentes e poços com nivelamento de pontos selecionados para elaboração do mapa piezométrico.

O mapeamento geológico, mais voltado para as condições de permeabilidade de cada unidade, foi utilizado para a elaboração do mapa hidrogeológico.

Em todos os pontos cadastrados, incluindo-se aí nascentes, poços, rios e lagoas, foram feitas determinações de pH, condutividade e temperatura, para uma avaliação preliminar do grau de contaminação da área.

Posteriormente foram selecionados alguns destes pontos cadastrados, dando-se ênfase aos locais mais problemáticos, visando a coleta de amostras de água para uma

análise química bastante completa para determinação dos elementos presentes.

Para uma avaliação bastante confiável do grau de contaminação destas áreas, em cada amostra de água foram feitas determinações de acidez, sólidos totais e dos íons cálcio, sódio, magnésio, potássio, cloretos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, ferro ferroso e ferro férrico. Além destas determinações foram efetuadas análises para cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, alumínio, manganês, níquel, estrôncio, zinco e vanádio.

Foram contratados os serviços da Fundação Universidade-Empresa de Tecnologia e Ciências (FUNDATEC) para realização de testes de lixiviação em amostras de carvão, rejeitos de mineração, efluentes de rejeitos de lavador e cinzas. Estes testes foram executados com o objetivo básico de determinação dos elementos maiores e menores que poderão vir a ser poluentes. Para tanto em cada amostra foram feitas determinações de pH, acidez, alcalinidade, ferro, manganês, zinco, berílio, cobre, chumbo, arsênio, cádmio e boro.

Para uma melhor avaliação da evolução do grau de contaminação dos mananciais subterrâneos, foram coletadas amostras de rejeitos do beneficiamento de carvão com mais de 20 anos e recentes, o mesmo acontecendo com as amostras de cinza produzidas pela queima do carvão em usina termelétrica.

Nas áreas consideradas mais problemáticas, onde afloram as rochas mais arenosas e mais permeáveis, no caso, da Formação Rio Bonito, foram selecionados locais para abertura de poços tubulares.

Para cada área selecionada foi estipulada a abertura de um poço central de 20 m de profundidade e 3 a

4 poços de 10 m de profundidade, dispostos de maneira mais ou menos circular, com afastamento do poço central, variando de 50 a 200 m.

Estes poços, perfurados com sonda rotativa, tiveram por objetivo a instalação de piezômetros e a determinação do sentido e velocidade de deslocamento da água subterrânea através de traçadores radioativos.

Para estas determinações com traçadores foram contratados os serviços do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) de São Paulo. Estipulou-se que estas medidas seriam feitas nos poços centrais de 20 m de profundidade.

5. TRABALHOS ANTERIORES

Apesar do alto grau de poluição que ocorre na região sul de Santa Catarina, em consequência da atividade de extração do carvão mineral, estudos sistemáticos e científicos apenas tiveram início efetivo na década de 70. Entre outros trabalhos merecem destaque especial, pela abrangência dos estudos hidrológicos e ecológicos, os seguintes:

- Dentro do Programa de Conservação Ambiental do Sul de Santa Catarina (PAS) e fazendo parte do Projeto Prevenção e Controle da Poluição no Sul do Estado de Santa Catarina, em convênio da SEMA/SUDESUL/FATMA, foi efetuado pelo IPH (Instituto de Pesquisas Hidráulicas) - UFRGS, em 1977, um diagnóstico hidrológico preliminar, intitulado "Impacto da Mineração do Carvão sobre os Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina". Trata-se de um estudo amplo e generalizado, abrangendo as três bacias hidrográficas atingidas (Bacias dos rios Tubarão, Urussanga e Araranguá), que merece destaque por ser obra pioneira no tocante à poluição em sistemas hidrológicos: O subsistema água subterrânea também foi estudado, porém de maneira subordinada ao objetivo principal, que era a verificação da poluição na rede hidrográfica.

O NIDECO (Núcleo Interdepartamental de Estudos Ecológicos) - UFRGS, realizou, em 1978, um estudo ecológico denominado "Estudos sobre o Impacto Ecológico na região Sul do Estado de Santa Catarina", com 10 trabalhos setoriais versando, entre outros, sobre geologia, clima, qualidade da água superficial, saúde pública, recomposição paisagística, etc; o setor de águas subterrânea não foi tratado.

- O Grupo de Trabalho Interministerial (Ministério das Minas e Energia e Ministério do Interior), cria

do pela Portaria nº 330 de março de 1981, elaborou com base em trabalhos existentes, um relatório que caracterizou os diversos aspectos de poluição com relação à mineração e beneficiamento do carvão mineral em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul. Ao mesmo tempo, apresentou-se uma série de proposições e recomendações para as áreas atingidas pela poluição, com base nas quais foi redigida a Minuta de uma Portaria, visando a necessidade de conciliar a expansão da produção e uso de carvão mineral com a preservação do meio ambiente.

- O IPH-UFRGS, contratado pela FATMA, elaborou em 1981, o "Estudo de Qualidade das Águas e Principais Atividades Poluidoras na Bacia do Alto Rio Mãe Luzia em Santa Catarina". Trata-se de um estudo de detalhe sobre a qualidade das águas, porém exclusivamente das águas superficiais que fazem parte da rede hidrográfica. As águas subterâneas não foram abordadas.

- A ECP - Engenheiros Consultores e Projetistas S.A., desenvolveu o Programa de Conservação e Recuperação Ambiental da Região Sul de Santa Catarina, sob encomenda da FATMA, e apresentou em 1982, os resultados de vários projetos, dos quais destacam-se:

Projeto C - Avaliação das Fontes de Poluição, voltado para o detalhamento da mineração, beneficiamento, uso do carvão e seus efeitos sobre o meio ambiente.

Projeto E - Recuperação Ambiental de Áreas de Disposição de Rejeitos da Mineração do Carvão, em que foram estabelecidas algumas normas a serem observadas na deposição de rejeitos.

Projeto G - Siderópolis/Fiorita, com estudos de detalhe

referentes aos rios Mãe Luzia e Fiorita. Neste trabalho encontram-se análises químicas de alguns poços. A abordagem das águas subterrâneas é, basicamente, fundada nos resultados sobre hidrogeologia contidos no estudo do IPH-UFRGS (1977).

- Para cumprir o que estabelece a Portaria Interministerial nº 917 baixada em 6 de julho de 1982, o Sindicato Nacional da Indústria de Extração do Carvão contratou a IESA - Internacional de Engenharia S.A., para efetuar um estudo visando minimizar os efeitos negativos dos efluentes líquidos sobre o meio ambiente. Em seu relatório "Preservação do Meio Ambiente - Relatório Conceitual", de 1983, foi dada maior ênfase às águas superficiais.

- Na região de Candiota inexistem estudos de profundidade com relação ao grau de poluição das águas superficiais e subterrâneas. Além de projetos de recomposição da área de mineração e efeitos da poluição aérea por termelétricas, os restantes trabalhos referem-se às determinações do teor médio em elementos menores dos carvões de várias camadas da grande bacia carbonífera de Candiota, suas variações e inter-relações. Cumpre ressaltar entre outros, o trabalho pioneiro de Urdininea e Pintaúde (1973).

5.1 - Avaliação dos Conhecimentos Anteriores

A conclusão mais importante a que se chega, depois de ter efetuado a análise dos programas anteriores, é o fato de que apenas alguns programas realizaram estudos detalhados, envolvendo medições ou coleta de dados efetivamente executados no campo.

Com relação aos estudos hidrológicos, desta-



CPRM

cam-se em primeiro lugar, os do IPH-UFRGS e, secundariamente, os da ECP. Nota-se porém, que as atividades relacionadas ao estudo da água subterrânea não foram levadas além dum inventário geral de pontos de água, a determinação da rede piezométrica do freático na escala de bacias hidrográficas e a caracterização geral da qualidade da água em alguns poços.

Algumas hipóteses sobre possíveis escoamentos subterrâneos em áreas poluídas foram levantadas, porém são carentes de medições de campo. Suspeitas sobre contaminação de água subterrânea também foram ventiladas, no entanto, sem nenhuma comprovação direta da qualidade e intensidade da contaminação, e tampouco do mecanismo de transmissão da mesma.

Conclui-se, pois, que os estudos efetuados até o momento referentes à contaminação de água subterrânea, são apenas descritivos em caráter, havendo necessidade de um aprofundamento maior do conhecimento básico no assunto, caso se almeje algum dia, chegar a adotar medidas efetivas de prevenção ou tratamento dos aquíferos.

6. CARACTERÍSTICAS DOS FATORES CONTAMINANTES

6.1 - Origem dos Contaminantes

O carvão mineral, originado em um ambiente francamente redutor, é composto principalmente de carbono, hidrocarbonetos voláteis e uma associação inorgânica representada tanto pela pirita quanto pelas cinzas.

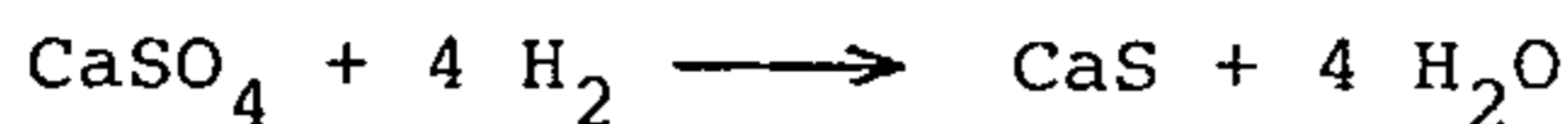
A origem da pirita no carvão ainda não está perfeitamente definida, provavelmente pelo fato de formar-se de diferentes maneiras e em vários períodos da história evolutiva da camada carbonosa.

Várias teorias foram propostas, atribuindo a formação de piritas a fontes de enxofre tanto externas quanto internas. O gás sulfídrico oriundo das turfeiras, precipitaria sulfetos de ferro pela reação com águas percolantes contendo carbonatos de ferro (Thiessen, 1945).

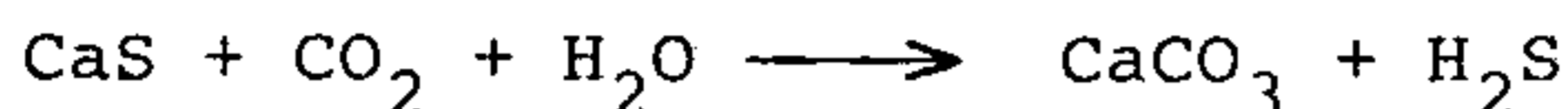
Também é proposto que a pirita resulta da redução, pela matéria orgânica, do sulfato de ferro presente nas águas percolantes (Bischoff in: Thiessen, op. cit.). Os filmes de pirita que ocorrem nas fissuras do carvão devem provavelmente ter esta origem.

A presença da pirita em sedimentos marinhos ou a eles associados é por demais conhecida (Thiessen, op. cit.; Horne, 1978). Sua presença em sedimentos deste ambiente é devido a ação de microorganismos, especialmente sulfobactérias e ferrobactérias.

A ação de bactérias sulforredutoras sobre os sulfatos, gerando pirita, é explicada pelas seguintes reações:

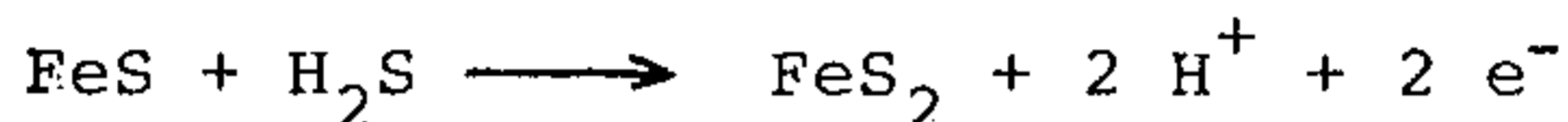


Com o aumento da concentração de CO_2 temos:



O gás sulfídrico liberado, na presença de sais e hidróxidos de Fe^{+2} dissolvidos na água, de acordo com as condições do ambiente, propiciaria a formação de pirita.

De acordo com Berner (citado em Ferreira (1973)), através da redução do sulfato, o H_2S associado com o Fe^{+2} , formaria monossulfeto de ferro. Com o aumento da concentração de gás sulfídrico haveria a formação de pirita:



O conteúdo em enxofre na pirita é alto, sendo que o mineral puro contém 53,4% de enxofre e 46,6% de ferro.

O carvão ROM da área de Siderópolis após a pré-lavagem é subdividido em várias frações:

- Carvão pré-lavado - 25%
- Rejeito piritoso (R_1) - 25%
- Rejeito xistoso (R_2) - 35%
- Rejeito (R_3) - 15%

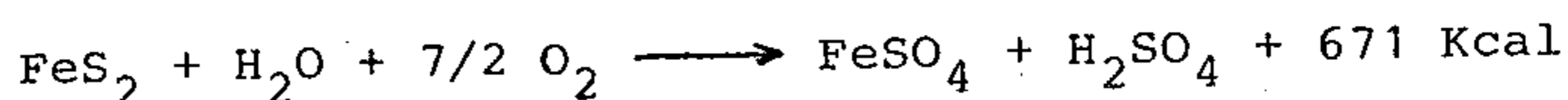
O rejeito piritoso ou primário, é considerado o refugo mais poluente do beneficiamento, possuindo aproximadamente 10% de enxofre e uma concentração de carvão em torno de 8%.

A área de Candiota ainda não possui esquema de beneficiamento com pré-lavador em funcionamento.

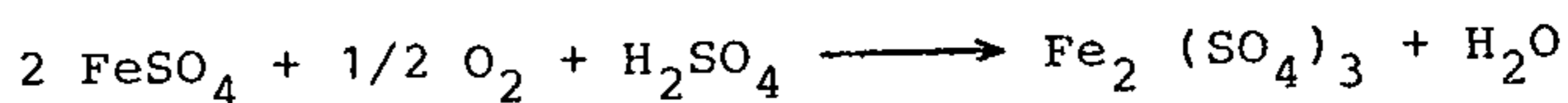
6.2 - Alteração das Piritas

Tanto o enxofre quanto o ferro da pirita, são submetidos a muitas modificações, devido principalmente às propriedades do ferro. Com a presença de oxigênio e água, inicia-se na pirita um processo de oxidação. O oxigênio dissolvido (OD), presente tanto nas águas subterrâneas quanto nas superficiais, influi neste processo.

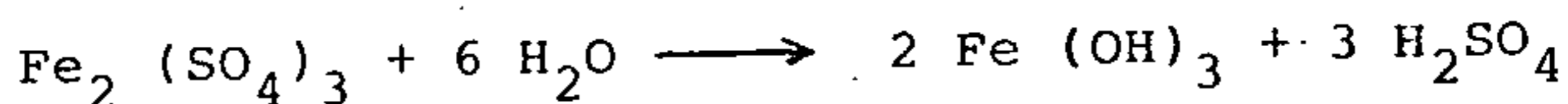
As reações de oxidação do sulfeto formam sulfato ferroso e ácido sulfúrico e podem ser visualizadas na equação abaixo:



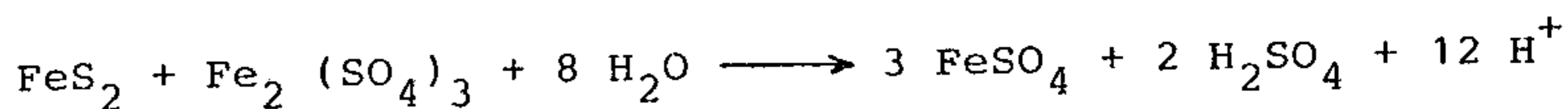
O Fe^{+2} sofre uma nova oxidação passando para a forma insolúvel:



O sulfato férrico pode também hidrolizar-se resultando em ácido sulfúrico e hidróxido férrico ou sulfato férrico básico:



O sulfeto em contato com o Fe^{+3} oxida-se facilmente para sulfato:



Observa-se, então, que a oxidação de 1 mol de pirita resulta em 2 moles de ácido sulfúrico, dando início a um processo crescente de formação de sulfatos férrico e fer-

roso e mais ácido sulfúrico.

Os cristais formados durante o processo produzem pressões sobre os blocos de pirita, que tornam-se quebradiços aumentando a área de reação.

Outros minerais sulfetados, associados com a pirita, oxidam-se formando ácido sulfúrico:



Das reações acima, verifica-se a intensa formação de sulfatos, ácido sulfúrico, hidróxidos de ferro e a liberação de variada gama de metais pesados que encontram-se associados com a pirita e matéria carbonosa.

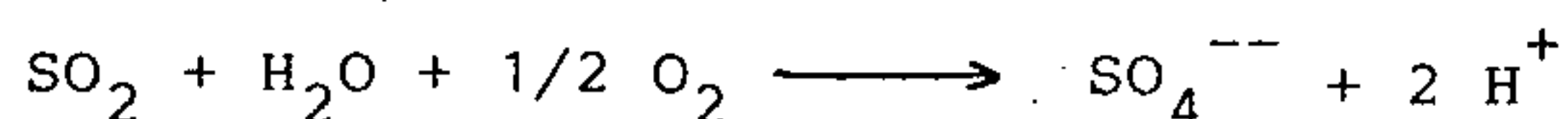
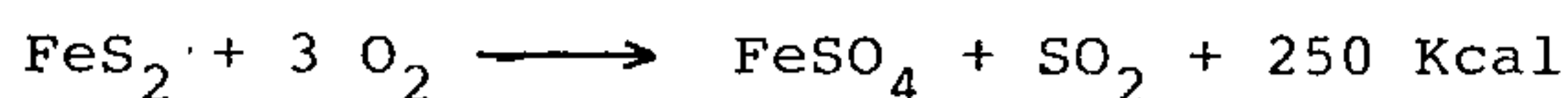
A exposição ao ar livre é indispensável para a oxidação da pirita. O ar transporta o oxigênio e a umidade essenciais à formação de ácido sulfúrico. Rejeitos enterados de forma a não receber oxigênio não se oxidam e não poluem o meio ambiente. Rejeitos constantemente submersos em água também são pouco oxidados, pois a difusão de oxigênio na água é 10.000 vezes menor do que no ar.

Devido à formação de ácido sulfúrico, com diminuição rápida dos valores de pH e aumentada acidez, o corpo receptor, seja água subterrânea ou superficial, mantém dissolvida grande parcela dos metais pesados liberados da pirita quando da sua oxidação, prejudicando tanto a vida aquática quanto os usos desta água para abastecimento público.

Além dos processos puramente químicos e físicos da oxidação da pirita e outros sulfetos, deve ser citada a importância da atividade bacteriana na formação do ácido sulfúrico. Estas bactérias aeróbicas que retiram sua energia de compostos de enxofre reduzidos, da oxidação do ferro inor

gânico, usam o CO_2 do ar como fonte de carbono e se multipliam com pH ao redor de 2,8 - 3,2, englobam os germes *Thiobacillus* e são respectivamente *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus ferrooxidans* (Kleinmann, 1983). São relativamente comuns no solo, podendo alcançar densidade populacional superior a 10^6 células/ml. Nos valores de pH mais baixos, estas bactérias causam um dramático aumento nas concentrações de acidez e ferro. A redução da formação de ácido passa necessariamente pela inibição da atividade bacteriana.

Na área de Siderópolis foi medido o pH de água da chuva, obtendo-se o valor de 4,5, o que caracteriza uma chuva ácida, pois o pH normal das águas pluviais varia de 5,0 a 6,0. A acidificação desta água da chuva é causada pelo enxofre, que sendo expelido pela combustão espontânea dos rejeitos piritosos, provoca na atmosfera, com a presença de chuvas, a seguinte reação:



6.3 - Mineralogia da Contaminação

Dentre os mais de 125 sulfetos e sais de enxofre existentes, através da combinação de variada gama de elementos com o enxofre, destacam-se, por seus efeitos na contaminação do ciclo hidrológico, os minerais representados pela pirita e marcassita.

A pirita, cuja fórmula química é FeS_2 , apresenta estrutura de cristalização isométrica, formando também octaedros, cubos de faces estriadas, piritoedros ou massas informes. É amarelo claro e apresenta forte brilho metálico, sendo o mais comum dos sulfetos, ocorrendo em todos os

tipos de rochas.

A marcassita é um polimorfo da pirita; cristaliza no sistema ortorrômbico, sendo menos denso e estável que a pirita. É amarelo amarronzado ou cinza muito claro, ocorrendo em nódulos ou concreções fibrorradiadas bastante típicas.

Na área de Siderópolis ocorrem os dois minerais em proporções maiores que na área de Candiota, onde existe uma predominância de pirita.

Em menor escala, encontramos a troilita (FeS) e a melnikovita (Fe₃S₄), que inclusive são minerais participantes da formação das piritas.

A alteração destes minerais pela oxidação a baixa temperatura, os transforma de sulfetos em sulfatos. A maior velocidade de reação corresponde à marcassita, que é menos estável. Os principais minerais formados são a melanterita e a jarosita.

A melanterita, com ampla distribuição na área de Siderópolis, é um sulfato hidratado de ferro de fórmula química FeSO₄ · 7 H₂O monoclinico. Apresenta-se nas cores verde e azul esverdeado, formando crostas que são facilmente lixiviadas das pilhas de rejeito.

A jarosita é um mineral macio, pulverulento, amarelo-esverdeado, que quando ocorre junto com os finos é semelhante ao enxofre nativo, sendo facilmente confundível com este. Trata-se de um sulfato básico de potássio e ferro, com a seguinte fórmula química: KFe₃ (SO₄)₂ (OH)₆. Também forma pequenas crostas facilmente lixiviadas.

Em menor proporção, ocorrem como alteração

da pirita e marcassita os seguintes minerais: coquinbita ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), halotriquita ($\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) e a copiapita ($(\text{Fe}, \text{Mg}) \text{Fe}_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$).

Os cristais esbranquiçados e amarelados, representantes dos minerais citados acima, são comumente observados nos depósitos de rejeitos à beira das estradas na região de Siderópolis.

6.4 - Outras Formas de Enxofre

Além do enxofre pirítico, ocorrem ainda o enxofre sulfático e o enxofre orgânico.

O enxofre sulfático, quando está presente, é normalmente representado pelo sulfato de cálcio, sendo que em locais onde houve intemperismo sobre camadas de carvão contendo nódulos de pirita, ocorre o sulfato ferroso.

Nas áreas de Siderópolis e Candiota o enxofre sulfático ocorre devido à oxidação da pirita, pois em grande parcela da jazida as camadas de carvão possuem coberturas pequenas.

O enxofre orgânico não possui uma estrutura conhecida, entretanto seus compostos são parte da constituição fundamental do carvão, possuindo uma distribuição uniforme. A remoção do enxofre orgânico só pode ser obtida por beneficiamento químico, ainda pouco usado.

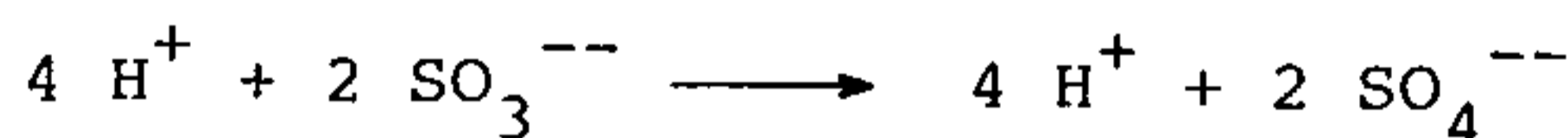
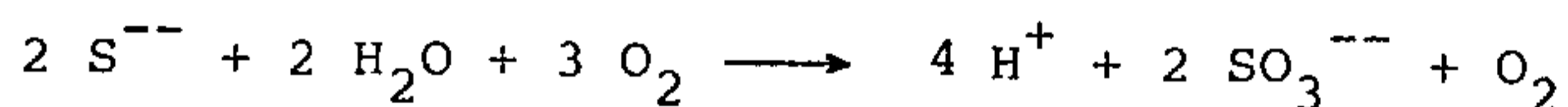
Da área de Siderópolis os dados obtidos de análises de carvão indicam haver uma maior predominância de enxofre pirítico sobre o sulfático e orgânico. Entretanto, na área de Candiota, análises realizadas sobre a camada Candiota, para conhecimento de suas qualidades na geração ter-

moelétrica, apontam uma grande quantidade de enxofre orgânico, localmente superior ao enxofre pirítico e sulfático. No caso específico do enxofre orgânico, o mesmo também pode ser considerado como enxofre combustível, já que apenas uma pequena parcela retorna com as cinzas da termoelétrica. A maior parte do mesmo vai contaminar a atmosfera como dióxido de enxofre (SO_2).

6.5 - Efluentes Líquidos

Estes efluentes estão representados pela drenagem ácida das minas e também pelas descargas dos lavadores, pois estes adotam a separação por gravidade em meio líquido dos rejeitos presentes na camada de carvão.

As águas drenadas diretamente das minas também sofrem acidificação com o processo de oxidação da pirita, podendo esta reação comportar-se da seguinte maneira, com a transformação do sulfeto em sulfito e posteriormente em sulfato:



As minas já paralisadas da área de Siderópolis também contribuem com efluentes líquidos resultantes da percolação de água subterrânea em suas galerias, carreando também uma grande quantidade de material tóxico solúvel.

Através de hidrólise estas águas de drenagem depositam hidróxido de ferro e tornam-se altamente ácidas.

A água de lavagem, como é conhecida a descarga do lavador, apresenta valores de pH não excessivamente

ácidos pelo menor tempo de contato com os rejeitos, sendo possível de reuso nos casos em que não houver grandes salinizações.

O principal problema relacionado com este efluente é a presença de grande quantidade de partículas semicoloidais em suspensão e que representam os finos, ultrafinos e material argiloso. Estes componentes encerram grandes quantidades de enxofre orgânico e pirítico, tendo elevada acidez potencial.

Os efluentes líquidos de mineração e beneficiamento são particularmente contaminadores da água superficial, afetando muito pouco as águas subterrâneas.

Nos EUA, a drenagem ácida de zonas de mineração de carvão já destruiu a vida em 15.000 Km de rios, sendo que a maior carga poluidora provém de minas abandonadas há mais de 30 anos.

6.6 - Alcalinidade e Qualidade da Drenagem

O grau de acidez da drenagem de rejeitos de carvão depende da alcalinidade inicial das águas que percolarão os rejeitos e da concentração de carbonatos nos mesmos.

A presença de carbonato de cálcio nos rejeitos provoca o aparecimento de microregiões alcalinas. A alcalinidade gerada, no entanto, é limitada pela solubilidade restrita do carbonato de cálcio (700 mg/l). A geração de acidez na superfície da pirita, entretanto, não é limitada pelo fator solubilidade. Ou seja, se os rejeitos são lavados freqüentemente pelas águas de percolação, o efluente será neutro com pequenos teores de sulfato de cálcio. Se a la

vagem for esporádica, a constante geração de ácido sulfúrico suplanta amplamente a geração de efluente alcalino, resultando num efluente ácido com alto teor de sulfatos. Observa-se, então, que a qualidade da drenagem na presença de carbonato de cálcio depende da relação cálcio/enxofre reativo e do tempo entre sucessivas percolações dos rejeitos.

Quando as águas de percolação dos rejeitos são alcalinas por origem, a oxidação da pirita é inibida tanto pela baixa solubilidade dos compostos de ferro quanto pelas condições desfavoráveis à proliferação das ferrobactérias ($\text{pH} > 6,5$). Neste caso, a drenagem é levemente alcalina com baixo teor de sulfatos.

Experiências têm mostrado que ao passar sobre a pirita, as águas alcalinas formam películas que impedem sua oxidação. A lavagem da pirita com um efluente ácido solubiliza esta película e faz com que a pirita volte a ser reativa.

6.7 - Morfologia da Pirita e Acidez da Drenagem

Pesquisas de campo realizadas na década de 70 mostraram que a acidez da drenagem não está associada somente ao teor de pirita no carvão. Minas de carvão com o mesmo teor de enxofre pirítico e calcário apresentaram drenagens de caráter diferente. A análise microscópica das piritas destas minas mostrou que a morfologia da pirita é o principal fator na determinação da acidez da drenagem. Quando a pirita se apresenta na forma de blocos massivos com grande dimensão (400 micra), a drenagem é neutra. Quando a pirita se apresenta na forma de framboesa, com esferas individuais de 0,25 a 1 micron, a drenagem se apresenta ácida.

Em termos de reatividade, a pirita framboi-
dal é mais reativa e menos estável do que a pirita em blo-
co. Amostras contendo pirita frambooidal, quando expostas
ao ar livre em laboratório, se decompõem rapidamente, pro-
duzindo crostas salinas na superfície do carvão. Por outro
lado, a pirita massiva é inerte e permanece brilhante e
metálica por longo tempo.

Desta forma, o potencial poluidor dos rejei-
tos de carvão está diretamente ligado ao teor da pirita
frambooidal presente. Um rejeito com 5% de enxofre na forma
de pirita massiva é menos propenso a produzir drenagem áci-
da do que outro rejeito com apenas 1% de pirita na forma
frambooidal. Além disso, a pirita massiva decompõe-se tão
lentamente que sua acidez é neutralizada pelo carbonato
de cálcio presente nos rejeitos. No caso da pirita fram-
booidal, a velocidade de formação do ácido é tal que a pro-
dução limitada de efluente alcalino não é capaz de neutra-
lizá-lo.

Uma explicação para a maior reatividade da
pirita frambooidal está na sua maior área por unidade de
massa do que no caso de pirita massiva. No caso da framboi-
dal, a área exposta à oxidação pode chegar a 10000 vezes
a área da pirita massiva de mesma massa.

6.8 - Cinzas Originadas em Termoelétricas

Os carvões presentes nas duas áreas em estu-
do e de resto na bacia gonduânica do sul do Brasil, carac-
terizam-se por conterem grandes proporções de materiais
incombustíveis, tanto associados ao carvão propriamente di-
to, dificultando a sua separação por meios convencionais,
como fazendo parte da camada em leitos estratificados.
Após a combustão do carvão este material é transformado
em cinzas.

O carvão termoelétrico (energético) da área de Siderópolis apresenta um teor aproximado de 42% em cinzas e poder calorífico de 4.500 kcal/kg, enquanto que o carvão utilizado na Usina Termoelétrica Presidente Médici (Candiota II) representado pela camada Candiota, possui um teor em cinzas que varia de 50 a 55% e poder calorífico de 3.100 kcal/kg.

As cinzas podem ser subdivididas de acordo com seu modo de ocorrência em dois tipos: cinzas volantes e cinzas residuárias.

As cinzas volantes, provenientes da queima do carvão mineral pulverizado em termoelétrica, são resíduos basicamente sílico-aluminosos, finamente divididos.

As cinzas residuárias, de mesma origem que as volantes, representam as frações que sobram da combustão e são densas o suficiente para não serem emitidas para a atmosfera.

A constituição mineralógica das cinzas é representada por uma fase vítrea principal, de natureza sílico-aluminosa e secundariamente por mullita, quartzo, hematita e magnetita (Kihara, 1983). Na sua constituição ocorrem ainda cálcio, magnésio e álcalis. Encontram-se também presentes TiO_2 , Mn_2O_3 , SrO_3 , P_2O_5 , V_2O_5 , Li_2O e outros em pequenas proporções como elementos menores.

O ferro, representado pela hematita e magnetita, é proveniente da oxidação e decomposição da pirita através da combustão do carvão.

Os metais pesados e outros elementos relacionados com as cinzas volantes, que escapam da recuperação devido a filtros de menor eficiência, vão contribuir

para a poluição atmosférica.

As cinzas residuárias, entretanto, ocupam um lugar de importância quando relacionadas com a contaminação de aquíferos. Os conteúdos de diversos elementos maiores e menores são concentrados em poucas áreas, sendo que sua lixiviação modifica o perfil de ocorrência destes elementos nos solos e posteriormente na superfície freática.

A concentração de alguns elementos nas cinzas de carvão de Candiota, resultante de estudos anteriores realizados na área, podem ser visualizados no quadro 6.1.

CONCENTRAÇÃO DE ALGUNS ELEMENTOS NAS CINZAS DO
CARVÃO DE CANDIOTA

ELEMENTO	CONCENTRAÇÃO		MÉDIA X*
	MÍNIMA	MÁXIMA	
Mn	ND	620	225
Cu	17	34	21
V	56	110	65
Ni	19	56	23
Ti	4.900	7.600	5.400
Cr	30	80	50
Sr	60	200	125
Pb	20	56	44
Co	10	30	10

Obs.: N.D. = não detectada
 X* = média aritmética de amostras médias dos bancos Sup. e Inf. da camada Candiota
 Fonte: Urdininea e Pintaúde (1972)

Quadro 6.1

No presente trabalho, o capítulo Lixiviação dos Elementos Contaminantes mostra os resultados dos ensaios de lixiviação realizados sobre as cinzas e carvão residual da mineração.

7. CONCEITOS DOS PARÂMETROS UTILIZADOS

Existe uma variada gama de constituintes, poluentes ou não da água, que são analisados de acordo com o conhecimento das fontes de contaminação e seus efeitos no comportamento físico, químico e biológico nos corpos receptores ou portadores. Como este estudo trata especificamente da contaminação causada pela extração do carvão mineral, foram estabelecidos parâmetros determinantes da qualidade em zonas de mineração, ou de utilização *in loco* dos carvões, como a geração de energia em termoelétricas. A seguir serão descritos os parâmetros mais significativos que são o pH, acidez, condutividade específica, sulfatos, sólidos totais, ferro, além de variada gama de metais pesados. Outros parâmetros tais como alcalinidade, dureza e temperatura serão também abordados. O conhecimento da composição química através da análise das águas permitirá a sua classificação. Nessa análise serão determinados os cátions (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e Fe^{++}) e ânions (Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{--} e SO_4^{--}). Os limites aceitáveis de concentração para abastecimento público, vida aquática e irrigação dos diversos elementos e parâmetros estão no Quadro 7.1.

7.1 - pH (Potencial de Hidrogênio)

O pH não se trata efetivamente de um constituinte das águas e sim uma propriedade indicativa da acidez ou alcalinidade. Ele indica a concentração de íons hidrogênio em uma solução, sendo pois, por definição, o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio expressa em moles por litro:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = - \log [\text{H}^+]$$

FATORES INDICATIVOS DE CONTAMINAÇÃO

ELEMENTO/ PARÂMETRO	EFEITOS PREJUDICIAIS	LIMITES MÁXIMOS RECOMENDÁVEIS		
		ABASTECIMENTO PÚBLICO	VIDA AQUÁTICA	IRRIGAÇÃO
pH	¹ Dissolução de materiais tóxicos	5,0 a 9,0	6,5 a 8,5	4,5 a 9,0
ACIDEZ	Dissolução de materiais tóxicos	20 mgCaCO ₃ /ℓ	—	—
CONDUTIVIDADE	⁴ Indica aumento da salinidade	750 µS/cm	—	—
SÓLIDOS TOTAIS	¹ Alto teor inconveniente para cons. humano e industrial	500 mg/ℓ	—	—
CLORETOS	¹ Corrosão. Produz gosto na água de consumo	250 mg/ℓ	20 mg/ℓ	100 mg/ℓ
SULFATOS	² Prop. purgativas, odores e corrosão nas tubulações	250 mg/ℓ	—	20 mg/ℓ
DUREZA	² Águas muito duras são incrustantes	250 mg/ℓ	—	—
FERRO TOTAL	¹ Extermina vida aquática. Depósito nas tubulações	0,3 mg/ℓ	0,3 mg/ℓ	5,0 mg/ℓ
MANGANÊS	² Produz gosto e manchas nas roupas	0,05 mg/ℓ	—	—
ALUMÍNIO	Não significativos em abastecimento	Somente em altas concentrações		
COBRE	¹ Sabor desagradável, vômitos e perturbações no fígado	1,0 mg/ℓ	0,02 mg/ℓ	0,2 mg/ℓ
CHUMBO	¹ Acumula-se nos tecidos. Inflamação intestinal. Anemia.	0,05 mg/ℓ	0,03 mg/ℓ	0,1 mg/ℓ
ZINCO	¹ Gosto metálico. Tóxico para vida aquática.	5,0 mg/ℓ	0,03 mg/ℓ	2,0 mg/ℓ
NÍQUEL	¹ Tóxico para peixes quando associado c/outros metais	0,2 mg/ℓ	0,025 mg/ℓ	0,2 mg/ℓ
ESTRÔNCIO	Bloqueio do sistema nervoso e vasoconstrição	1,0 mg/ℓ	—	—
VANÁDIO	³ Problemas relacionados c/ as vias respiratórias	0,5 mg/ℓ	—	—
CROMO	¹ Problemas respiratórios e modificações hematológicas	0,03 mg/ℓ	0,05 mg/ℓ	0,05 mg/ℓ
CÁDMIO	¹ Cumulativo no organismo. Hipertensão arterial.	0,01 mg/ℓ	0,0004 mg/ℓ	0,01 mg/ℓ
COBALTO	Semelhante ao níquel.	0,01 mg/ℓ	—	—

1 - EPA(1972), in FUNDACENTRO/IESA (1983)

2 - DRINKING WATER STANDARDS(1962), in CUSTODIO • LLAMAS(1976)

3 - SUDENE. ELEM DE HIDROGEOL PRÁTICA(1967)

4 - LOGAN J. (1965).



CPRM

Os valores de pH variam de zero a 14. Soluções com pH menor que 7 são ácidas enquanto que para pH maior que 7 são alcalinas.

De uma maneira geral, os valores de 5 a 9 são aceitáveis em termos de potabilidade, porém não são indicadores de estar havendo ou não contaminação, enquanto valores fora destes limites muito provavelmente indicam que haja contaminação.

Além da influência do pH na vida aquática, a dissolução de metais e a toxicidade de muitos materiais é normalmente aumentada pela mudança do pH nas águas naturais.

7.2 - Acidez

É a capacidade quantitativa da água em neutralizar bases (íons hidroxila). É uma medida quantitativa do valor de ácidos presentes na solução, sendo expressa em equivalentes de carbonato de cálcio (CaCO_3) dos íons hidroxila neutralizados.

Não deve se confundir a acidez de uma água, com a propriedade de ser ácida por ter pH menor que 7, pois uma água com pH igual a 6,0 pode ter maior acidez que outra com pH igual a 4,0.

A conjugação dos valores de pH e acidez são básicos na determinação da qualidade das águas tanto superficiais quanto subterrâneas, pois permitem localizar as zonas já afetadas por contaminação ou potencialmente vulneráveis aos efluentes originados da oxidação de sulfetos metálicos presentes nas camadas de carvão e rochas encaixantes.

As águas com altas concentrações de acidez são corrosivas de metais, aumentam sua toxicidade e na maioria dos casos são letais aos seres vivos.

7.3 - Condutividade Específica

A quantificação da concentração total de íons dissolvidos na água, pode ser expressa pela capacidade da água em conduzir corrente elétrica, sendo esta definida como condutividade elétrica específica. Seus valores são expressos em micromhos/cm ($\mu\text{mhos/cm}$) ou microsiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) relacionados à temperatura de 25°C.

A quantidade de substâncias ionizadas presentes nas águas, provenientes dos trabalhos de mineração de carvão, é facilmente identificável pela condutividade destas águas.

7.4 - Sulfatos

Dentre as várias origens dos sulfatos nas águas, pode-se citar a lixiviação do gesso e as descargas industriais. As águas ácidas das minas contém grande quantidade de sulfatos provenientes da oxidação da pirita. A quantidade de sulfatos está diretamente ligada à acidez, sendo esta também gerada em função da oxidação da pirita.

Combinações com Mg e Na em águas de suprimento doméstico produzem efeitos purgativos; além disso, os sulfatos provocam odores desagradáveis (gás sulfídrico) e corrosão em tubulações metálicas (ácido sulfúrico).

São aceitos valores até 250 mg/l para abastecimento público; entretanto, valores acima de 150 mg/l não são comuns, podendo indicar contaminação.

7.5 - Sólidos Totais

Representam o resíduo seco que permanece após evaporação da amostra a 110°C, podendo compor-se de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos.

Nas águas naturais os sólidos dissolvidos estão constituídos por bicarbonatos, carbonatos, cloretos, sulfatos e nitratos, além de cálcio, magnésio, potássio, ferro, sódio, etc. Altas concentrações de sólidos dissolvidos tornam a água imprópria para consumo humano e uso industrial.

Os sólidos dissolvidos podem ser determinados pelo efeito dos íons na condutividade da solução, sendo que a quantidade destes sólidos, em mg/l, obtém-se dividindo-se a condutividade específica por 1,5.

Os sólidos suspensos compõem-se de materiais orgânicos e inorgânicos. No caso específico de mineração de carvão, sua origem está nas águas de drenagem da lavagem, sendo mais conhecidos como finos do carvão. Seus efeitos são mais prejudiciais nas águas superficiais.

7.6 - Ferro

O ferro é um metal que ocorre em variadas concentrações na água subterrânea, através de solução por CO₂. Sua química é relativamente complexa, nas águas resultantes da mineração e beneficiamento de carvão, existindo nos estados de valência +2 (ferroso) e +3 (férico), sendo esta última a forma oxidada.

A oxidação do ferro se produz segundo:

$$\text{Fe}^{++} + 1/2 \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}^+$$
, portanto, diminuindo o pH. O HCO₃⁻ participa como tampão, permitindo o

prosseguimento da reação, liberando CO_2 .

A contaminação natural é devida aos íons de ferro solúveis em solos e rochas que são lixiviados pelas águas subterrâneas. A pirita quando exposta ao oxigênio e umidade, é oxidada produzindo sulfato de ferro e ácido sulfúrico. A forma ferrosa dos óxidos e hidróxidos formados é rapidamente transformada para a forma férrica, que dá a coloração avermelhada aos rios e lagoas contaminados.

Concentrações elevadas de ferro exterminam a vida aquática, proporcionam o crescimento de ferrobactérias e alteração na cor e gosto das águas de abastecimento, além de prejudicar os processos industriais. O valor máximo recomendado para abastecimento público é de 0,3 mg/l.

7.7 - Elementos Tóxicos

Certos materiais tóxicos (p. ex. metais pesados) estão presentes naturalmente nas águas ou são adicionados através dos processos industriais ou de mineração.

Devido à origem do material formador das camadas de carvão, sua lavra e processos de lavagem concentram grandes quantidades de metais pesados e elementos menores nos rejeitos e produtos finais de beneficiamento.

O ambiente redutor, responsável pela formação destas camadas, propicia o aparecimento de sulfetos que, além dos elementos maiores enxofre e ferro, estão associados com variada gama de elementos de maior ou menor toxicidade como manganês, cobre, zinco, chumbo, cádmio, etc. Como a distribuição destes materiais é grande, sua

presença em maiores ou menores proporções nos efluentes de mineração é uma constante. Deste modo serão analisados os mais comumente encontrados: ferro, manganês, alumínio, cobre, chumbo, zinco, níquel, estrôncio, arsênio, vanádio, selênio, cromo, cádmio e cobalto.

Os sulfetos mais comumente encontrados, associados com o carvão, são a pirita e a marcassita (sulfetos de ferro), com predominância do primeiro.

7.7.1 - Manganês

O manganês é altamente tóxico para serem humanos, mas não nas concentrações normalmente encontradas nas águas naturais. Sua química é similar à do ferro.

Ele pode ocorrer na forma bivalente ou trivalente, sendo que o estado de valência + 2 é mais frequente e comumente aparece deste modo nas águas subterâneas, devido à percolação através do solo e conseqüente redução. Nas águas superficiais, é facilmente oxidado para óxido de manganês hidratado, pouco solúvel. A remoção do manganês nas águas é mais difícil quando comparada ao ferro. Para abastecimento público são indicados valores menores de 0,05 mg/l. Entretanto, para os homens os níveis acima de 5,0 mg/l é que tornam-se muito perigosos.

7.7.2 - Alumínio

O alumínio é um metal abundante na crosta terrestre, não sendo encontrado livre na natureza. Muitos dos seus sais são solúveis apesar do próprio metal ser insolúvel. Seus sais são usados no tratamento da água.

Este metal é comumente usado na fabricação de utensílios de cozinha, não possuindo efeitos fisio-

lógicos conhecidos sobre o homem, nas concentrações baixas em que normalmente aparece nas águas potáveis.

7.7.3 - Cobre

Os sais de cobre estão representados nas águas naturais em quantidades normalmente abaixo de 0,05 ppm.

Várias são as características físicas e químicas da água que alteram a toxicidade do cobre, entre elas temos: temperatura, dureza, turbidez e CO_2 .

É essencial a todos os seres vivos. Deficiência na ingestão de cobre causa anemia em crianças.

Elevadas concentrações são prejudiciais a numerosas formas aquáticas, causam também sabor desagradável na água além de vômitos e perturbações no fígado dos seres humanos. Seu limite aceitável para abastecimento público é 1,0 mg/l, bastante superior ao limite crítico para a vida aquática, que é de 0,02 mg/l.

7.7.4 - Chumbo

Encontra-se na água sob a forma solúvel, suspenso e em baixas concentrações. O chumbo é altamente tóxico para os seres humanos e outros animais, tendendo a concentrar-se cumulativamente nos tecidos.

Aparece na natureza principalmente como sulfato de chumbo, carbonato de chumbo, sulfeto de chumbo e clorofosfato de chumbo, tendo sua toxicidade afetada pelo pH, matéria orgânica, dureza, oxigênio dissolvido e presença de outros metais. A solubilidade varia de 0,5 mg/l em águas moles a apenas 0,003 mg/l em águas duras. Para abas-

tecimento público são recomendáveis concentrações máximas de 0,05 mg/l.

7.7.5 - Zinco

O zinco presente em uma água pode causar-lhe gosto metálico. Ele aparece em todas as águas naturais que suportam vida aquática, sendo um elemento necessário ao crescimento das plantas e animais. Deve ser salientado, entretanto, que mesmo muito pequenas quantidades deste elemento podem ser tóxicas à vida aquática, inclusive ocasionando a morte.

A toxicidade do zinco relaciona-se com as reações de troca iônica existentes no meio hídrico, sendo inversamente proporcional à dureza e OD (oxigênio dissolvido) e diretamente proporcional à temperatura. Para o abastecimento público são admitidos valores de até 5,0 mg/l, enquanto que para a vida aquática o máximo recomendado é de 0,03 mg/l.

7.7.6 - Níquel

São encontrados muitos compostos com níquel em minerais, sendo a forma elementar muito rara na natureza. Seus sais, a contrário do metal puro, são altamente solúveis, originando-se de despejos industriais e alterações de minerais portadores do elemento.

A toxicidade do níquel para o homem é considerada baixa, enquanto que para alguns peixes concentrações muito baixas podem ser fatais; ainda assim é menos tóxico que o ferro, cobre e zinco. Seus efeitos nocivos variam de acordo com o pH e efeitos sinérgicos de outros metais. A concentração máxima recomendada para o abastecimento público é de 0,2 mg/l.

7.7.7 - Estrôncio

O estrôncio pode ocorrer naturalmente em algumas fontes minerais, sendo que no carvão mineral chega a teores maiores que 600 ppm.

Sua química é muito semelhante à do bário, não sendo cumulativo nos ossos, músculos e rins. Pode causar bloqueio do sistema nervoso e produzir aumento da pressão sanguínea por vasoconstrição.

Não se tem estudo para determinar a quantidade de estrôncio que pode ser tolerada em água potável. Tentativamente, em semelhança ao bário, foi tomado o limite de 1,0 mg/l na água de abastecimento como aceitável, tendo em conta os efeitos tóxicos sobre o coração, nervos e vasos sanguíneos.

7.7.8 - Arsênio

Está presente no carvão na forma de arsenopirita (FeAsS).

O arsênio é altamente tóxico e cumulativo nos organismos, havendo provas de que o mesmo seja carcinogênico. Traços são comuns em águas naturais e em fontes térmicas. As atividades de mineração e uso industrial de alguns vidros, tintas e corantes, junto com a fabricação e uso de pesticidas contribuem para aumentar seus níveis de concentração nos líquidos.

Pequenas concentrações de arsênio estimulam o crescimento das plantas, mas altas concentrações destroem a clorofila.

A experiência tem demonstrado que a ameaça



de ingestão de arsênio para a saúde recomenda que 0,01 mg/l seja seu limite de potabilidade, devendo ser rejeitadas águas com concentrações superiores a 0,05 mg/l.

7.7.9 - Vanádio

Este elemento normalmente acha-se concentrado na fração orgânica, rica em material argiloso.

A relação vanádio-sulfetos é inversamente proporcional, sendo que os mais altos teores de vanádio não correspondem ao enxofre. Este elemento é encontrado em quantidades reduzidas em piritas.

Os maiores problemas de toxidez estão relacionados com sua presença no ar, contaminado pela queima de carvão, como ocorre em termoelétricas. Ele causa irritação, bronquite crônica e pneumonia. Os padrões para emissões aéreas são de 2,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que seus limites para águas de abastecimento público recomendam um máximo de 0,5 mg/l.

7.7.10 - Selênio

O aparecimento de selênio nas águas resulta da aplicação de pesticidas em zonas adjacentes, dejetos industriais, solos e alteração de rejeitos de mineração. Ele é tóxico tanto para os homens como para os animais, com efeitos fisiológicos semelhantes aos do arsênio. É carcinogênico em potencial, podendo ainda provocar problemas dentários. No gado provoca a "doença alcalina" e seus efeitos são permanentes. Tendo em vista todos estes problemas, águas com concentrações superiores a 0,01 mg/l devem ser rejeitadas.

7.7.11 - Cromo

O cromo das rochas é pouco lixiviado, esperando-se que as águas naturais contenham apenas traços deste metal. Apenas águas subterrâneas com pH muito baixo afetam sua solubilidade, sendo que nas águas superficiais a contaminação dá-se por influência dos compostos de cromo resultantes dos processos industriais de galvanoplastia.

Em pequenas quantidades é essencial ao homem.

A toxicidade do cromo, em relação à vida aquática, varia de acordo com a espécie, temperatura, pH, valência (+ 3 e + 6), OD e efeitos sinérgicos. Em condições normais de pH e OD, há predomínio da forma hexavalente, mais tóxica para os peixes. Outros efeitos tóxicos nos seres humanos são a corrosão das mucosas, problemas respiratórios (inclusive câncer) e modificações hematológicas.

Com base nos efeitos tóxicos apresentados estabeleceu-se o limite de 0,03 mg/l como aceitável para águas de abastecimento público.

7.7.12 - Cádmio

O cádmio é um elemento não essencial, especialmente tóxico. Ele pode estar presente em águas naturais, mas usualmente é representado pela contaminação por efluentes industriais, como de plantas de galvanização que se infiltram nas águas subterrâneas.

Tanto o cloreto quanto o nitrato e sulfeto de cádmio são altamente solúveis em água, entretanto, o carbonato e o hidróxido são insolúveis, havendo precipitação em altos valores de pH.

O cádmio tende a se concentrar no fígado, rins, pâncreas e tireóide de pessoas e animais. Além disso, possui um efeito cumulativo, onde a concentração e não a quantidade absoluta determinam a sua toxidez aguda. Sua toxicidade pode ser aumentada pela ação sinérgica com outras substâncias.

Recomenda-se que seus limites nas águas de abastecimento não ultrapassem a 0,01 mg/l.

7.7.13 - Cobalto

De um modo geral, o cobalto se apresenta nos carvões em concentrações baixas, existindo uma grande similitude de comportamento entre este elemento e o níquel.

A presença de cobalto nos pontos de alto teor de ferro e enxofre, além da matéria orgânica, indicam que a precipitação pelos sulfetos e a sorção (absorção e adsorção) pela matéria orgânica são os principais processos envolvidos na incorporação deste elemento.

Da mesma forma que o níquel, sua toxicidade é considerada baixa para os homens, sendo que o limite aceitável para abastecimento público não deve exceder a 0,01 mg/l.

7.7.14 - Berílio

É altamente tóxico para o homem e nas plantas inibe a fotossíntese. A intoxicação por berílio produz tosse, dispnéia (dificuldade de respirar), cianose (cor azulada), anorexia (perda de apetite), perda de peso e osteoartropatia (inflamação nas juntas). Há poucos dados sobre o nível aceitável de berílio, sendo recomendado um teor máximo de 0,10 mg/l.

7.7.15 - Boro

Seus compostos não são muito tóxicos para pessoas ou animais mas podem destruir a vida vegetal quando acima de 5 mg/l. É altamente tóxico para microorganismos usados nas estações de tratamento de rejeitos líquidos, mesmo em concentrações de 1 mg/l.

7.8 - Características Físicas e Químicas Complementares

7.8.1 - Alcalinidade

É a característica inversa à acidez, pois mede a capacidade da água em neutralizar ácidos. Entre as várias substâncias que conferem alcalinidade à água, as predominantes são os hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos de sódio e cálcio.

A alcalinidade é uma medida da capacidade tampão da água, sendo que seus componentes podem modificar a toxicidade dos metais pesados.

7.8.2 - Dureza

A dureza é devida à presença dos íons Ca e Mg associados a carbonatos, bicarbonatos, sulfatos e cloretos.

A dureza total presente na água natural é expressa pelo conteúdo total de Ca^{++} e Mg^{++} , corresponde à soma da dureza temporária (carbonatos) mais a permanente (não carbonatos após a ebulição).

Águas com menos de 50 mg CaCO_3 são brandas, de 50 até 100 ligeiramente duras, de 100 até 200 moderada-

mente duras e acima destes valores muito duras.

As águas duras são incrustantes, enquanto as águas muito brandas são agressivas e podem não ser adequadas para o consumo humano.

7.8.3 - Temperatura

As águas subterrâneas possuem pouca variação de temperatura, estando relacionada com o gradiente térmico.

A temperatura afeta a viscosidade da água e a capacidade de absorção dos gases. É importante a tomada de temperatura da água concomitante com as medidas de índices físico-químicos com pH e condutividade, pois estes variam em função dela. Por exemplo, os valores de condutividade são tomados a um referencial de 25°C, sendo que seu valor cresce na proporção de 2%/°C.

7.9 - Substâncias Dissolvidas Usadas na Classificação das Águas

Foram tomadas em consideração, na classificação das águas, a presença dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} e ânions Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- e CO_3^{--} . Tanto a descrição da hidroquímica como das relações hidrogeoquímicas estará baseada na presença destes íons fundamentais.

7.9.1 - Cátions

7.9.1.1 - Sódio

Apresenta uma solubilidade alta, estando comumente associado ao íon cloreto. É afetado pela troca de

bases, sendo que águas com elevados teores de sódio diminuem a permeabilidade dos solos prejudicando as plantas. Se os conteúdos de cálcio e magnésio são baixos, estas águas poderão ser nocivas.

7.9.1.2 - Potássio

Apesar da alta solubilidade, é facilmente absorvido pelas argilas para formar parte de sua estrutura, o que o diferencia do sódio. É facilmente afetado pela troca de bases.

Não apresenta problemas de toxicidade nas baixas concentrações habituais.

7.9.1.3 - Cálcio

Apresenta sais moderadamente solúveis, precipitando-se facilmente como CaCO_3 . Nas águas naturais, precipita-se ou dissolve-se facilmente com as mudanças de pH ou pressão parcial de CO_2 , estando sua química ligada aos íons HCO_3^- e CO_3^{--} . Pode ser afetado pela troca de bases.

Seus teores afetam a dureza da água e podem criar depósitos nas tubulações.

7.9.1.4 - Magnésio

Sua química é semelhante à do cálcio, sendo entretanto mais solúvel.

Quando associado a sulfatos apresenta propriedades laxantes e sabor amargo em caso de grandes concentrações. Conjuntamente com o cálcio determina a dureza das águas.

7.9.2 - Ânions

7.9.2.1 - Cloretos

É um dos principais ânions, altamente solúvel e estável, estando presente em praticamente todas as águas. Encontra-se associado geralmente com o íon sódio, o que não implica que o número de miliequivalentes de ambos seja igual.

Não é prejudicial aos seres humanos e seus limites aceitáveis na água de abastecimento referem-se à palatabilidade. Com relação à vida aquática e às plantas, provoca problemas nas propriedades funcionais e estruturais por mudanças na osmo-regulação, densidade e viscosidade. Em altas concentrações torna a água corrosiva.

7.9.2.2 - Sulfatos

Suas características foram tratadas no item 7.4.

7.9.2.3 - Bicarbonatos e Carbonatos

Precipitam-se com muita facilidade como CaCO_3 , não sendo oxidados nem reduzidos em águas naturais. Estes íons comunicam alcalinidade à água pelo consumo de ácido ao produzir uma solução tampão.

O íon bicarbonato HCO_3^- está presente em concentrações muito superiores às de carbonato CO_3^{--} , sendo que em $\text{pH} < 8,3$ se considera o carbonato como ausente na água.

Não existem problemas especiais de toxicidade, porém o equilíbrio entre CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{--} e pH determina a incrustabilidade e corrosividade.

8. ÁREA DE SIDERÓPOLIS

Neste capítulo serão apresentados os estudos realizados na área que abrange parte dos municípios de Lauro Müller, Nova Veneza, Siderópolis e Urussanga, no Estado de Santa Catarina.

A fim de facilitar a localização da área adotou-se a denominação "Área de Siderópolis" para identificar aquela definida pelos municípios acima citados.

8.1 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área localiza-se na região sudeste do Estado de Santa Catarina, compreendendo parte dos municípios de Siderópolis, Nova Veneza, Urussanga e Lauro Müller, especialmente o primeiro que ocupa a maior parte da área.

Esta área está englobada na denominada Microrregião Carbonífera do Estado de Santa Catarina.

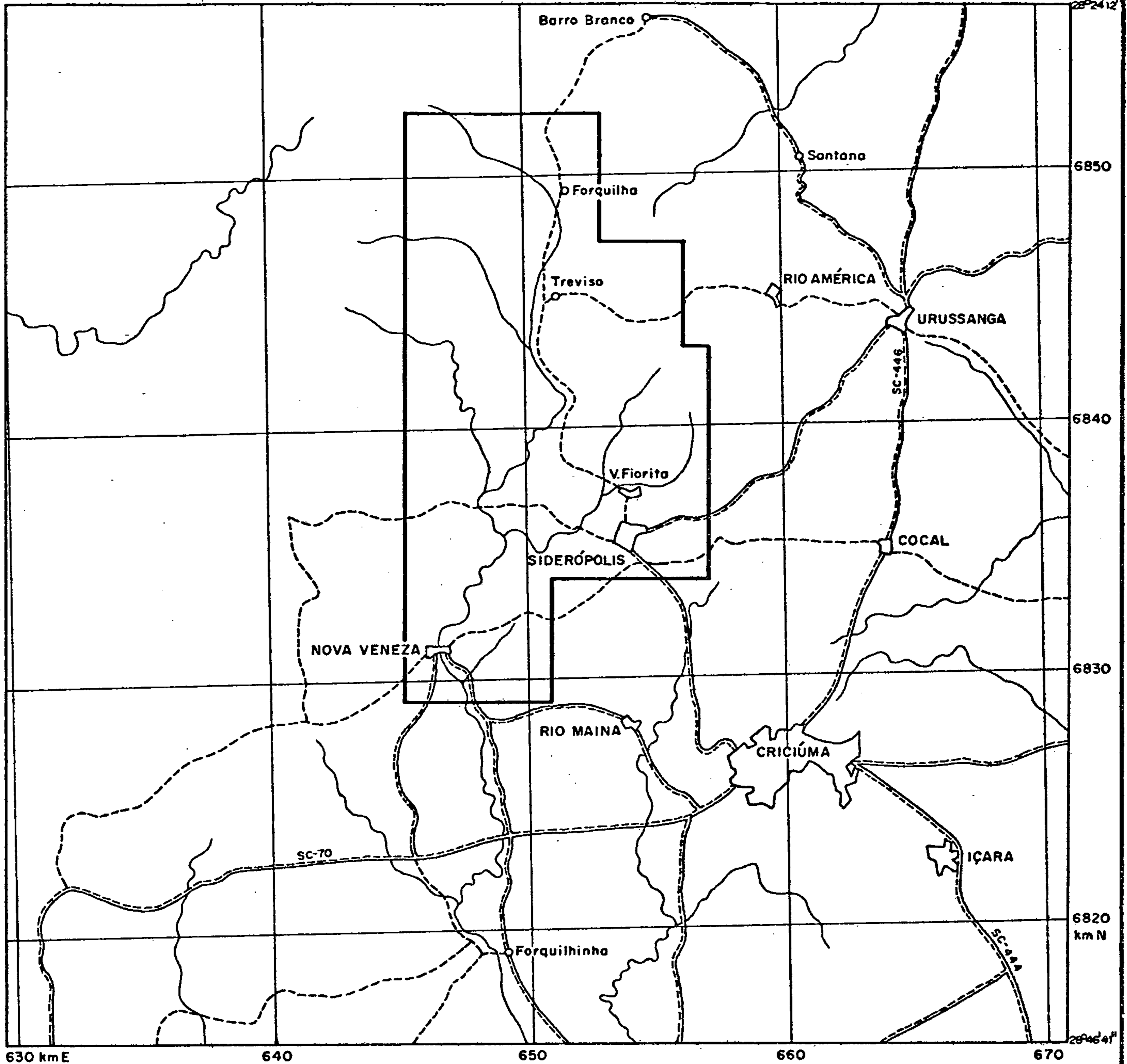
Está compreendida entre as latitudes 28°26'24'' a norte e 28°39'10'' a sul e entre as longitudes 49°30'26'' a oeste e 49°23'00'' a leste, perfazendo uma extensão aproximada de 225 km². O mapa de localização da área pode ser visto na figura 8.1.1.

O acesso à área pode ser feito por via rodoviária seguindo-se o seguinte roteiro:

PERCURSSO	RODOVIA	CARAC- TERÍSTICAS	KM
Porto Alegre-Osório	BR-290	asfaltada	98
Osório-Vila Esperança (entroncamento com a SC-445)	BR-101	asfaltada	184
Vila Esperança (entron- camento acima)-Criciúma- Siderópolis	SC-445	asfaltada	<u>28</u>
			310

49°40'29"

49°15'00"

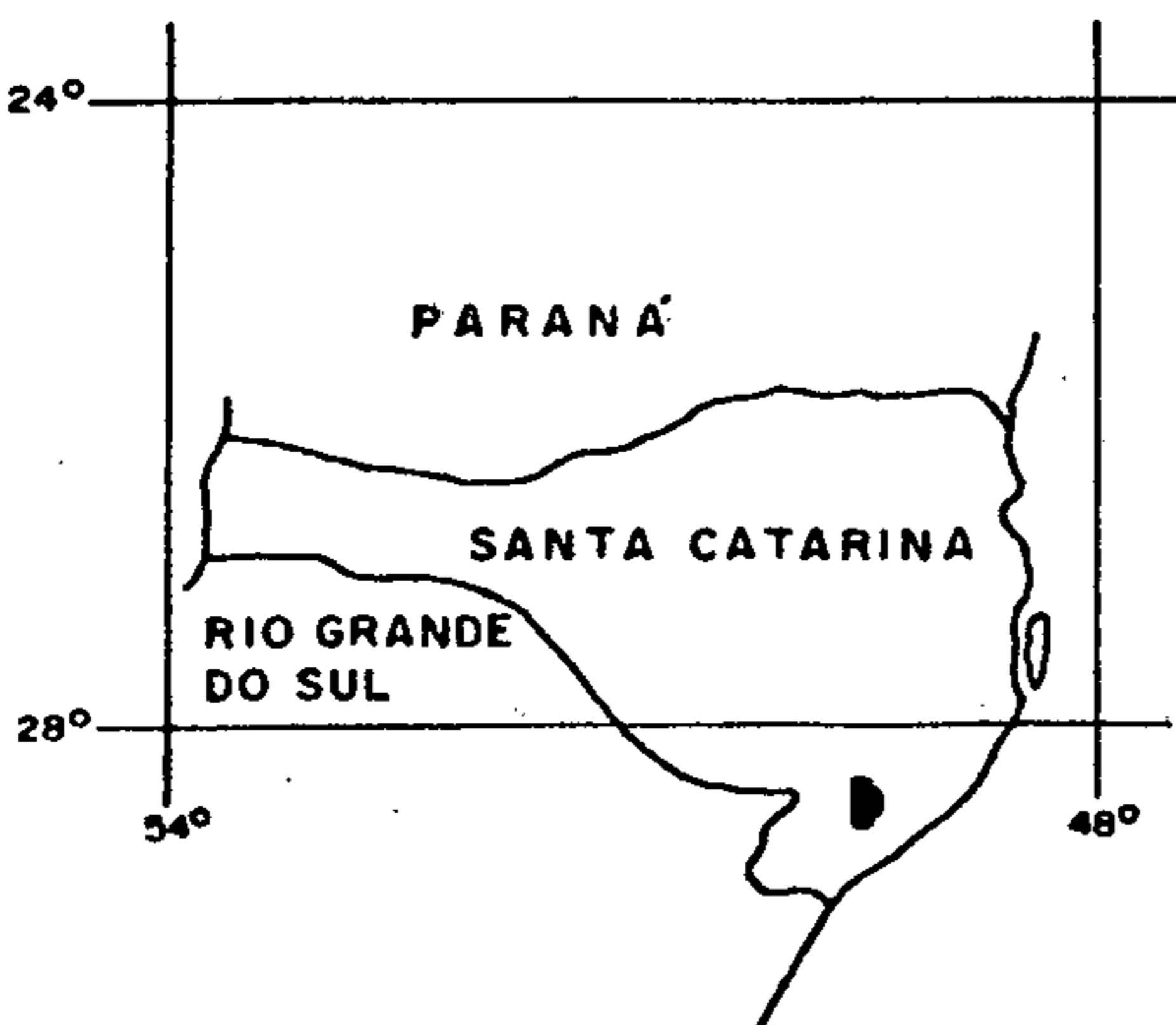


ESCALA 1:250.000



CONVENÇÕES

- CIDADE, Vila
- DRENAGEM
- ESTRADA PRINCIPAL
- ESTRADA SECUNDÁRIA
- ÁREA DO PROJETO



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

MAPA DE LOCALIZAÇÃO
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

Fig. 8.11

A área também pode ser atingida por via aérea até à cidade de Criciúma, já que a cidade dispõe de aeroporto com boas condições de operação para aviões de pequeno e médio porte. A Empresa Aérea Regional Rio Sul mantém um voo diário entre Porto Alegre e Criciúma.

8.2 - TRABALHOS REALIZADOS

Os trabalhos executados na área piloto de Siderópolis iniciaram-se com o levantamento bibliográfico, especialmente junto a órgãos atuantes na área no setor ambiental, destacando-se os trabalhos obtidos junto à Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente (FATMA), órgão ligado ao governo do Estado de Santa Catarina.

Foram utilizadas fotografias aéreas em escala 1:60.000 obtidas do levantamento aerofotogramétrico executado pela USAF em 1965-1966 e fotografias aéreas na escala 1:25.000 obtidas do levantamento executado pela Cruzeiro do Sul.

As folhas topográficas, em escala 1:50.000, são do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) editadas em 1976. A área está englobada pelas folhas de Bom Jardim da Serra (SH-22-X-A-III-4), Orleães (SH-22-X-B-I-3), São Bento Baixo (SH-22-X-A-VI-2) e Criciúma (SH-22-X-B-IV-1).

Foi executado mapeamento geológico, na escala 1:50.000, em 225 km². Este mapeamento se ateve mais às condições hidrogeológicas de cada formação.

Durante o levantamento efetuado na área foram cadastrados 133 pontos, sendo 39 nascentes, 39 poços escavados, 15 poços tubulares, 36 pontos de rio, 3 pontos em lagoas e 1 ponto em afluente de lavador. Estes pontos cadastrados estão representados no Mapa de Pontos de Água, anexo III.2.

Dos pontos cadastrados, 61 foram selecionados para serem topografados com a determinação de co-



CPRM

tas e coordenadas UTM, tendo por finalidade a elaboração do mapa piezométrico. Os pontos topografados constaram de 21 nascentes, 25 poços escavados, 14 poços tubulares e 1 lagoa.

Foram coletadas 55 amostras de água, sendo 10 em nascentes, 28 em poços escavados, 6 em poços tubulares, 10 em rios e 1 em lagoa.

Nestas amostras foram feitas determinações de pH e condutividade no próprio campo, determinações de acidez no Laboratório de Análises e Ensaios de Carvão (LAEC) de Criciúma, determinações de cátions no Laboratório de Análises Químicas Ltda de Porto Alegre e determinações de elementos maiores e traços no Laboratório de Análises Mineraiis (LAMIN).

Foi celebrado contrato com a Fundação Universidade-Empresa de Tecnologia e Ciências (FUNDATEC) tendo por finalidade a realização de ensaios de carvão, rejeitos de mineração e efluentes de rejeitos de lavador.

Para este fim foram coletadas, na área de Siderópolis, amostras de carvão, rejeitos de mineração e efluentes de rejeitos de lavador.

Após os testes de lixiviação executados pela FUNDATEC, foram enviadas 22 amostras ao LAMIN para determinação de alguns elementos maiores e elementos traços.

Das amostras enviadas 9 foram de água proveniente de lixiviação em carvão ROM, 3 de água proveniente de testes de lixiviação em rejeitos piritosos, 6 de água proveniente de testes de lixiviação em efluentes de rejeitos de lavador, 3 de carvão ROM e 1 de rejeitos piritosos.

Com relação a sondagem, foram executados 13 furos de sonda na área de Siderópolis sendo 5 a oeste da cidade de Siderópolis (sigla PS), 4 a sul da localidade denominada Treviso (sigla PT) e 4 na localidade denomina-

da Forquilha (sigla PF).

Em cada uma destas áreas foi executado um furo de aproximadamente 20m sendo os restantes de 10m.

Os furos foram executados com diâmetro de 6 3/4'' com sonda BBS-45 nas áreas de Siderópolis e Forquilha e com sonda Rocky-150 na área de Treviso.

Na construção do poço foram utilizados filtros de PVC com 4'' de diâmetro interno e colocação de pré-filtro em diâmetro apropriado para evitar a entrada de areia no poço.

No total da sondagem foram perfurados..... 165,80m distribuídos nos 13 furos que seguem: PS-01-SC (10,15m), PS-02-SC (10,70m), PS-03-SC (10,00m), PS-04-SC (10,00m), PS-05-SC (20,60m), PF-01-SC (10,50m), PF-02-SC (10,50m), PF-03-SC (10,35m), PF-04-SC (20,80m), PT-01-SC (10,70m), PT-02-SC (10,40m), PT-03-SC (10,50m) e PT-04-SC (20,60m).

Os poços de 10m foram utilizados para a determinação do nível piezométrico do lençol freático sendo os de 20m utilizados para determinações com traçadores radioativos.

Para tanto foi celebrado contrato com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) para determinação da direção e velocidade do deslocamento da água subterrânea.

Foram feitas 3 determinações com traçadores radioativos nos seguintes poços PS-05-SC em Siderópolis, PF-04-SC em Forquilha e PT-04-SC em Treviso.

8.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

8.3.1 - Elementos do Clima

Na elaboração desse trabalho foram considerados os dados utilizados em estudos realizados pela Internacional de Engenharia S/A (IESA) e pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na bacia carbonífera de Santa Catarina.

Esses dados, pertencentes às estações de Forquilha e Urussanga, são relativos a observações feitas no período de 1939 a 1980 e são apresentados no quadro 8.3.1.

8.3.1.1 - Pluviometria

O estudo da pluviometria na área de Siderópolis-Sc está baseado em dados obtidos das estações de Forquilha e Urussanga (quadro 8.3.1), ambas situadas a leste e a sul da área de trabalho, respectivamente.

Analisando os dados fornecidos pelas duas estações verifica-se que os valores mínimos estão relacionados aos meses de maio, junho e julho, sendo que para a estação de Forquilha a menor média no período foi de 60,6 mm para o mês de maio e para a estação de Urussanga a menor média no período foi para o mês de julho com 70,7 mm. O valor médio máximo para a estação de Forquilha foi registrado em março com 171,7 mm e para a estação de Urussanga esse valor médio máximo foi de 187,2 mm no mês de janeiro.

O regime pluviométrico da região pode ser definido por duas fases distintas: uma onde se regis-

DADOS METEOROLÓGICOS
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

ESTAÇÕES	PARÂMETROS	MÉDIAS MENSAIS												ANO	PERÍODO
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
1	PLUVIOMETRIA (mm)	139,1	171,3	171,7	114,3	60,6	71,5	79,7	112,7	163,6	132,9	104,4	115,5	1.437,3	1950 - 1970
2	PLUVIOMETRIA (mm)	187,2	182,8	158,9	96,6	76,5	77,3	70,7	98,9	136,7	119,6	107,9	121,7	1.434,8	1939 - 1980
	TEMPERATURA (°C)	23,4	23,2	22,2	19,3	16,5	14,8	14,1	15,1	17,0	18,7	20,6	22,2	19,0	1939 - 1980
	U. RELATIVA (%)	78,6	81,1	82,5	81,8	82,3	83,6	81,6	80,3	79,0	78,3	76,8	75,9	80,2	1939 - 1980

1- FORQUILHINHA 2- URUSSANGA

FONTE - IESA, IPH, UFRGS e MEC

tram as maiores médias mensais abrangendo os meses de setembro a março e outra, representada pelos meses de abril a agosto, onde as médias mensais são menores.

Um fenômeno climatológico comum na região são as denominadas chuvas orográficas, produzidas pela presença de relevo acidentado que provoca a elevação de grandes massas de ar carregadas de umidade, oriundas do litoral e, devido ao resfriamento adiabático, há a condensação da umidade ocasionando as precipitações.

Na figura 8.3.1 estão representadas as curvas das médias pluviométricas mensais das estações consideradas.

8.3.1.2 - Temperatura

Os dados relativos à temperatura foram obtidos na região de Urussanga e se referem ao período compreendido entre 1939 a 1980 (quadro 8.3.1).

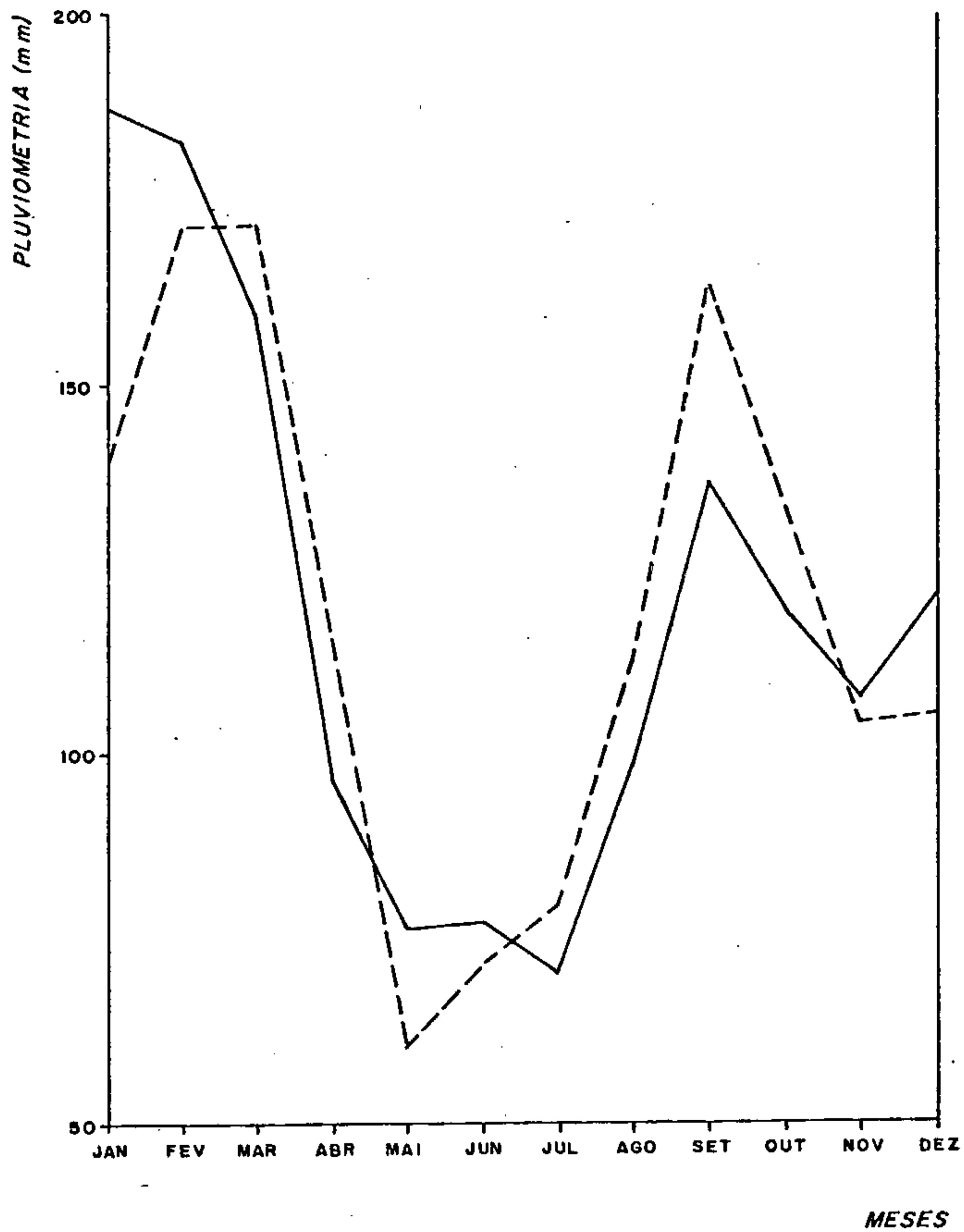
A observação dos dados apresentados mostra que as médias mais elevadas no período foram registradas nos meses de janeiro ($23,4^{\circ}\text{C}$) e fevereiro ($23,2^{\circ}\text{C}$) e a média mais baixa no mês de julho ($14,1^{\circ}\text{C}$).

Os meses mais frios são os de junho, julho e agosto, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os mais quentes. A temperatura média anual é de 19°C e as diferenças de temperatura entre inverno e verão estão em torno de 10°C .

A figura 8.3.2 mostra a curva das temperaturas médias mensais da estação em foco.

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

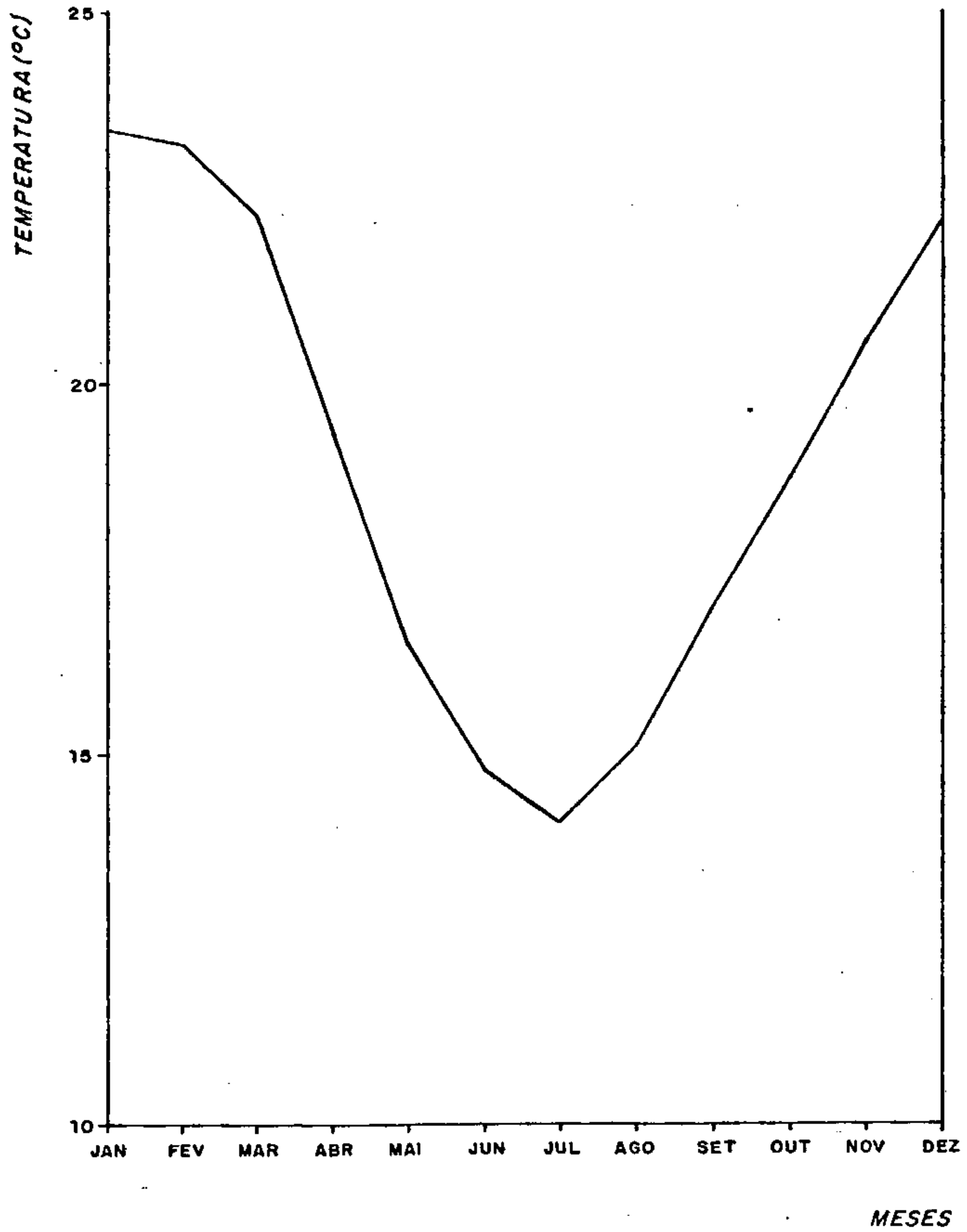


ESTACÃO	PERÍODO
—	URUSSANGA 1939 - 1980
- - -	FORQUILHINHA 1950 - 1970

FIG: 8.3.1

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



ESTAÇÃO
URUSSANGA

PERÍODO
1939 - 1980

FIG.: 8.32

8.3.1.3 - Umidade Relativa

As informações referentes à umidade relativa dizem respeito à estação de Urussanga no período de 1939 a 1980 (quadro 8.3.1).

Os dados apresentados mostram que há uma certa uniformidade na distribuição da umidade relativa durante os meses do período considerado. Os valores situam-se acima de 75%, sendo a maior média registrada no mês de junho (83,6%) e a menor no mês de dezembro (75,9%).

Esses valores mostram-se elevados, o que pode ser explicado pela presença de lagoas, proximidade do mar, além da influência exercida pela temperatura e a altitude.

Na figura 8.3.3 é mostrada a curva das médias mensais da estação em apreço.

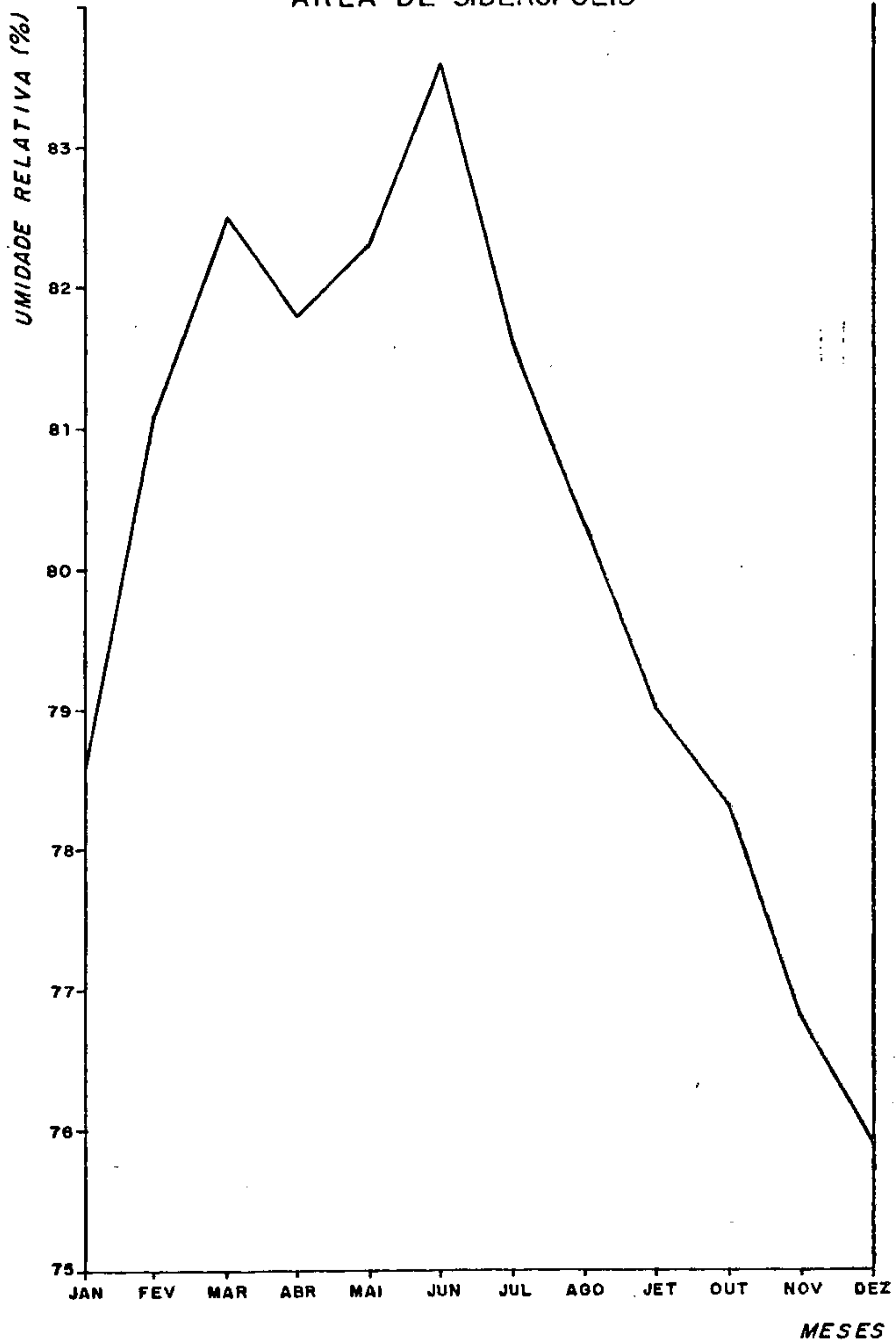
8.3.1.4 - Tipo de Clima

Uma análise dos parâmetros climatológicos considerados permite dizer que o clima da região é caracterizado por temperaturas amenas pela instabilidade do tempo e pelo elevado índice pluviométrico no decorrer do ano.

De acordo com a classificação climatológica de Köppen a região onde se localiza a área de estudo é de domínio do tipo "Cfa", que é um clima temperado, caracterizado por verões suaves e sem períodos secos, o que confirma as considerações extraídas dos dados das estações.

UMIDADE RELATIVA-VALORES MÉDIOS MENSAIS

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



ESTAÇÃO
URUSSANGA

PERÍODO
1939-1980

FIG.: 8.33

8.3.2 - Geomorfologia

O relevo da área pode ser considerado como um vale encravado entre as escarpas da Serra Geral e as porções menos erodidas dos terrenos gonduânicos. A formação Serra Geral, sob a forma de soleiras de diabásio na Formação Irati e menos comumente na formação Estrada Nova, sustenta a topografia na porção leste, dando origem à feição geomorfológica localmente denominada de "Montanhão".

A formação Rio Bonito ocupa as partes basais deste vale encaixado, estando seu relevo original bastante modificado, como resultado dos trabalhos de mineração que abrigou.

De acordo com dados do NIDECO-UFRGS (1978), o município de Siderópolis tem a seguinte situação topográfica: 18% terreno plano, 37% terreno ondulado e 45% terreno montanhoso.

8.3.3 - Solos

De uma maneira geral todos os solos desta área apresentam-se com baixos teores de matéria orgânica, sendo que raramente encontra-se um perfil completo até à interface de rocha.

Análises realizadas anteriormente pelo NIDECO-UFRGS (1978) mostram que 9% dos solos tem pH acima de 6,0, 30% apresentam pH entre 5,1 e 6,0 e 61% possuem pH abaixo de 5,0. A totalidade dos solos apresentam deficiências em fósforo e médios teores de potássio.

Os solos dos terrenos montanhosos são impróprios para culturas anuais; nos terrenos ondulados exigem investimentos elevados para manutenção de sua fertilida-

de e produtividade. Os solos disponíveis nas áreas planas estão diminuindo em função do acúmulo de rejeitos de mineração e beneficiamento, além de sofrerem periodicamente inundações com águas ácidas provenientes da alteração destes mesmos rejeitos.

8.3.4 - Vegetação

A cobertura vegetal da região, antes da implantação da mineração de carvão, era representada pela Floresta Perenifólia Hidrófila Costeira recobrando as planícies costeiras e as encostas orientais da Serra do Mar e Serra Geral, até altitudes que variavam de 600 a 700 metros acima do nível do mar. Dentre as espécies vegetais representativas dessa floresta destacavam-se árvores de 30 a 35 metros de altura, com troncos grossos, copas densas e largas, que interceptavam parte da luz solar. Este fator propiciava o desenvolvimento de estratos arbóreos e arbustivos, além de epífitas, lianas, pteridófitas e musgos.

Estudos realizados por Reitz e Klein (1978) nas matas de Rio do Sul (SC), muito semelhantes às da região de Criciúma, Siderópolis e arredores, mostram que tal floresta é ainda caracterizada por uma grande variedade de espécies componentes, pertencentes aos mais variados tipos de plantas.

Atualmente essa exuberante floresta está praticamente extinta e apenas alguns remanescentes que escaparam do desmatamento podem ser vistos nas regiões de relevo mais acentuado.

Em alguns locais nota-se que a vegetação nativa de pequeno porte teima em sobreviver sobre os rejeitos do carvão, procurando se adaptar às condições atuais do solo.

As mineradoras que atuam na região procuram minimizar os problemas que causam à natureza com o reflorestamento das áreas já mineradas principalmente com eucaliptos, sendo o mesmo executado especialmente ao longo de algumas estradas de maior movimento para dar a impressão de um reflorestamento mais amplo. Em razão da poluição provocada pelos rejeitos piritosos, que praticamente eliminam as condições de vida animal ou vegetal onde são depositados, os eucaliptos apresentam um desenvolvimento deficiente e pouco contribuem para amenizar a visão de uma paisagem repleta de crateras e com solo totalmente revolvido.

8.4 - ELEMENTOS DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL

No estudo das águas superficiais na área de Siderópolis-SC foram utilizados os dados obtidos da estação pluviométrica de Forquilha no rio Mãe Luzia. Esses dados foram coletados do Projeto Impacto da Mineração da Carvão sobre os Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, executado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Os dados considerados são relativos a observações realizadas no período de 1951 a 1970 sendo apresentados no quadro 8.4.1. Na figura 8.4.1 é mostrada a curva dos valores médios mensais da estação em questão.

DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS

BACIA	SUB-BACIA	MÉDIAS MENSAIS (m ³ /s)												MÉDIA ANUAL (m ³ /s)	PERÍODO
	MÃE LUZIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
	ESTAÇÃO														
ARARANGUÁ	FORQUILHINHA	17,0	33,0	26,0	17,0	9,6	7,9	8,9	10,0	21,0	18,0	16,0	13,0	16,0	1951-1970

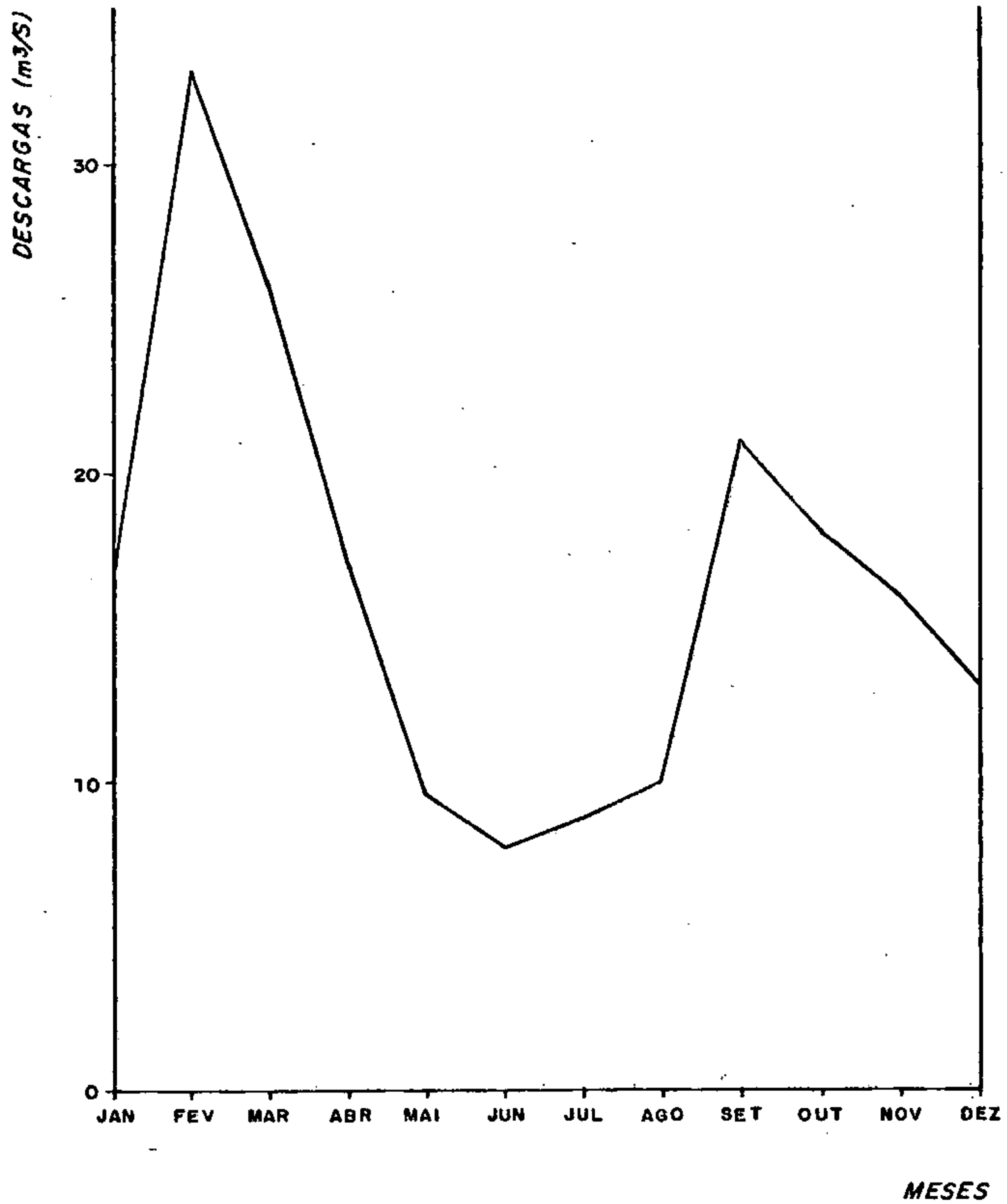
Quadro 8.4.1

O principal curso d'água na área de Siderópolis-SC é representado pela sub-bacia do rio Mãe Luzia, pertencente à bacia do rio Araranguá. O rio Mãe Luzia nasce fora da área do projeto iniciando o seu percurso, sobre esta, próximo ao limite superior. Neste local apresenta um curso aproximado segundo oeste-leste, passando a seguir para norte-sul e da metade da área para sul tende para sudoeste, retornando à direção norte-sul no limite sul da área.

Os principais afluentes do rio Mãe Luzia, na área do projeto, pela margem direita, são os rios do Pio, Manim, Jordão e Dandolo ou Vargem. Pela margem esquerda são os rios Dória, Ferreira, Morozini e Fiorita.

DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



ESTAÇÃO FORQUILHINHA PERÍODO 1951 - 1970

FIG: 8.4.1



CPRM

A sub-bacia do rio Mãe Luzia drena uma área total de 523 km² sendo que o projeto abrange 225 km² dessa área total, aproximadamente.

Os principais núcleos populacionais da área são representados pelas cidades de Nova Veneza e Siderópolis além das vilas Fiorita e Treviso. As atividades mineiras concentram-se ao longo dos rios Mãe Luzia e Fiorita.

8.5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

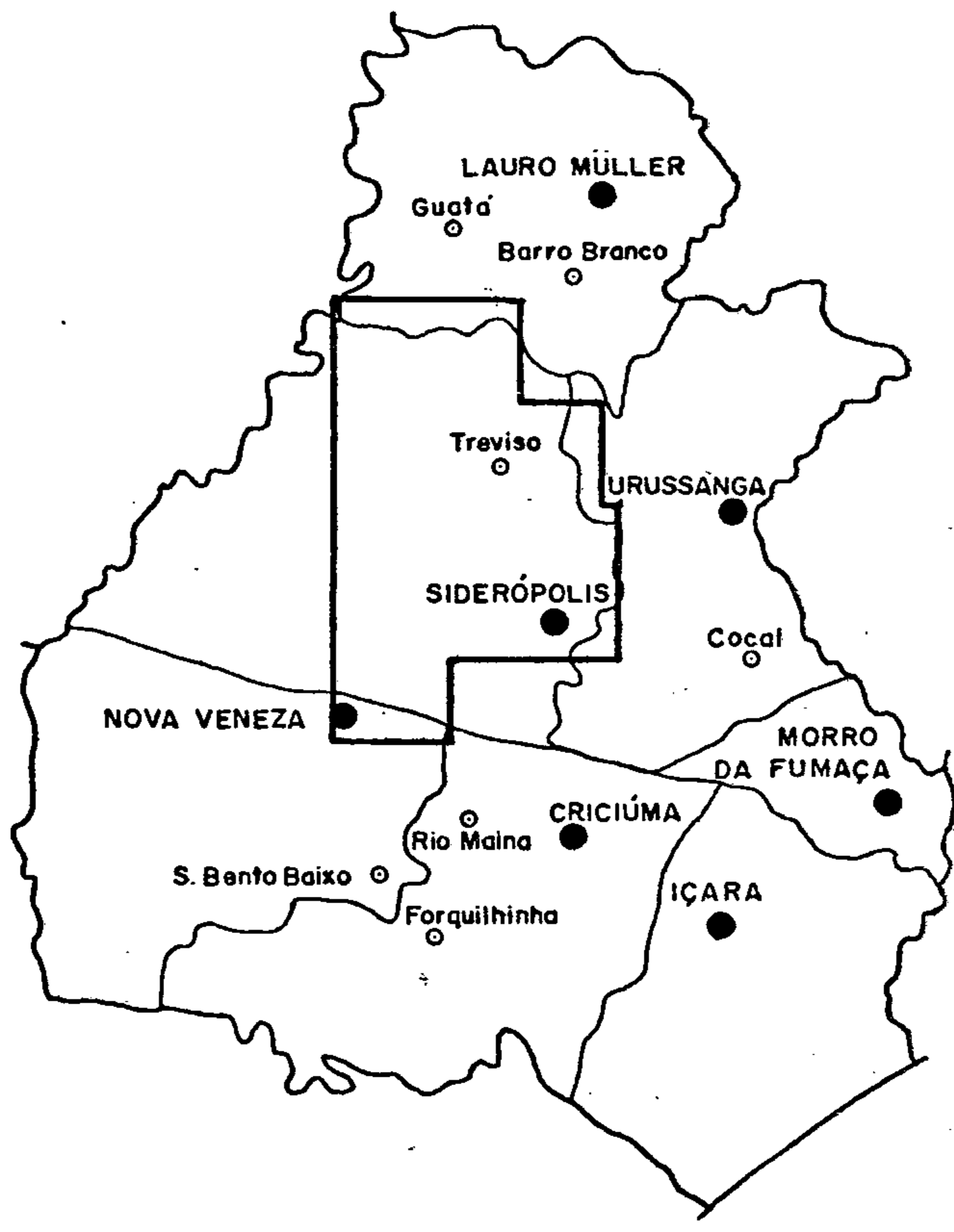
A região compreendida pelos municípios de Siderópolis, Nova Veneza, Urussanga e Lauro Müller foi inicialmente colonizada por imigrantes luso-vicentistas, enriquecida posteriormente com a imigração italiana, alemã e polonesa.

Estes municípios ocupam uma área de 1.471 km², para uma população residente de 56.199 hab., pertencendo à zona urbana 28.719 hab. e à zona rural 27.480 hab., resultando numa densidade demográfica de 38,2 hab/km². A área do projeto, visto compreender quase a totalidade do município de Siderópolis e a parte urbana do município de Nova Veneza, apresenta uma densidade demográfica de 35 hab/km². A taxa anual de crescimento, no período de 1970 a 1980, foi negativa nos municípios de Lauro Müller e Siderópolis (-1,62% e -0,73% respectivamente) e positiva nos municípios de Nova Veneza e Urussanga (1,20% e 3,19%). A relação da área do projeto com a dos municípios está na figura 8.5.1.

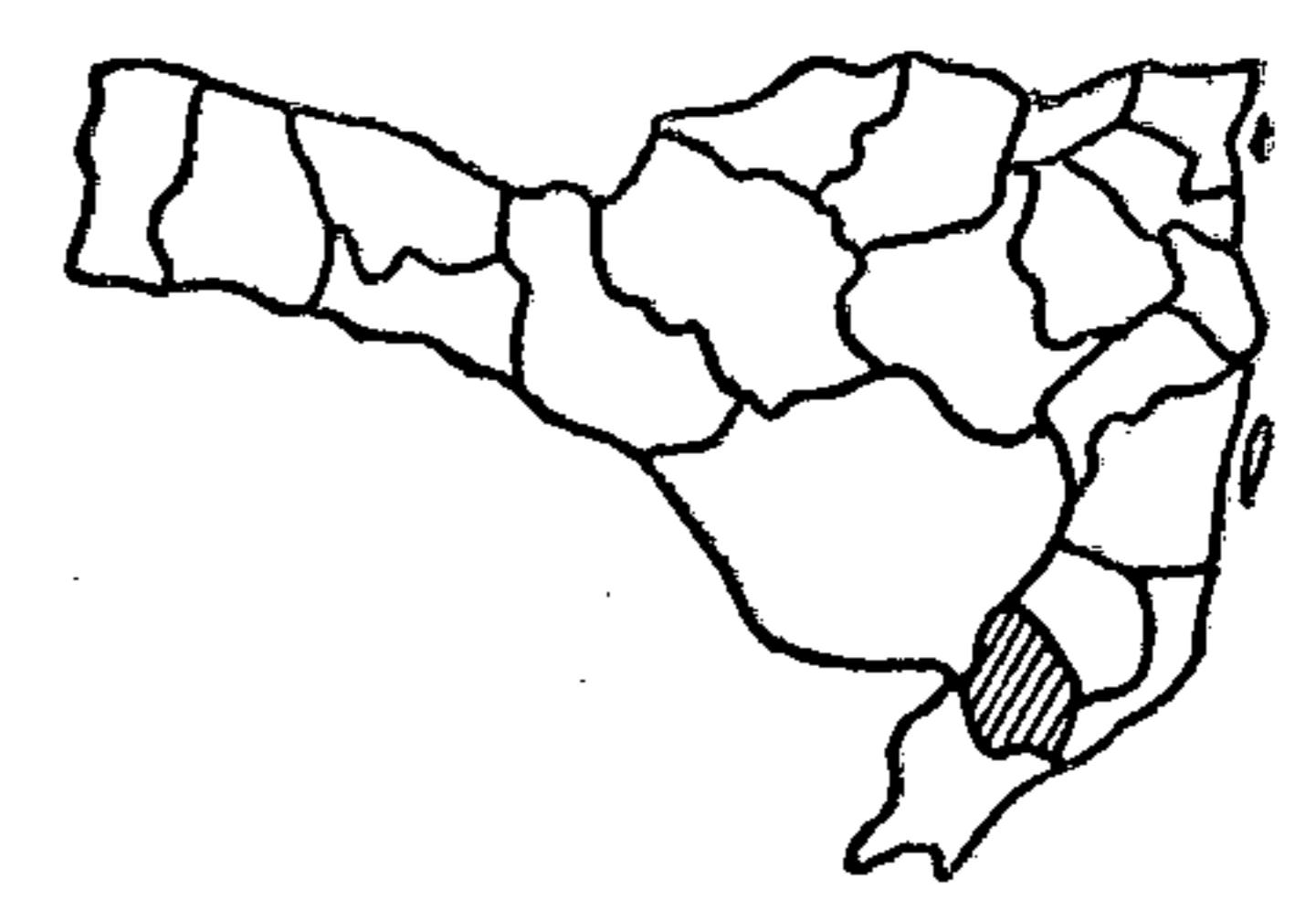
Esta região está servida por uma extensa rede de estradas municipais, estando as sedes dos municípios ligadas por asfalto até Criciúma. As sedes e principais localidades possuem centrais telefônicas da TELESC.

No setor de ensino, são ministrados o 1º e 2º graus, sendo que os estudos universitários são realizados nas cidades consideradas polos da região carbonífera, que são Criciúma e Tubarão. Em termos de saúde pública cada município possui um estabelecimento hospitalar.

A região caracteriza-se pela predominância de minifúndios, num total de 87,59% de áreas com me-



LOCALIZAÇÃO NO MAPA MICRORREGIONAL



LEGENDA

- MUNICÍPIO
- DISTRITO

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM RELAÇÃO AOS MUNICÍPIOS-ÁREA DE SIDERÓPOLIS



CPRM

nos de 30 ha, com limitada fertilidade dos solos, aliadas a uma alta acidez, exigindo grande quantidade de insumos para melhorar a produtividade. O fumo, milho, arroz e mandioca contribuem com 85,63% dos rendimentos das culturas.

A pecuária é muito pouco desenvolvida, com o gado misto representando o gado de corte. A produção de leite é estimada em aproximadamente 7.000 litros/dia, levando-se em conta o número de cabeças de bovinos. A avicultura nesta área resume-se a um único estabelecimento com 30.000 aves para postura. A produção é destinada ao consumo local ou microrregional.

Entretanto identifica-se nesta área a constante importância econômico-financeira das atividades de extração e beneficiamento do carvão. Pode-se dizer que toda a economia da região gravita em torno do aproveitamento do carvão mineral, sendo que em 1983 as mineradoras empregaram mais de 1.000 pessoas, beneficiando diretamente cerca de 4.000 pessoas segundo o DNPM no Informativo Anual Base 1983. Não obstante o benefício social pelos empregos gerados, o custo ambiental destas atividades mostrou-se muito elevado face à degradação da qualidade do ar, do solo e da água. Deve-se levar em conta igualmente os prejuízos à saúde, aos solos e vegetação, à fauna, paisagem e recreação, pelo acúmulo dos rejeitos de mineração e utilização do solo sem a devida recomposição.

8.6 - ATIVIDADES MINEIRAS

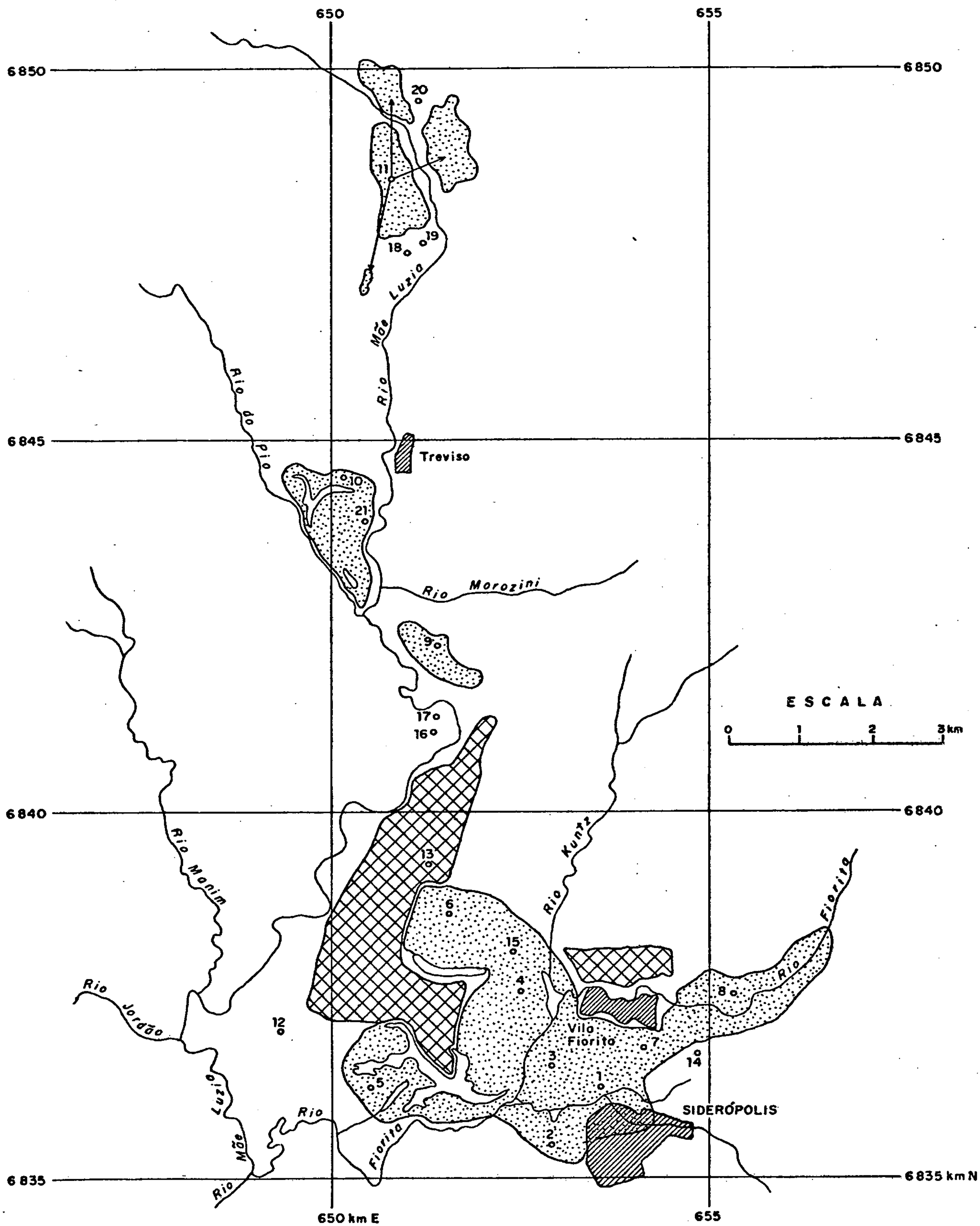
8.6.1 - Generalidades

A área de Siderópolis caracteriza-se por apresentar uma intensa atividade mineradora e de beneficiamento, realizadas por uma empresa estatal (Carbonífera Próspera S.A) e várias particulares (Carbonífera Criciúma Ltda, Carbonífera Metropolitana S.A., Carbonífera Treviso S.A. e Coque Catarinense Ltda).

Os trabalhos de mineração nesta área iniciaram-se na década de 40 e continuam até à presente data, visando especialmente suprir, com carvão metalúrgico, a demanda originada no país pela instalação de grandes complexos siderúrgicos.

Como resultado estima-se que uma área superior a 1.000 hectares tenha sido afetada diretamente pela mineração a céu aberto, além da lavra subterrânea, pré-lavadores e recuperação de moinha.

A distribuição espacial destas atividades de extração e beneficiamento do carvão se dá ao longo do curso do rio Mãe Luzia, de montante para jusante, com os campos minerados na década de 60 pela Carbonífera Treviso e a mina subterrânea em implantação da Carbonífera Metropolitana. Após a confluência do rio do Pio, a Carbonífera Próspera opera o campo Morozini e a Carbonífera Criciúma a mina Volta Redonda. A sub-bacia do rio Fiorita drena os campos minerados pela Carbonífera Treviso S.A., CSN e Carbonífera Próspera S.A. em Siderópolis.



C O N V E N Ç Õ E S

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----|-----------------------|----|--------------------------------------|
|  | CAMPO MINERADO A CÉU ABERTO | 1 | CAMPO ILHA | 12 | LAVADOR COCALIT |
|  | ÁREA COM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA | 2 | CAMPO BELUNO SUDOESTE | 13 | MINA DE SUB-SOLO DESATIVADA |
|  | CIDADE, Vila | 3 | CAMPO BELUNO NORTE | 14 | MINA DE ENCOSTA BELUNO |
|  | RIOS PRINCIPAIS | 4 | CAMPO ZONA DO LAVADOR | 15 | PRÉ-LAVADOR PRÓSPERA |
|  | LAGOAS ÁCIDAS | 5 | CAMPO VILA FUNIL | 16 | MINA DE ENCOSTA VOLTA REDONDA |
|  | RELAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO | 6 | CAMPO CANTÃO | 17 | PRÉ-LAVADOR VOLTA REDONDA |
| | | 7 | CAMPO BELUNO-MALHA 2 | 18 | PLANO INCLINADO MINA ESPERANÇA |
| | | 8 | CAMPO MALHA 2 | 19 | PRÉ-LAVADOR MINA ESPERANÇA |
| | | 9 | CAMPO MOROZINI | 20 | MINA DE ENCOSTA FORQUILHA DESATIVADA |
| | | 10 | CAMPO RIO DO PIO | 21 | PRÉ-LAVADOR DESATIVADO |
| | | 11 | CAMPO FORQUILHA | | |

ATIVIDADES MINEIRAS- ÁREA DE SIDERÓPOLIS

Fig. 8. 6.1

8.6.2 - Características da Mineração

Grande parte da área drenada pelos rios Mãe Luzia e Fiorita corresponde a afloramentos da Formação Rio Bonito, sendo a lavra executada a céu aberto. Atualmente apenas o campo Morozini é minerado por este método; sendo que outras áreas como Forquilha (Treviso Norte), rio do Pio (Treviso Sul) e Siderópolis (Fiorita) encontram-se esgotadas. A principal camada minerada na região é o Barro Branco, sendo que em Siderópolis a camada Irapuá também foi minerada, originando enormes depressões no terreno, que após acumulação das águas pluviais formaram grandes lagoas ácidas.

A Carbonífera Próspera S.A. minerou, através de mina de subsolo, as camadas Barro Branco e Irapuá. Esta mina possui poço vertical e plano inclinado, tendo sido desativada em 1983.

Também foram usados métodos de mineração de encosta no campo de Forquilha, pela Carbonífera Treviso S.A., com vistas à exploração da camada Irapuá, estando atualmente desativada. Outras minas de encosta da área são: Volta Redonda da Carbonífera Criciúma Ltda e Beluno da Carbonífera Próspera S.A., ambas minerando a camada Barro Branco.

A Carbonífera Metropolitana S.A. está implantando na região de Forquilha a mina de sub-solo Esperança, com acesso por plano inclinado, para a lavra da camada Barro Branco.

No estudo das fontes que propiciaram o surgimento de cargas contaminadoras foi seguida a classificação do IPH-UFRGS (1981) e FATMA (1982), que as divide segundo a natureza da descarga, em fontes área ou fontes pontuais.

- Fontes área ou distribuídas são aquelas que não apresentam um ponto comum de reunião das descargas contaminadoras. São representativos deste tipo, as áreas de lavra a céu aberto, os depósitos de rejeitos provenientes do beneficiamento do carvão, em operação ou abandonados, as áreas de estoque e apoio das atividades extrativas, as vias de circulação pavimentadas com rejeitos, etc. Sobre estes materiais o intemperismo age pela infiltração das águas pluviais, com posterior carreamento de materiais tóxicos que vão percolar no solo até atingir o nível freático, ou pelo escoamento superficial até atingir as bacias hidrográficas.

- Fontes pontuais ou localizadas são aquelas em que a descarga dos efluentes líquidos se dá em um local bem definido no espaço. Representam este tipo as instalações de beneficiamento e de uso industrial como lavadores, recuperadores de moinha, coquerias e termoelétricas, além dos pontos de descarga da drenagem de minas subterrâneas, tanto ativas quanto paralisadas.

Nas bacias dos rios Mãe Luzia/Fiorita as fontes área são responsáveis pelas maiores cargas contaminadoras, não ocorrendo grande concentração de fontes pontuais (FATMA, 1982). A seguir será feita a descrição de cada uma destas fontes, mostradas na figura 8.6.1.

8.6.2.1 - Fontes Área

8.6.2.1.1 - Região de Siderópolis

a) Campo Ilha

Foi o ponto de partida dos trabalhos de mineração nesta área, na década de 40. Inicialmente lavrado com pequenas máquinas originou cristas de pequenas dimen-



CPRM

sões e pequeno espaçamento entre elas. Posteriormente passou a ser minerado de maneira intensiva pela Companhia Siderúrgica Nacional, utilizando uma "shovel" 200-B.

Localiza-se a sudeste da vila Fiorita, ocupando uma área de mais de 50 ha, com altura média das cristas de 6 a 8 metros e predominância de pequenos blocos de arenito e argilas. Ocorre uma pequena auto-recuperação. Na parte norte existe uma lagoa ácida com profundidade de 3 a 5 metros.

b) Campo Beluno (sudoeste)

Foi lavrado pela Carbonífera Treviso S.A., nos anos de 1956 a 1960, utilizando uma escavadeira Marion-shovel. Este campo foi parcialmente remodelado e utilizado em parte para a urbanização da sede do município de Siderópolis. Também foi feita uma tentativa para a reintegração dos depósitos de estéril na paisagem local, com o cultivo de eucaliptos (*eucalyptus robustus*). O crescimento destas árvores entretanto mostrou-se muito precário (NIDECO, 1978).

Estão presentes nesta área seis corpos lacustres, com profundidade média de 10m.

c) Campo Beluno (norte)

Lavrado pela Companhia Siderúrgica Nacional de 1950 a 1955, utilizando uma "shovel" 200-B e uma "dragline" 120-BS. Este campo possui áreas parcialmente cobertas com eucaliptos e samambaias nativas. As pilhas de rejeitos chegam a ter 10m de altura e o campo ocupa uma área superior a 40 ha. Na porção sudoeste deste campo, foi implantado o PROMORAR, com a construção de 127 casas populares.

d) Campo Zona do Lavador

Também foi lavrado pela Companhia Siderúrgica Nacional, utilizando uma "dragline" 120-BS. As pilhas de estéril, compostas por blocos de arenitos e folhelhos, alcançam até 8 metros de altura. Boa parte de sua área total, com cerca de 80 ha, é coberta com uma camada de rejeitos piritosos compactados. Nesta área está o lavador e a caixa de embarque do carvão pré-lavado. Também estão nesta área: as represas dos rios Kuntz e Fiorita, lagoa de acumulação para suprimento de água ao lavador e três bacias de decantação de finos.

e) Campo Vila Funil

Este é o maior campo de lavra a céu aberto na região de Siderópolis, ocupando uma área de aproximadamente 280 ha. Sua porção leste foi minerada de 1955 a 1960 pela CSN, enquanto a porção oeste, teve iniciada a lavra em 1966 pela Carbonífera Próspera S.A., subsidiária da CSN, então formada. A lavra que utilizou uma "dragline" Marion foi paralizada em 1975.

A visão deste local proporciona uma triste cena, caracterizada pela "paisagem lunar" resultante das pilhas de estéril com 15 a 20 metros de altura que em alguns locais ultrapassam 30 metros. Neste campo existem cinco lagoas ácidas formadas nos cortes, sendo que a maior lagoa apresenta uma área de aproximadamente 41 ha e uma profundidade superior a 30 metros na porção central. É derivada da lavra a céu aberto da camada Irapuá. Este sistema de lagoas possui ligação com o rio Fiorita que drena suas águas.

f) Campo Cântão

Lavrado pela Companhia Siderúrgica Nacional de 1961 a 1965 pela "dragline" Marion. Na porção norte apresenta um corte profundo que foi utilizado na deposição de rejeitos de beneficiamento e outro ao sul, utilizado anteriormente como bacia de decantação e posteriormente explorado para a obtenção de finos.

As cristas de material estéril apresentam altura média de 15 metros e a área total do campo é superior a 100 ha. Existem ainda quatro lagoas com profundidades até 25 metros.

g) Campo Beluno - Malha 2

Foi lavrado pela Carbonífera Próspera S.A. em 1976 e apresenta pilhas de rejeito que variam de 25 a 35 metros, portanto as mais altas da área. A área total é de aproximadamente 40 ha, existindo uma lagoa ácida com área de 3,55 ha.

h) Campo Malha 2

Este campo foi lavrado em duas épocas distintas. A primeira de 1961 a 1965, utilizou nos trabalhos a "dragline" 120-BS, originando cristas de 5 a 10 metros de altura. Boa parte da área atualmente se encontra coberta com rejeitos piritosos.

De 1977 até 1981 foi operado novamente, agora pela Carbonífera Próspera S.A., utilizando a "dragline" Marion. As pilhas de rejeitos apresentam alturas de 10 a 15 metros, existindo ainda oito lagoas ácidas. A área total da Malha 2, já lavrada, ultrapassa 150 ha.

Na parte nordeste deste campo, a montante do rio Fiorita, situa-se uma área piloto de recuperação de áreas lavradas a céu aberto. Este trabalho foi solicitado à Consultora ECP - Engenheiros Consultores e Projetistas, pela FATMA, constituindo-se no projeto "M". A área total recuperada é de 11,30 ha.

8.6.2.1.2 - Região Treviso Sul

a) Campo Morozini

Foram iniciados os trabalhos de lavra no início de 1982, pela Carbonífera Próspera S.A., utilizando a "dragline" Marion. É a única atividade de lavra a céu aberto na área, devendo ser minerada uma área de 93,6 ha.

O rio Morozini que atravessa esta área foi desviado para a porção norte, no sentido leste-oeste. Foi tentada uma recuperação da área com semeadura de gramíneas e eucaliptos, restringindo-se atualmente à porção inicial dos trabalhos de lavra.

Até a presente data foram lavrados cerca de 45 ha.

b) Campo Rio do Pio

A Carbonífera Treviso S.A. iniciou a lavra deste campo em 1959 e concluiu em 1963, utilizando uma "shovel" Marion. Resultaram deste trabalho pilhas de rejeitos do capeamento com alturas variando de 5 a 20 metros, compostos predominantemente por grandes blocos de arenitos e secundariamente folhelhos carbonosos e siltitos acinzentados com grande quantidade de pirita disseminada.

Esta área caracteriza-se pela pobre auto-recuperação, sendo que mais da metade da mesma não possui nenhum tipo de vegetação. Encontram-se dispersos ao longo das estradas e nas cavas entre cristas de estéril, grande quantidade de rejeitos piritosos de beneficiamento oriundos do antigo pré-lavador.

A área total lavrada é superior a 100 ha existindo ainda 11 lagoas ácidas. As águas drenam parte para o rio Mãe Luzia e parte para o rio do Pio.

8.6.2.1.3 - Região Treviso Norte

a) Campo Forquilha

Foi lavrado pela Carbonífera Treviso S.A de 1963 a 1968, utilizando uma "shovel" Marion.

A área total ocupada é de aproximadamente 200 ha, composta por pilhas de rejeito de capeamento com alturas de 5 a 15 metros. A disposição de rejeitos piritosos foi feita predominantemente ao longo das estradas que cortam o campo, porém em menor quantidade que em outras áreas. Existem poucas lagoas ácidas e a drenagem é feita para os rios Mãe Luzia e Dória.

Ao contrário dos outros campos já descritos, nesta área houve uma auto-recuperação mais efetiva devida ao intemperismo que afetou os folhelhos e siltitos, propiciando o aparecimento de uma cobertura vegetal natural, composta predominantemente por samambaias e rabo-de-raposa, além dos eucaliptos cultivados que obtiveram bom desenvolvimento.

8.6.2.2 - Fontes Pontuais

8.6.2.2.1 - Região de Siderópolis

a) Lavador da COCALIT

Neste lavador é feita a recuperação dos finos provenientes dos efluentes de beneficiamento de carvão da Carbonífera Próspera S.A. Inicialmente foram utilizados os finos existentes na cava ao sul do campo Cantão, sendo que atualmente são exploradas as bacias de decantação da zona de lavador.

A drenagem natural desta área conduz finos e águas ácidas até o rio Fiorita.

b) Mina de Subsolo

O efluente é a drenagem ácida da mina, que compromete o sistema superficial através do rio Fiorita. Esta mina entrou em operação em 1977, tendo encerrado as atividades em 1983.

c) Mina de encosta Beluno

Esta mina iniciou suas atividades em 1983, aproveitando para abertura da boca-de-mina o "highwall" originado pela lavra a céu aberto dos campos Beluno e Malha 2 pela "dragline" Marion.

A drenagem da mina é feita pelo rio Fiorita.

d) Lavador

Situa-se no campo Zona do Lavador, tem capacidade para 350 t/h e seus efluentes são dirigidos para bacias de decantação para posterior aproveitamento dos finos. As descargas ácidas são feitas diretamente no rio Fiorita.

8.6.2.2.2 - Região Treviso Sul

a) Mina de Encosta Volta Redonda

Esta mina, de propriedade da Carbonífera Criciúma Ltda, iniciou suas atividades de lavra em 1983. Sua drenagem ácida é levada diretamente ao rio Mãe Luzia.

b) Lavador

Entrou em operação concomitantemente com a instalação da mina, possuindo capacidade para beneficiar 140 t/h. A drenagem de efluentes líquidos é feita pelo rio Mãe Luzia.

8.6.2.2.3 - Região Treviso Norte

a) Mina Esperança

Em fase final de instalação pela Carbonífera Metropolitana S.A., para a lavra da camada Barro Branco. Também está em instalação um lavador com capacidade para 600 t/h. A drenagem será dirigida para o rio Mãe Luzia.

b) Mina de Encosta Forquilha

Mina pertencente à Carbonífera Treviso S.A., já desativada, onde ocorreu também a mineração da camada de carvão Irapuá. A drenagem é feita para o rio Mãe Luzia.

8.7 - GEOLOGIA REGIONAL

A região carbonífera do Estado de Santa Catarina faz parte da Bacia Intracratônica do Paraná, que é uma grande depressão, situada na parte centro-leste do continente sul-americano, cobrindo uma área de aproximadamente 1.600.000 km².

A área de Siderópolis faz parte da Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina, na porção sudeste deste estado.

A região constituída por rochas Pré-Gonduânicas representadas pelo Complexo Metamórfico-Migmático, rochas Gonduânicas representadas pelas formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto, Botucatu e Serra Geral e sedimentos quaternários constituídos por aluviões. A coluna estratigráfica da região está representada na figura 8.7.1.

8.7.1 - Unidades Pré-Gonduânicas

8.7.1.1 - Complexo Metamórfico-Migmático

Sob essa denominação estão englobadas rochas migmáticas, graníticas e gnáissicas.

As rochas graníticas em geral são equigranulares, de granulação média a grosseira, leucocráticas, coloração rósea a cinza, constituídas por feldspato alcalino, quartzo e subordinadamente biotita. Ao microscópio são classificadas como ortoclásio-biotita-granitos que apresentam fluorita como acessório comum. Segundo Silva (1983) esta suíte engloba ortoclásio-granitóides pós-tectônicos, isotropos, subalcalinos e alcalinos.

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DE SIDERÓPOLIS

PERÍODO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA				LITOLOGIAS	
	GRUPO	SUB-GRUPO	FORMAÇÃO	MEMBRO		
QUATERNÁRIO					Depósitos de aluviões e coluviões	
JURO-CRETÁCEO	SÃO BENTO		SERRA GERAL		Soleiras e diques de diabásio	
			BOTUCATU		Arenitos róseos a avermelhados, finos a médios	
PERMIANO	PASSA DOIS		RIO DO RASTO		Siltitos e argilitos esverdeados a arroxeados e avermelhados com intercalações de arenitos finos acinzentados e avermelhados	
			ESTRADA NOVA		Argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros com raras intercalações de arenitos finos, cinza claros	
			IRATI		Argilitos, folhelhos e siltitos cinza escuros com intercalações de folhelhos pirobetuminosos pretos e lentes de calcário	
	TUBARÃO	GUATÁ	PALERMO		Siltitos cinza escuros a cinza-esverdeados, localmente com intercalações de arenitos finos cinza claros	
			RIO BONITO	SIDERÓPOLIS		Arenitos finos a médios, cinza a cinza-esbranquiçados, intercalados com siltitos cinza escuros, siltitos carbonosos e camadas de carvão
				PARAGUAÇU		Siltitos cinza a cinza-esverdeados intercalados com arenitos finos
				TRIUNFO		Arenitos médios a grossieiros, cinza-esbranquiçados com algumas intercalações de siltitos cinza
			ITARARÉ	RIO DO SUL		Folhelhos, argilitos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos
	PRÉ-CAMBRIANO	COMPLEXO METAMORFICO-MIGMÁTICO				Migmatitos, granitos e gnaisses

8.7.2 - Unidades Gonduânicas

8.7.2.1 - Grupo Tubarão

Neste pacote sedimentar estão englobados, da base para o topo, os subgrupos Itararé e Guatá.

8.7.2.1.1 - Subgrupo Itararé

É caracterizado principalmente por diamictitos, arenitos e siltitos que refletem influências glaciais em seus diferentes ambientes deposicionais.

No Estado de Santa Catarina este subgrupo é representado, da base para o topo, pelas formações Campo do Tenente, Mafra e Rio do Sul.

O subgrupo Itararé diminui de espessura para o sul, de modo que as formações inferiores ocorrem somente no centro-sul da Bacia do Paraná, não estando representadas na região sudeste do Estado de Santa Catarina. Desta maneira este subgrupo está representado na região pela formação Rio do Sul.

8.7.2.1.1.1 - Formação Rio do Sul

A parte basal da formação constitui-se de folhelhos e argilitos cinza escuros. Já a parte superior é constituída por argilitos, folhelhos várvidos, ritmitos, arenitos finos e diamictitos.

Nos sedimentos argilosos são evidentes laminações plano-paralelas e rítmicas. Nas camadas silto-arenosas aparecem acamamento gradacional, laminação convoluta, plano-paralela e cruzada. Os arenitos apresentam estra-

tificação cruzada e irregular. Já nos diamictitos ocorrem estratificações irregulares e estruturas de convolução.

8.7.2.1.2 - Subgrupo Guatá

Nesta seqüência estão presentes siltitos cinza e cinza-esverdeados com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos.

O subgrupo Guatá está dividido nas formações Rio Bonito e Palermo.

8.7.2.1.2.1 - Formação Rio Bonito

A formação Rio Bonito foi subdividida por Mulhmann et alii (1974) nos seguintes membros, da base para o topo: Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

Membro Triunfo

Consiste essencialmente de arenitos cinza-esbranquiçados, médios e grosseiros, com estratificação cruzada freqüente, selecionamento regular e grãos subarredondados. Subordinadamente aparecem siltitos de coloração cinza, com estratificação plano-paralela ou maciços, podendo aparecer ainda, arenitos finos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados.

As estratificações cruzada, plana e acanalada, são as principais estruturas sedimentares desta unidade.

Membro Paraguaçu

Este membro é constituído predominantemente por siltitos de coloração cinza e cinza-esverdeada intercalados com arenitos finos e leitos de rochas carbonáticas.

Os siltitos apresentam uma estrutura sedimentar predominantemente do tipo laminação paralela. Já nos arenitos é comum a estratificação cruzada e laminação ondulada. Nestas rochas é comum o aparecimento de bioturbação, o que lhes confere um carácter maciço.

Nesta seqüência raramente são encontrados níveis com carvão.

Membro Siderópolis

Consiste essencialmente de arenitos finos a médios, localmente grosseiros, de coloração cinza a cinza-esbranquiçada intercalados com camadas de siltitos de coloração cinza a cinza escuro, siltitos carbonosos de coloração cinza escuro e carvão. É neste membro que encontram-se as principais camadas de carvão exploradas comercialmente nesta região.

Nos arenitos é comum a presença da estratificação cruzada acanalada como estrutura sedimentar dominante e siltitos são freqüentes as laminações plano-paralelas e onduladas.

A parte inferior deste membro pode apresentar interdigitamento com o Membro Paraguaçu que está sotoposto a este.

O contato superior com a Formação Palermo é concordante.

8.7.2.1.2.2 - Formação Palermo

É constituída predominantemente por siltitos e siltitos arenosos de coloração cinza, cinza escuro e cinza-esverdeado. Localmente aparecem arenitos finos, normalmente de coloração cinza clara.

Estes sedimentos encontram-se normalmente bioturbados, provocando uma destruição intensa nas estruturas sedimentares originais. Quando estas estruturas não estão destruídas podem aparecer laminações lenticulares e onduladas.

O contato superior com a Formação Irati é concordante.

A formação Palermo foi depositada, provavelmente, num ambiente marinho transgressivo de águas rasas, abaixo do nível de ação das ondas.

8.7.2.2 - Grupo Passa Dois

Este grupo é constituído pelas seguintes formações, da base para o topo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto.

8.7.2.2.1 - Formação Irati

A parte inferior da formação normalmente é constituída por argilitos, folhelhos de coloração cinza escuro a cinza claro e siltitos de coloração acinzentada. A estrutura sedimentar mais frequente neste intervalo é a laminação paralela.

A parte superior é constituída por folhelhos de coloração cinza escuro, folhelhos pretos pirobetuminosos e calcários. A estrutura sedimentar mais comum nos folhelhos pirobetuminosos é a laminação paralela. Nos leitos carbonáticos podem aparecer marcas ondulares, laminação cruzada e convoluta e localmente brechas intraformacionais.

A alternância de camadas de folhelhos e calcários origina o aparecimento de uma estratificação rítmica.

O ambiente de deposição dos sedimentos constituintes desta formação, pelas suas características litológicas e sedimentares, parece ser marinho restrito de águas raras.

O contato superior com a Formação Estrada Nova é concordante.

8.7.2.2.2 - Formação Estrada Nova

A seqüência normalmente é constituída em sua parte inferior, por argilitos, folhelhos e siltitos de coloração cinza escuro a preto. Localmente aparecem algumas lentes e concreções calcárias. Os siltitos podem apresentar fratura conchoidal.

A estrutura sedimentar observada neste pacote é a laminação paralela.

A parte superior da formação é constituída por uma alternância de argilitos e folhelhos com siltitos e arenitos de coloração cinza clara. Localmente aparecem calcários, às vezes colíticos.

As estruturas sedimentares mais comuns desta seqüência são a laminação ondeada, microlaminação cruzada, fendas de ressecamento e marcas ondulares.

O ambiente de deposição dos sedimentos constituintes desta formação parece passar de marinho de águas rasas e calmas para marinho mais raso e agitado, dominado por marés.

O contato superior com a Formação Rio do Rasto é gradacional.

8.7.2.2.3 - Formação Rio do Rasto

A porção basal desta formação é constituída por siltitos esverdeados e arroxeados com intercalações de argilitos, arenitos finos e níveis carbonáticos às vezes com oólitos.



CPRM

Os siltitos e argilitos apresentam laminações paralelas e onduladas como estruturas sedimentares características. Já as camadas de arenitos ou mesmo as silto-arenosas podem apresentar estratificação cruzada e ondulada.

A parte superior da formação é constituída por argilitos e siltitos de coloração avermelhada apresentando intercaladas lentes de arenitos finos.

As estruturas sedimentares mais comuns desta seqüência são representadas pela estratificação cruzada acanalada e laminação plano-paralela.

O contato superior desta formação com a Formação Botucatu é feito por uma discordância erosiva.

Esta formação, pelas suas características litológicas, parece ter sido formada por sedimentos depositados em ambiente de águas rasas, para a parte inferior da formação, e ambiente continental para a seqüência superior.

8.7.2.3 - Grupo São Bento

Este grupo é constituído pelas formações Botucatu e Serra Geral, sendo esta última a seqüência superior.

8.7.2.3.1 - Formação Botucatu

A seqüência é constituída por arenitos de coloração rósea e avermelhada, granulometria fina a média, friáveis, com grãos foscos e normalmente bem arredondados. Na parte basal podem ocorrer alguns níveis de arenitos argilosos mal selecionados.

A estratificação cruzada é a estrutura

sedimentar mais característica desta formação, podendo aparecer também a estratificação plano-paralela.

O contato superior com a Formação Serra Geral é discordante.

As características litológicas desta formação indicam que os seus sedimentos foram depositados eólicamente num ambiente desértico. Na parte basal da formação pode ter havido alguma contribuição fluvial nesta deposição.

8.7.2.3.2 - Formação Serra Geral

É constituída por basaltos de textura afanítica e coloração cinza escura. A seqüência é formada por vários derrames de lava basáltica, apresentando-se amigdaloidal no topo de cada derrame e com desenvolvimento de grande quantidade de juntas verticais e horizontais na porção intermediária.

Entre um derrame e outro podem aparecer intercalações de arenitos finos a médios com estratificação cruzada, especialmente na porção basal da formação.

As rochas da Formação Serra Geral foram derramadas por um intenso vulcanismo de fissura.

8.7.3 - Unidades Pós-Gonduânicas

8.7.3.1 - Sedimentos Quaternários

Aluviões

As planícies aluvionares estão presentes nas faixas marginais dos principais drenadores da região,

destacando-se os rios Mãe Luzia, Sangão e São Bento.

As aluviões formadas nestas planícies são constituídas predominantemente por uma sedimentação detrítica areno-argilosa, transportada pelos rios e arroios e depositada ao longo de suas planícies de inundação.

Junto ao leito dos principais rios são comuns bancos de areia e cascalhos, que seguidamente são utilizados na construção civil.

8.8 - GEOLOGIA LOCAL.

A área estudada perfazendo aproximadamente 225 km², está constituída por rochas Gonduânicas das formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e Serra Geral e por sedimentos quaternários representados por aluviões. O mapa geológico da área é encontrado no anexo III.1.

8.8.1 - Unidades Gonduânicas

8.8.1.1 - Formação Rio Bonito

Na parte central da área as rochas desta formação se estendem desde Siderópolis a sul até Forquilha a norte. Na porção leste existem pequenas ocorrências.

Consiste essencialmente de arenitos finos a médios, localmente grosseiros, de coloração cinza clara a cinza-esbranquiçada, consistentes, maciços e porosos. Localmente apresentam cimento carbonático.

Intercalados nos arenitos podem aparecer algumas camadas de siltitos de coloração cinza a cinza escura, moderadamente consistentes e maciços, localmente com discreta laminação plano-paralela produzida pela presença de finas lâminas de arenitos muito finos, esbranquiçados.

As principais camadas de carvão da área estão situadas na base e no topo do Membro Siderópolis que constitui a parte superior desta formação.

A formação, devido à sua constituição litológica, formada essencialmente por arenitos, se constitui no principal aquífero da área.

8.8.1.2 - Formação Palermo

Distribui-se por quase toda a área, excetuando-se a parte sul.

É constituída essencialmente por siltitos de coloração cinza a cinza escuro, moderadamente consistentes com intercalações de lâminas, lentes e leitos de arenitos finos esbranquiçados, o que empresta à rocha um aspecto zebrado.

As estruturas mais freqüentes nesta unidade são as laminações lenticulares irregulares, plano-paralelas, onduladas, cruzadas-acanaladas de pequeno porte e localmente convolutas. Junto à base podem aparecer estruturas bioturbadas, formadas principalmente por tubos de vermes e defluidizações.

Pela sua constituição geológica, com alta predominância de siltitos, apresenta uma baixa permeabilidade, dando à unidade uma possibilidade bastante restrita em termos de aquífero.

8.8.1.3 - Formação Irati

São encontrados afloramentos desta formação, em estreitas faixas bordejando as soleiras de diabásio e na porção oeste da área.

É constituída predominantemente por argilitos e siltitos argilosos cinza escuros a pretos. Em afloramento podem apresentar colorações amareladas devido à alteração.

Folhelhos pirobetuminosos de coloração preta são comuns no terço superior desta formação.

Na porção inferior é comum o aparecimento de intercalações de camadas e leitos de calcário argiloso, cinza claro, consistente e maciço, localmente laminado com intercalações de lâminas e leitos finos de siltito argiloso cinza escuro.

A parte superior desta formação, normalmente com fissilidade mais intensa, é encaixante de amplas soleiras de diabásio existentes na área.

Pela sua constituição essencialmente silto-argilosa, torna-se um aquífero extremamente pobre.

8.8.1.4 - Formação Estrada Nova

Rochas desta formação são encontradas nas porções norte e oeste da área.

Esta unidade é constituída dominante-mente por siltitos de coloração cinza a cinza escura, algo argilosos, com fissilidade incipiente, podendo apresentar fraturas preenchidas por material carbonático. Localmente podem apresentar intercalações de leitos e lentes constituídos por calcários impuros.

Na parte superior podem aparecer algumas finas intercalações de arenitos finos de coloração cinza clara.

Em afloramento estas rochas apresentam colorações amareladas que podem ser confundidas com as rochas da Formação Irati.

Como aquífero esta unidade é relativamente pobre devido à sua baixa permeabilidade.

8.8.1.5 - Formação Rio do Rasto

Esta unidade só é encontrada na parte noroeste da área.

É constituída essencialmente por siltitos e argilitos de colorações esverdeadas e avermelhadas intercalados com finas camadas de arenitos finos de colorações cinzentas a avermelhadas.

Localmente podem aparecer intercalações de lentes carbonáticas.

Devido à alta predominância dos siltitos e argilitos esta unidade apresenta uma baixa potencialidade como aquífero.

8.8.1.6 - Formação Serra Geral

Rochas desta formação estão presentes em grandes extensões dentro da área, especialmente na parte sul, na região de Nova Veneza e a leste de Treviso, constituindo a feição topográfica denominada localmente de "Montanhão".

Consiste de enormes soleiras de diabásio introduzidas na parte superior da Formação Irati.

O diabásio normalmente apresenta uma granulação fina e colorações variando do cinza escuro a cinza-esverdeado, maciço. Frequentemente fraturado, às vezes com preenchimentos carbonáticos.

8.8.2 - Unidades Pós-Gonduânicas

8.8.2.1 - Aluviões

As aluviões estão presentes ao longo dos principais drenadores da área, destacando-se o rio Mãe Luzia e o rio do Pio. As planícies aluvionares mais extensas encontram-se nas partes sul e centro da área.

São constituídas por uma sedimentação detrítica areno-argilosa, localmente com bancos de cascalho.

8.8.3 - Relação da Geologia com a Contaminação

A composição química e qualidade das águas subterrâneas de uma maneira geral está relacionada com a ocorrência de diversas litologias. Desse modo, as águas que percolam as diferentes formações, como por exemplo, formação Rio Bonito, Irati e Serra Geral apresentam características que as permitem associar com o ambiente formador.

Segundo Groenewold (1981) o paleoambiente deposicional das camadas de carvão é o responsável pelas características químicas das águas associadas a estas camadas. Posteriormente a mineração propiciará mudanças significativas nestas características hidroquímicas.

Várias pesquisas já realizadas, citadas em Horne (1978), sugerem que a forma framboidal ou grãos concrecionais aglomerados de pirita, sejam produzidos por microorganismos redutores de enxofre que são encontrados em águas salobras a marinhas.

Na área de Siderópolis, como já foi citado no item 8.8.1.1, as camadas de carvão associam-se à Forma-

ção Rio Bonito. Esta formação fazendo parte de um sistema deltáico amplo, apresenta na sua porção superior o denominado Membro Siderópolis composto predominantemente de arenitos. As rochas arenosas sotopostas à camada de carvão Barro Branco foram depositadas num ambiente tipicamente fluvial. Acima desta camada de carvão, ocorrem espessos corpos de arenitos, geralmente limpos com tonalidades que variam de cinza claro a esbranquiçado, de granulometria fina a média, bem selecionados com cimento silicoso. Representam uma seqüência dominada por ondas, típica de praias do sistema marinho transgressivo, que posteriormente consolidou-se com a Formação Palermo.

Verifica-se assim que a presença de enxofre, em teores elevados, é facilmente explicada e comprovada pelo ambiente deposicional de influência marinha que é parte integrante ou capeia a Formação Rio Bonito.

Onde rochas de ambiente marinho ou salobro ocorrem, a presença de pirita nos carvões sotopostos aumenta gradualmente, a maior parte na forma de nódulos maciços microcristalinos. Na área de Siderópolis existe uma tendência destes sedimentos transacionais ou de ambientes marinhos marginais apresentarem um espessamento para norte com conseqüente aumento do teor de enxofre. Análises de carvões realizadas anteriormente (Fabrício, 1973) confirmam este aumento no teor de enxofre para o norte da bacia carbonífera.

Assim, constata-se que o grau de contaminação futuro das águas subterrâneas e superficiais está diretamente ligado ao ambiente deposicional à época da formação das camadas de carvão. No planejamento de futuras minas e trabalhos de recomposição, estes dados devem ser levados em consideração.

8.9 - TECTÔNICA

Os esforços de distensão atuantes na área, produziram um sistema de numerosos falhamentos do tipo normal. Estas rochas não foram afetadas por forças tangenciais que produzissem dobramentos ou falhamentos do tipo inverso. As dobras e falhas inversas que raramente ocorrem na área são de pouca expressão e resultam de acomodações de blocos ou pelas intrusões de corpos básicos.

As direções preferenciais de falhamentos são o N 30° - 60° E e N 45° - 60°W. Ambos os sistemas distribuem-se homogeneamente ao longo de toda a área e a interseção de suas falhas configuram à área uma estrutura em mosaico irregular.

O sistema principal de falhamentos é o nordeste por apresentar falhas mais extensas e com maiores rejeitos que podem atingir cerca de 40m. Neste sistema destacam-se as falhas São Bento e Mãe Luzia.

O sistema noroeste de falhamentos, mostram falhas menos extensas e rejeitos em torno de 10m.

8.10 - HIDROGEOLOGIA

8.10.1 - Generalidades

Em termos de hidrogeologia, o primeiro trabalho na área da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, com o título de "Impacto da Mineração do Carvão sobre os Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina", foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (1978). Esse trabalho aborda a hidrogeologia da Bacia Carbonífera sem entrar em maiores detalhes sendo que a área de estudo está dentro dos limites da bacia.

As águas subterrâneas na área de estudo foram reunidas, segundo os tipos de rochas e estruturas abertas, nas duas seguintes categorias de aquíferos:

- Aquíferos em rochas fissuradas.
- Aquíferos em rochas sedimentares.

Os aquíferos fissurados são representados pelas rochas da Formação Serra Geral, mais precisamente diabásios. O armazenamento e a circulação das águas estão condicionados à existência de juntas e fraturas abertas, além da interligação entre elas.

Os aquíferos em rochas sedimentares são representados pelas formações Rio Bonito, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e sedimentos inconsolidados do Quaternário Indiviso. O aquífero mais importante da seqüência sedimentar na área em estudo é a Formação Rio Bonito.

Durante a etapa de campo foram cadas-

traços 133 pontos de água dos quais, 15 são poços tubulares, 39 poços escavados, 38 nascentes, 37 pontos em rios, 03 pontos em lagoas e 01 na descarga do lavador de carvão, que serão considerados em conjunto para efeito de estudo das águas superficiais. A densidade média é de um ponto de água para 1,7 km². Quanto à litologia, todos os poços tubulares estão nas rochas sedimentares e para um total de 39 poços escavados, 15,4% pertencem às rochas da Formação Serra Geral e 84,6% às rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados. De 38 nascentes, 44,7% estão na Formação Serra Geral e 55,3% nas rochas sedimentares, sendo que os 36 pontos de rios, os 03 pontos de lagoa e 01 ponto na descarga do lavador estão todos em rochas sedimentares. Foram nivelados pela topografia 61 poços, sendo 14 poços tubulares, 25 poços escavados, 21 nascentes e 01 lagoa. Os dados relativos aos pontos de água são apresentados no Catálogo Geral de Pontos de Água (1) (anexo I.1).

8.10.2 - Relação entre Geologia e Água Subterrânea

Para caracterizar uma determinada unidade geológica como provável fornecedora de água, é necessária a existência de uma série de fatores que orientem o relacionamento geologia/água subterrânea. Dentre os fatores destacam-se o meio físico, o modo de ocorrência, a forma dos depósitos, as condições de circulação da água e os parâmetros hidráulicos.

Na área em questão foram identificados dois tipos de aquíferos:

- Aquíferos em rochas fissuradas
- Aquíferos em rochas sedimentares

Os aquíferos fissurados são representados pelos diabásios da Formação Serra Geral que constituem

rochas maciças, portanto sem poros e praticamente impermeáveis. O armazenamento de água se processa ao longo das fraturas e diáclases.

No caso dos aquíferos sedimentares, a acumulação de água subterrânea se verifica através dos poros ou interstícios da rocha. Na área, esses aquíferos correspondem às formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e sedimentos inconsolidados do Quaternário Indiviso.

8.10.3 - Água Subterrânea em Rochas Fissuradas

As rochas fissuradas, representadas na área pelos diabásios da Formação Serra Geral, são compactas além de resistentes e portadoras de uma permeabilidade primária incipiente, o que influi na infiltração e no escoamento das águas subterrâneas.

Em relação ao armazenamento e à produção de água, o meio aquífero das rochas fissuradas é bastante fraco, pois depende da existência de juntas, fraturas e da extensão e litologia do manto de intemperismo que recobre essas rochas.

De um modo geral, o tectonismo atua nas áreas de rochas maciças produzindo fraturas longitudinais resultantes de esforços de compressão. Essas fraturas são posteriormente afetadas por tensões que dão origem a fraturas paralelas e angulares transversais à direção dos estratos, facilitando a intercomunicação entre os sistemas de fraturas considerados. As fraturas resultantes de tensões são mais abertas e originam depósitos de água subterrânea.

Analizando essas fraturas em conjun-

to, observa-se que as mesmas formam uma verdadeira rede de fissuras interligadas onde ocorre o armazenamento da água subterrânea. Pela ação da pressão litostática, que provoca o fechamento das fraturas em profundidade, supõe-se que a comunicação hidráulica entre as fendas se verifica apenas na parte superior do aquífero.

8.10.3.1 - Formação Serra Geral

As rochas fissuradas, representadas pelos diabásios da Formação Serra Geral, cobrem cerca de 25% da área total de Siderópolis.

Nessa área foram cadastrados e catalogados 23 pontos de água, sendo 06 poços escavados e 17 nascentes. A profundidade desses 06 poços escavados varia de 1,50m a 7,05m e os níveis estáticos variam de 0,00m a 3,65m.

8.10.3.1.1 - Condições de Alimentação

A recarga do sistema aquífero Serra Geral, da mesma maneira que para as rochas cristalinas, é feita principalmente através da drenagem superficial que agindo nas zonas de coincidência fratura-drenagem permite uma realimentação constante através das aluviões, nas épocas de maior pluviosidade.

Na área de Siderópolis, devido às condições climatológicas características da região, é de se prever uma efetiva contribuição das chuvas na realimentação do sistema aquífero Serra geral, pois apesar da pequena extensão das aluviões presentes, chove regularmente, o manto de intemperismo apresenta razoáveis espessuras e o diabásio mostra-se bastante fraturado.

8.10.3.1.2 - Escoamento e Exutórios

Nos sistemas aquíferos por fissuras, assim como se verifica nos sistemas aquíferos cristalinos, podem ocorrer dois tipos de reservatório: um, resultante do fraturamento superficial e outro do fraturamento profundo. As fraturas superficiais dão origem a um sistema denso que quase sempre está em comunicação com o manto de intemperismo, e definem um aquífero livre cuja circulação é orientada pela topografia. Os fraturamentos em profundidade, que apresentam fraturas individualizadas constituindo um sistema pouco denso, podem propiciar condições de confinamento onde as paredes das fraturas direcionam e controlam a circulação.

Na área onde ocorre a Formação Serra Geral foram cadastrados apenas poços escavados e nascentes, o que impede emitir considerações sobre o escoamento. Para tanto seriam necessárias informações sobre as entradas de água, obtidas através de poços tubulares, que possibilitariam definir as condições de fraturamento dessas rochas.

Os principais exutórios que agem na descarga dos depósitos de água subterrânea, na área de ocorrência das rochas da Formação Serra Geral, são os rios e as nascentes.

A drenagem na área de ocorrência da Formação Serra Geral apresenta uma certa densidade e por esse motivo na descarga natural do aquífero os rios contribuem para essa perda.

As nascentes, que também atuam na descarga natural dos aquíferos, ocorrem no contato do manto de intemperismo com as rochas da Formação Serra Geral. Na área em questão, foram cadastradas 17 nascentes e embora não te-

nham sido determinadas suas vazões, pelo que se pode observar nos trabalhos de campo, elas contribuem efetivamente na perda natural do aquífero pelo volume de água que descarregam.

8.10.3.1.3 - Capacidade de Produção dos Poços

Os 06 poços escavados, cadastrados na área de ocorrência da Formação Serra Geral, não permitem uma avaliação, mesmo que aproximada, da sua capacidade de produção. Entretanto, pelo que se pode verificar durante os trabalhos de campo, o volume de água contido nesses poços varia pouco mesmo durante a época de menor pluviosidade.

Através de informações dos usuários, constatou-se que as quantidades de água fornecidas por esses poços são suficientes para suprir as necessidades da população rural no uso diário.

8.10.4 - Água Subterrânea em Rochas Sedimentares

No estudo das características hidrogeológicas da seqüência sedimentar e dos sedimentos inconsolidados quaternários, que ocorrem na área de Siderópolis, procurar-se-á analisar o comportamento hidrogeológico dessas rochas e sedimentos inconsolidados em conjunto, pelo fato de se dispor de poucos dados para cada uma das formações isoladamente. No caso da Formação Rio Bonito, que se constitui no principal aquífero da seqüência, e também por ter maior número de pontos de água plotados em sua área de ocorrência, será dado maior destaque às suas características hidrogeológicas.

8.10.4.1 - Rochas Sedimentares

Na área de ocorrência das rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados da região de Siderópolis, foram cadastrados e catalogados 110 pontos de água sendo: 15 poços tubulares, 33 poços escavados e 21 nascentes. Para estudar a qualidade das águas superficiais foram cadastrados também 37 pontos em rio, 03 pontos em lagoas e 01 ponto na descarga do lavador de carvão da Cia. Próspera S.A..

Os 15 poços tubulares mostram profundidades variando entre 10,00m e 69,00m e os níveis estáticos variam de poços surgentes a poços com 9,50m. Para os poços escavados, a profundidade está entre 2,25m e 16,00m e os níveis estáticos oscilam entre 0,53m e 12,10m.

8.10.4.1.1 - Condições de Alimentação

A alimentação do aquífero Rio Bonito é feita principalmente através da infiltração direta a partir das precipitações que na área acontecem regularmente.

A própria área de estudo representa a área de recarga do aquífero. Essa formação ocorre no centro da área, e é constituída de arenitos finos, siltitos, folhelhos e carvão. Recobrimo a mesma ocorre um solo arenoso pouco espesso e com boa permeabilidade.

A drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, pois os rios tem caráter efluente, isto é, recebem contribuições dos aquíferos.

No aquífero Palermo a alimentação se verifica através da infiltração direta das águas da chuva e também pela contribuição do aquífero inferior através de

filtração vertical. Essa formação ocorre contornando a Formação Rio Bonito e por apresentar uma litologia onde se alternam siltitos e arenitos finos atua como camada confinante do aquífero Rio Bonito em profundidade.

As formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto pelo fato de apresentarem uma litologia onde predominam siltitos e folhelhos, constituem-se em aquíferos fracos de pouca expressão. A alimentação nesse caso também se processa através da infiltração direta nas áreas de afloramento.

Os depósitos quaternários ocorrem em pequena extensão ao longo do rio Mãe Luzia (a leste da Vila Rio Fiorita e em Nova Veneza) e no rio Manim. São representados por aluviões e eluviões, constituídos por areias e cascalhos inconsolidados. Pela sua pequena extensão e pouca espessura esses depósitos constituem aquíferos fracos. A alimentação desses aquíferos também se dá por infiltração direta das águas de chuva.

8.10.4.1.2 - Escoamento

A superfície piezométrica, na área de Siderópolis, foi elaborada a partir das medidas dos níveis estáticos dos pontos cadastrados e do nivelamento topográfico desses pontos.

A partir do traçado das linhas equipotenciais e das linhas de fluxo do aquífero freático, observou-se que a superfície freática é controlada topograficamente onde as linhas de fluxo convergem para os mananciais de superfície conforme pode ser visto no mapa piezométrico (anexo III.3). Os gradientes hidráulicos são elevados e variam de, em média, 30 m/km para o lado ocidental até 80 m/km para

o oriental, com circulação rápida e grande volume de escoamento.

Um caso de surgência ocorre na área de afloramento da Formação Rio Bonito (ponto 64) embora não estando confinada pela Formação Palermo.

8.10.4.1.3 - Exutórios

A descarga natural dos aquíferos é realizada através dos principais exutórios que são os rios, as nascentes e a evapotranspiração.

Na área de Siderópolis - SC, os rios apresentam uma boa densidade de drenagem e por esse motivo a atuação desse exutório na descarga dos aquíferos é efetiva e contribui realmente para a perda natural de água dos mesmos.

As nascentes, que na área de estudo são em número de 21, desempenham um papel importante na descarga natural dos aquíferos. Estas nascentes, de um modo geral, ocorrem no contato do manto de intemperismo com as rochas da seqüência sedimentar. Apesar de não terem sido determinadas as vazões dessas fontes, durante o cadastramento dos pontos de água observou-se que, pelo volume escoado através das mesmas, a contribuição desse exutório na descarga natural do aquífero é efetiva.

A evapotranspiração não foi determinada para a área de estudo por não se ter obtido dados de evaporação das estações de Forquilha e Urussanga, citadas no item "Elementos do Clima".

8.11 - ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA ISOTÓPICA

8.11.1 - Generalidades

O uso de radioisótopos como traçadores em estudos hidrológicos e hidrogeológicos é uma importante ferramenta na determinação de vários parâmetros.

No Brasil a aplicação desta técnica tende a se expandir devido à facilidade cada vez maior de obtenção de material radioativo, de equipamentos de detecção, divulgação de métodos específicos e especialização de pessoal na área de engenharia nuclear (Aoki, 1983).

Dentre as inúmeras aplicações de radioisótopos, interessam especialmente ao estudo do mecanismo de contaminação aquelas que referem-se ao escoamento subterrâneo, com a determinação das características hidrodinâmicas e também do meio poroso. Devido à maior complexidade dos estudos de contaminação decorrentes de variada gama de atividades de extração e beneficiamento do carvão, escolheu-se a área de Siderópolis para que com base no acima exposto fossem estudados os seguintes parâmetros: a velocidade de Darcy, representada pela Lei de Darcy, a direção e o sentido do fluxo subterrâneo.

Apesar dos valores obtidos com estas técnicas serem de caráter local, estes dados são passíveis de extrapolação desde que se conheça as condições geológicas e as características de homogeneidade do sistema em estudo.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos no estudo do nível aquífero superficial, além da descrição das diversas técnicas utilizadas.

8.11.2 - Técnicas Utilizadas

Existem várias técnicas que podem ser aplicadas no reconhecimento dos fluxos subterrâneos, destacando-se as seguintes:

- Método do poço de injeção e do poço de bombeamento.
- Método de injeção em um único poço, com bombeamento.
- Método de diluição pontual.

Os ensaios realizados nesta área utilizaram a técnica de diluição pontual em três piezômetros com as seguintes identificações: PS-05-SC localizado em Siderópolis; PT-04-SC em Treviso e PF-04-SC em Forquilha. Todos os piezômetros tem filtro com diâmetro nominal de 4" mais pré-filtro totalizando um diâmetro de 6 3/4" e profundidade final de 20,0 metros.

8.11.3 - Descrição dos Traçadores Aplicados

São muitos os traçadores radioativos que podem ser utilizados para marcar fluxos superficiais, porém seu número diminui quando se trata de águas subterrâneas. Três exigências devem ser respeitadas: 1) o traçador deve se deslocar com a mesma velocidade das moléculas de água; 2) deve ser um ânion, visto que no caso de percursos longos ou permanência prolongada em águas subterrâneas não devem reagir com colóides eletronegativos provenientes de argilas e materiais orgânicos. 3) o período de realização do ensaio do material radioativo, exigem que o mesmo tenha uma meia vida compatível com o tempo de uso.

Tendo por base resultados obtidos em trabalhos anteriores, realizados em outras áreas, escolheu-se o ^{82}Br , na forma química de NaBr, para as determinações de

velocidade horizontal do fluxo. O ^{82}Br , é um radioisótopo obtido facilmente no reator nuclear da CNEN/SP e sua meia-vida curta, de apenas 36 horas, torna-o altamente conveniente em termos de preservação do aquífero de possível contaminação.

A escolha do radioisótopo utilizado nas determinações da direção e do sentido do fluxo, tomou em consideração o fato essencial de que a solução radioativa deixe o volume e se fixe, por adsorção física, nas paredes do filtro e pré-filtro, durante o período de medições. Segundo recomendações feitas por Klotz (citado em Aoki, 1983), além destas características, ele deve emitir radiações gama com energia compreendida entre 0,3 MeV e 0,7 MeV. Dentre os radioisótopos que possuem estas características, optou-se pelo uso de ^{51}Cr na forma química de CrCl_3 , por ser obtido mais facilmente no reator da CNEN/SP e também por ser o mais tradicional.

8.11.4 - Princípios do Método

8.11.4.1 - Determinação da Velocidade de Darcy

Para o cálculo da velocidade através do método da diluição pontual utiliza-se o modelo matemático baseado nas hipóteses seguintes:

- a) o decréscimo da concentração do traçador é proporcional à velocidade de Darcy;
- b) o fluxo é estacionário, isto é, com vazão Q constante;
- c) o volume onde ocorre o decréscimo da concentração é limitado à coluna piezométrica do poço;

d) o poço é idealmente permeável e atravessa o aquífero até alcançar uma camada suporte, impermeável.

Denominando-se H , a altura da coluna piezométrica onde ocorre a diluição e D_p o seu diâmetro, tem-se por volume $V = \pi(D_p^2/4) H$ e por secção longitudinal, $S_p = D_p \cdot H$. A atividade do radioisótopo no instante t é representada por A , com dimensão T^{-1} .

Considera-se também que a concentração C do traçador, contida no volume V , num certo instante t , seja representada pela relação:

$$C = \frac{A}{V} \quad (1)$$

Derivando-se a equação (1) em relação ao tempo e considerando-se $Q = \frac{dV}{dt}$ e que o radioisótopo tenha meia vida T , infinita, tem-se:

$$\frac{dC}{dt} = -A \cdot V^{-2} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{-A}{V} \cdot \frac{Q}{V} \quad (2)$$

Introduzindo-se (1) em (2) obtém-se:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{CQ}{V} \quad \text{ou} \quad \frac{dC}{C} = \frac{-Q}{V} \cdot dt \quad (3)$$

Integrando-se ambos os membros e sabendo-se que $Q = VaS_p$ e $V = \pi(D_p^2/4) H$, chega-se a:

$$\frac{C}{C_0} = \exp \left(-\frac{4Va}{\pi D_p} \cdot t \right) \quad (4)$$

onde C = concentração no instante t

C_0 = concentração inicial

O coeficiente exponencial pode ser representado por:

$$\psi = - \frac{4Va}{\pi Dp} \quad (5)$$

Define-se a velocidade aparente Va , por:

$$Va = \frac{- \pi Dp \cdot \psi}{4} \quad (6)$$

Esta velocidade aparente Va , somente caracteriza o fluxo na seção longitudinal S_p do poço, podendo diferir da velocidade de Darcy no meio poroso, pela presença do poço, constituído de filtro e pré-filtro, que perturbam as linhas de fluxo.

A velocidade Va se relaciona com a velocidade de Darcy pela fórmula:

$$Va = \alpha VD \quad (7)$$

onde α é o coeficiente de perturbação hidrodinâmica, causada pelo poço.

O valor de α é calculado pela expressão seguinte:

$$\alpha = \frac{8}{\left(1 + \frac{k}{k_2}\right) \left\{1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{k_2}{k_1} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]\right\} + \left(1 - \frac{k}{k_2}\right) \left\{\left[\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 + \frac{k_2}{k_1} \left[\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2 - \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]\right\}} \quad (8)$$

onde:

- r_1 = raio interno do filtro
- r_2 = raio externo
- r_3 = raio do pré-filtro
- K = permeabilidade do aquífero
- K_1 = permeabilidade do filtro
- K_2 = permeabilidade do pré-filtro

Na ausência de pré-filtro tem-se $r_2 = r_3$, $K = K_2$ e a equação (8) torna-se:

$$\alpha = \frac{4}{1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \frac{K}{K_1} \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]} \quad (9)$$

Quando a relação K_2/K_1 tende para valores menores do que 1 e K/K_2 para 0,1, α pode ser considerado independente dos coeficientes de permeabilidade, desde que se aceite erro máximo da ordem de 10%. Portanto se:

$$K_1 \gg K_2 \gg 10K$$

A equação (8) pode ser simplificada para:

$$\alpha = \frac{4}{1.1 + 0,9 \left(\frac{r_1}{r_3}\right)^3} \quad (10)$$

A vantagem da utilização desta equação, no cálculo de α , é que os valores absolutos dos coeficientes de permeabilidade não precisam ser conhecidos.

8.11.4.2 - Determinação da Direção e Sentido do Fluxo

Todas as técnicas experimentais existentes baseiam-se no mesmo princípio. No centro de uma seção transversal de um poço, injeta-se pontualmente uma solução radioativa que é transportada de acordo com a direção correspondente ao fluxo.

Decorrido certo intervalo de tempo, a maior parte do traçador terá saído da coluna piezométrica e se encontrará distribuída nas paredes do filtro e nas suas vizinhanças.

A distribuição do traçador, poderá ser determinada por um detector provido de colimador. Inicialmente orienta-se o colimador em relação a um referencial e fazem-se as medições de radioatividade girando-se o dispositivo em intervalos regulares, resultando um gráfico radial.

Deve ser citado que foram também determinadas as direções e sentido dos fluxos regionais através de uma rede de poços, fontes e alguns piezômetros. Como não se dispõe de grande número de piezômetros para definir o gradiente hidráulico com precisão, optou-se por esta técnica como modo de confrontar resultados.

8.11.5 - Trabalhos de Campo

Inicialmente posicionou-se o injetor, certificando-se que o lastro estava no fundo do poço. Em seguida introduziu-se uma solução inerte de NaBr pelo funil, para fazer a saturação do meio, logo após foi introduzido o radioisótopo ^{82}Br de modo a preencher todo o injetor que foi retirado lentamente para que toda a coluna piezométrica ficasse marcada com a solução.

A seguir introduziu-se a cinta cintiladora gama no poço, mantendo-a centralizada e fixa. O espectrômetro BASC ficou à distância conveniente do poço, limitada pelo comprimento do cabo elétrico da sonda.

A primeira medida iniciou-se aos cinco minutos após o término da injeção. As demais medidas foram feitas durante um minuto, em intervalo de dez minutos.

Para a medida de direção e sentido, inicialmente preenche-se com água o tubo plástico do injetor de modo a ocupar os primeiros seis centímetros, a partir do bico, correspondendo ao volume de 0,5 ml.

Em seguida, introduziu-se o injetor no poço, na profundidade definida para a injeção. No instante da injeção, ligou-se a micro-bomba, durante cinco segundos aproximadamente, suficientes para injetar o volume previsto.

Após introduziu-se a sonda colimada até à profundidade de injeção do traçador e orientou-se o disco em relação ao norte geográfico e tomou-se as medidas de radioatividade girando-se o dispositivo em intervalos de 10°.

Considerando-se que cada medição define um vetor com intensidade e direção bem determinados, a resultante desses vetores representará a direção do fluxo.

8.11.6 - Resultados Obtidos

Os resultados dos ensaios para determinar a velocidade, direção e sentido do fluxo nos piezômetros de Siderópolis, Treviso e Forquilha estão resumidos no quadro 8.11.1 a seguir.

RESULTADOS DOS ENSAIOS COM TRAÇADORES

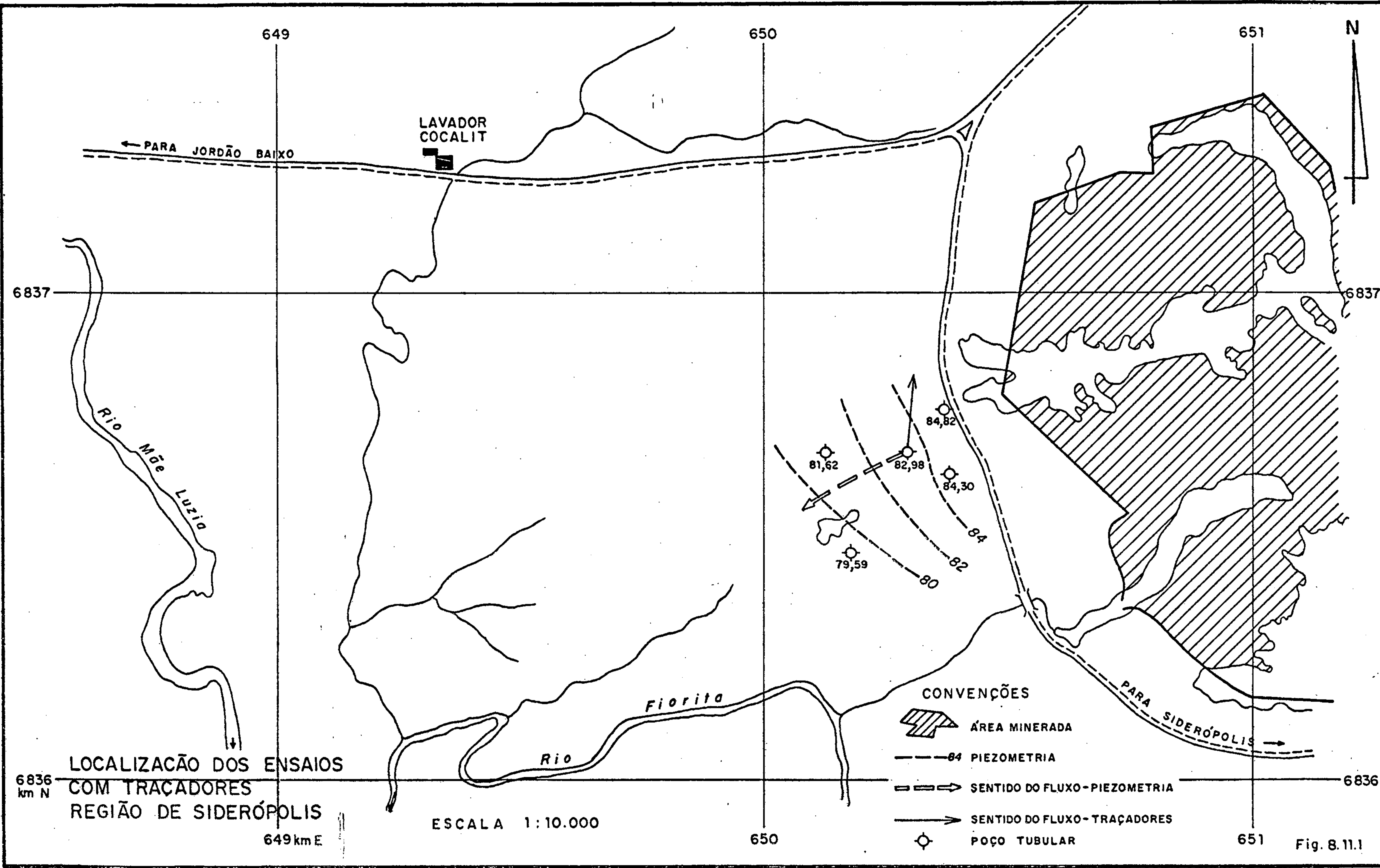
PIEZÔMETRO	POSIÇÃO DA SONDA (m)	VELOCIDADE DO FLUXO DA ÁGUA SUBTER. VD (cm/dia)	DIREÇÃO E SENTIDO DO FLUXO A PARTIR DO NORTE GEOGRÁFICO, EM SENTIDO HORÁRIO
Siderópolis PS-05-SC	6,70	15,29	4°
Treviso PT-04-SC	9,60	9,15	297°
Forquilha PF-04-SC	5,0	13,12	289°

Quadro 8.11.1

A área de Siderópolis apresentou a maior velocidade de fluxo e conseqüentemente a maior velocidade de contaminação no aquífero, aqui representado pelos arenitos do Membro Siderópolis da Formação Rio Bonito, localizados logo acima da camada de carvão Barro Branco.

Em Treviso foram examinados os arenitos que ocorrem tanto acima quanto abaixo da camada de carvão Barro Branco, resultando na menor valor de velocidade de fluxo, provavelmente devido à presença mais constante de silteitos argilosos e carbonosos na formação.

Na localidade de Forquilha, as medidas realizadas sobre os arenitos subjacentes à camada Barro Branco, acusaram velocidades semelhantes às da área de Siderópolis, portanto com boa recarga do aquífero.



649 650 651 N

LAVADOR COCALIT

← PARA JORDÃO BAIXO

6837

6837

Rio Mãe Luzia

Fiorita

Rio

CONVENÇÕES

▨ ÁREA MINERADA

---84 PIEZOMETRIA

⇒ SENTIDO DO FLUXO-PIEZOMETRIA

→ SENTIDO DO FLUXO-TRAÇADORES

⊙ POÇO TUBULAR

LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS
COM TRAÇADORES
REGIÃO DE SIDERÓPOLIS

6836
km N

6836

ESCALA 1:10.000

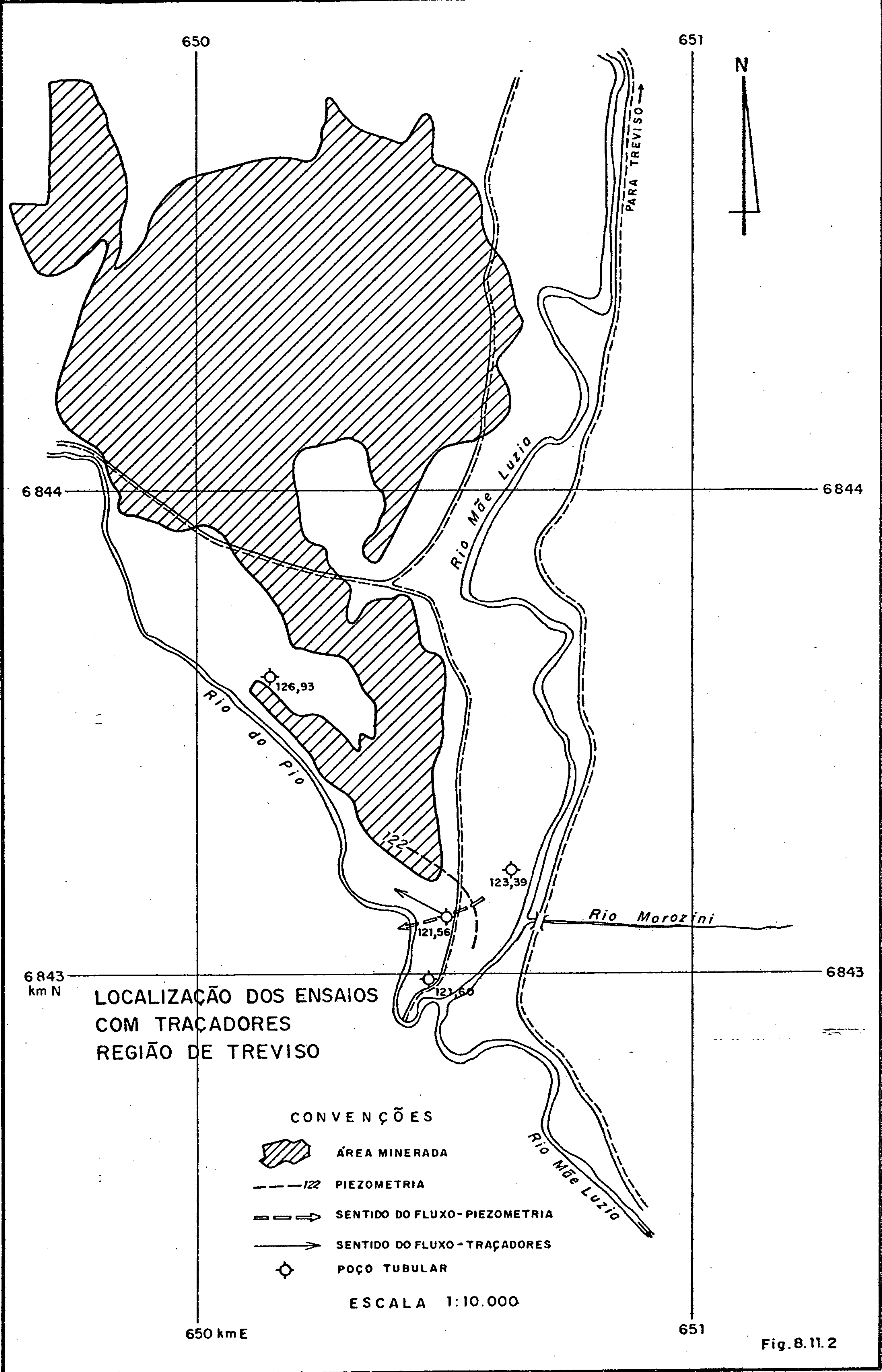
649 km E

650

651


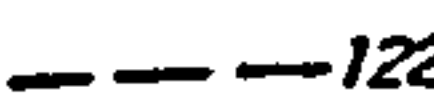



PARA SIDERÓPOLIS →

Fig. 8.11.1



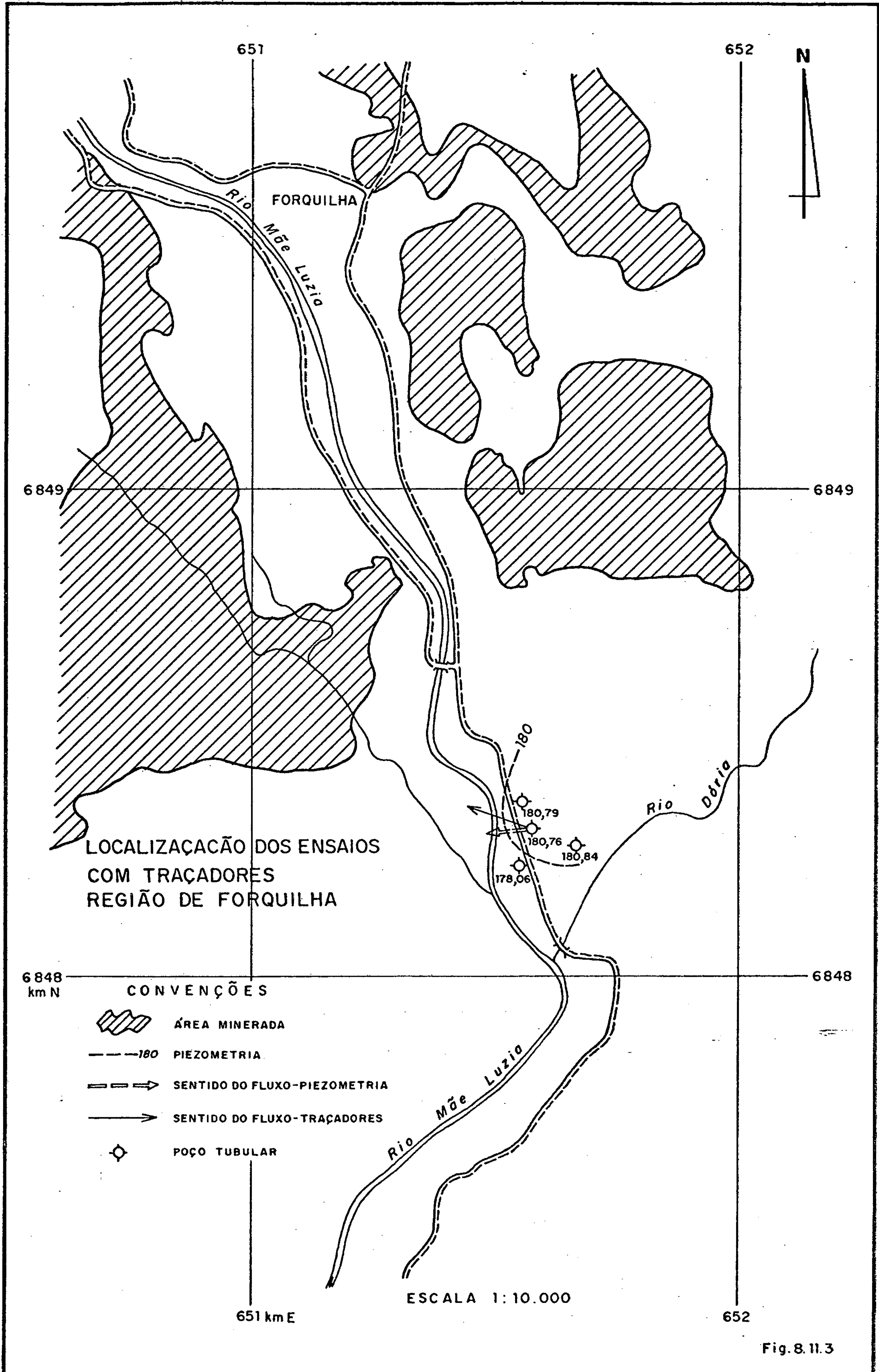
LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS
COM TRAÇADORES
REGIÃO DE TREVISO

CONVENÇÕES

-  ÁREA MINERADA
-  122 PIEZOMETRIA
-  SENTIDO DO FLUXO-PIEZOMETRIA
-  SENTIDO DO FLUXO-TRAÇADORES
-  POÇO TUBULAR

ESCALA 1:10.000


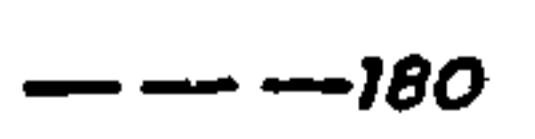

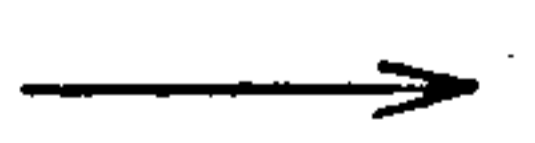

Fig.8.11.2



LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS
COM TRAÇADORES
REGIÃO DE FORQUILHA

6848
km N

CONVENÇÕES

-  ÁREA MINERADA
-  180 PIEZOMETRIA
-  SENTIDO DO FLUXO-PIEZOMETRIA
-  SENTIDO DO FLUXO-TRAÇADORES
-  POÇO TUBULAR

651 km E

ESCALA 1:10.000

652

Fig. 8.11.3

Os dados obtidos são coerentes quando examinados em relação à topografia da região e à porosidade que estes arenitos apresentam.

As direções e o sentido dos fluxos estão apresentados nas figuras 8.11.1, 8.11.2 e 8.11.3. Na área de Siderópolis, notou-se uma grande diferença do valor obtido através do método clássico e o resultante do uso de traçadores. Isto pode ser explicado pelo fato de que estes arenitos apresentam-se bastante fraturados (o que é confirmado pela velocidade de fluxo obtida) e a presença de fluxos verticais que levaram o traçador para direções não compatíveis com a direção do fluxo no local de estudo.

Nos piezômetros de Treviso e Forquilha as direções são concordantes com aquelas tomadas através das equipotenciais construídas a partir dos dados de outros piezômetros, sendo que as pequenas diferenças são devidas ao caráter pontual da medida. Nota-se em ambos os casos que a direção e sentido do fluxo são em direção ao rio do Pio e rio Mãe Luzia.

8.12 - LIXIVIAÇÃO DOS ELEMENTOS CONTAMINANTES

8.12.1 - Generalidades

A disposição, no meio ambiente, dos rejeitos da mineração de carvão tem trazido graves problemas ambientais. O mais crítico deles é a acidificação dos recursos hídricos, tanto os superficiais quanto os subterrâneos, com a conseqüente solubilização dos metais tóxicos presentes no carvão que tornam as águas impotáveis e desaconselháveis para qualquer uso.

O objetivo deste estudo é avaliar o grau de lixiviação de metais tóxicos no carvão e seus rejeitos na área de Siderópolis. A lixiviação foi obtida em laboratório, simulando-se as condições ambientais que levam à geração de drenagens ácidas e conseqüente solubilização dos metais tóxicos. São descritas as técnicas de laboratório que permitem simular as condições naturais e os resultados obtidos para os carvões submetidos à lixiviação acelerada.

8.12.2 - Lixiviação de Metais em Rejeitos de Carvão

8.12.2.1 - Causas de Lixiviação

Uma vez iniciada a formação de ácido sulfúrico nos rejeitos depositados, o processo de contaminação dos recursos hídricos agrava-se pela lixiviação de metais tóxicos, resultando numa drenagem ácida com altos teores de metais em solução.

A lixiviação, isto é, a solubilização dos metais presentes nos rejeitos durante a percolação da drenagem, dá-se principalmente quando o efluente percolador é ácido. Isto pode ser entendido observando-se a figura 8.12.1

abaixo onde vê-se que a solubilidade dos metais é função do pH.

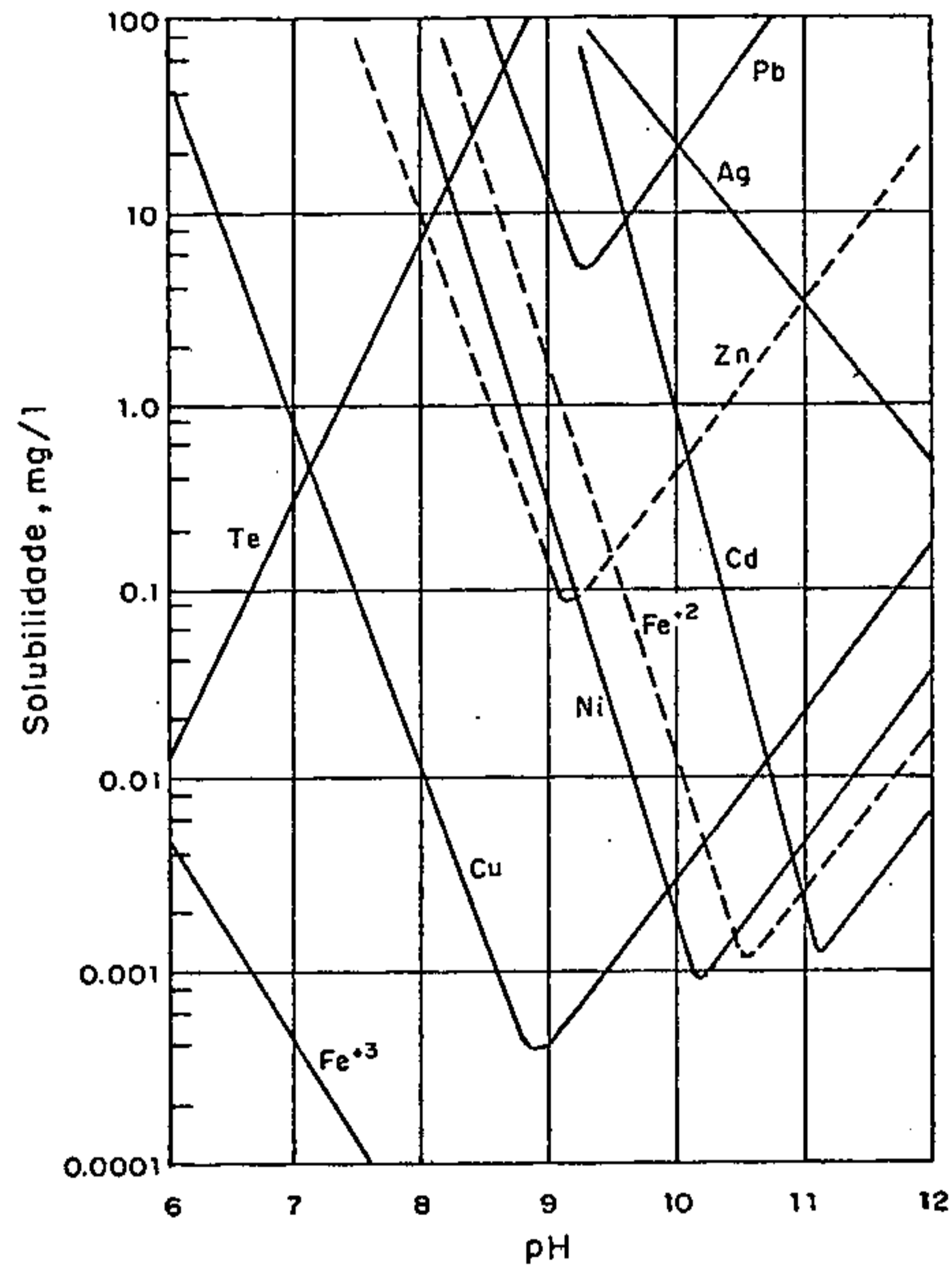


Figura 8.12.1 - Solubilidade de alguns metais em função do pH da drenagem

A um pH de 9,0 a solubilidade do cobre é de 0,0005 mg/l mas a um pH de 6,0 esta solubilidade sobe para 50 mg/l e a um pH de 4,0 pode chegar a vários gramas por litro. O chumbo tem solubilidade mínima de 5,0 mg/l a um pH de 9,0; esta solubilidade aumenta 1000 vezes no pH de 3,5. O ferro bivalente, por sua vez, tem solubilidade mínima a um pH de 10,5; a um pH neutro (7,0) a sua solubilidade é bastante alta (> 100 mg/l). Como é o Fe^{++} que está associado à oxidação da pirita, a acidez sempre vem acompanhada por altos teores de Fe^{++} . Dentro dos cursos d'água o Fe^{++} oxida-se em ferro trivalente, Fe^{+++} . Como vemos na figura 8.12.1, o Fe^{+++} é praticamente insolúvel a um pH neutro (0,001 mg/l), ocorrendo então sua precipitação no fundo dos rios, dando-lhes a cor avermelhada característica. Na figura 8.12.2 visualiza-se o aumento das concentrações de acidez e ferro total dissolvido, conseqüentemente de metais pesados, quando diminuem os valores de pH.

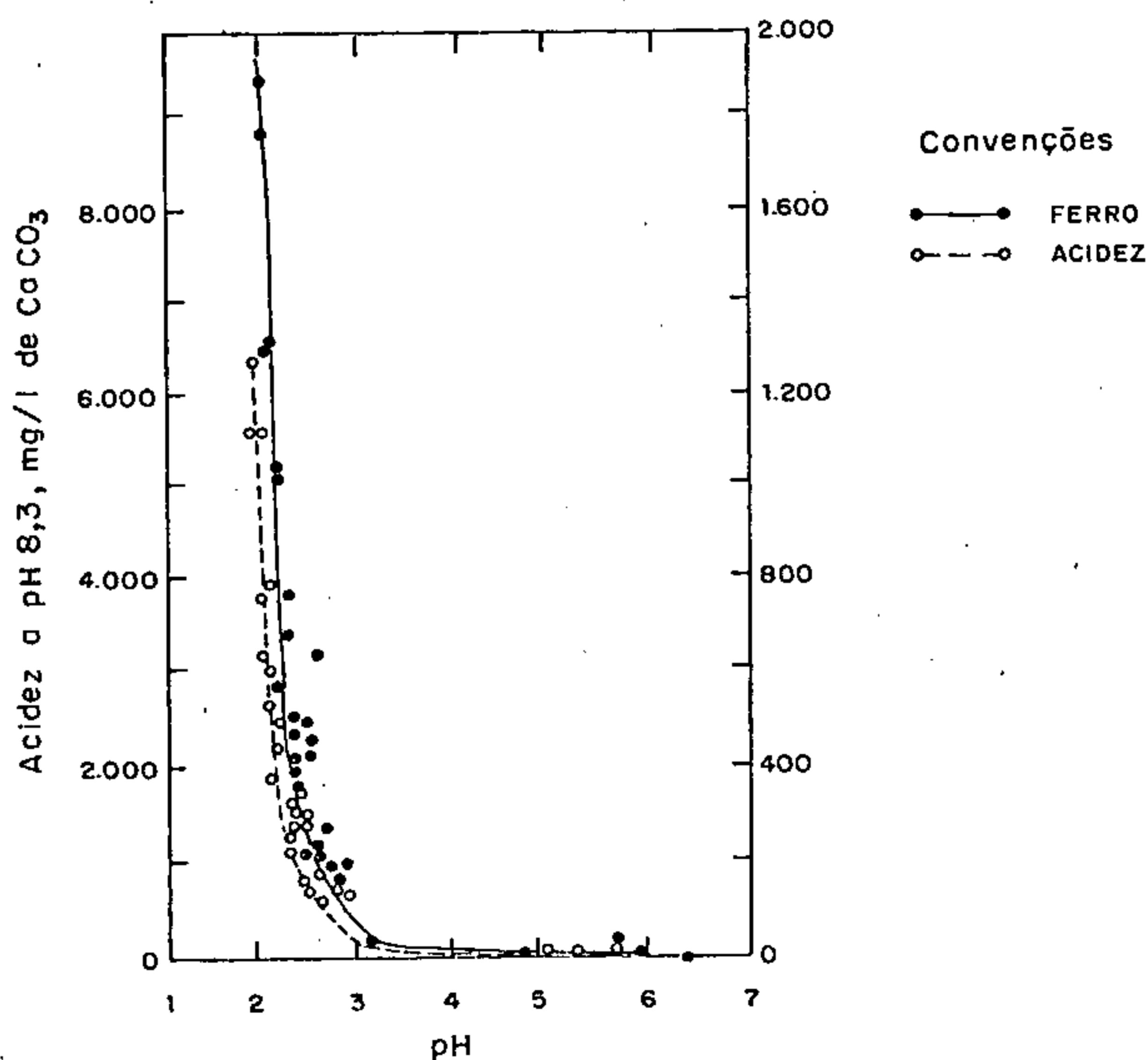


Figura 8.12.2 - Variação das concentrações de acidez e ferro total dissolvido em relação ao pH.



CPRM

Concluimos, então, que a lixiviação dos metais tóxicos está associada ao aumento da solubilidade destes metais à medida que o pH diminui. Como cada metal tem uma solubilidade diferente e está presente em teores diferentes nos rejeitos, a concentração deles na drenagem difere de elemento para elemento.

8.12.2.2 - Elementos Menores Presentes no Carvão

Chamam-se elementos menores àqueles presentes no carvão em concentrações inferiores a 1%. Na prática, os carvões contêm praticamente todos os elementos da tabela periódica, mas, para fins de controle da poluição, ficamos restritos principalmente nos metais. No quadro 8.12.1 encontramos concentrações de elementos menores observadas em vários lugares do mundo.

Quadro 8.12.1 - Concentrações médias de elementos menores em carvões (em partes por milhão - ppm)

Elemento	Betuminoso		Betuminoso USA	Lignito Turquia	Illinois USA
	Austrália	Bélgica			
As	1-55	24	10	10-350	2-90
Cd	< 0,2	4	0,2		0,1 - 65
Cl	10-1000		800		
Co	0,6-30	15	6,5	0,2-30	
Cr	1-30	55	35	10-500	
Cu	2-40	78			2-185
Hg	0,02-0,4	0,6			0,01-1,6
Mn	2,5-900	300	35		6-180
Ni	0,8-70	55	26		1-104
Pb	1,5-60		15		4-200
Se	0,2-2,5	2	2	0,8-3	0,4-7
Sr	10-1000		84	50-120	
Th	0,2-8		4,8	0,2-9	
Ti	400-4000	1700			
U	0,4-5		1,2	0,1-3	
V	4-90	70	45		
Zn	10-500	170	31		0-6000

Observa-se que a concentração varia de lugar para lugar, mesmo dentro de uma jazida.

No sul do Brasil, os elementos menores no carvão foram analisados no RS, conforme vemos no quadro 8.12.2.

Quadro 8.12.2 - Elementos menores no carvão do Rio Grande do Sul

p.p.m.

ELEMENTO	CANDIOTA ¹				BUTIÁ ¹			LEÃO ²		
	MÍNIMO	MÁXIMO	X ₍₂₄₎	X _t	MÍNIMO	MÁXIMO	X ₍₁₅₎	MÍNIMO	MÁXIMO	X ₍₃₆₎
U ₃ O ₈	-	-	-	-	4,1	10,3	6,3			
Mn	-	620	250	225	200	300	260	15	1300	142
Zn	-	tr	-	-	-	150	-	20	345	97
Y	25	150	65	65	52	135	101			
Zr	140	640	542	195	140	1600	447			
Cu	17	34	22	21	23	72	37	25	105	54
V	56	110	72	65	70	240	125	85	250	156
Ni	19	56	27	23	31	240	90	21	171	65
Ti	4900	7600	5600	5400	6000	12000	9400			
Ge	-	20	tr	-	52	420	85			
Ga	11	23	16	16	15	41	22			
Ba	150	320	221	175	10	320	192			
Sc	10	31	15	115	10,5	68	26			
Cr	30	60	56	50	27	170	84,5	42	118	54
Sr	60	200	138	125	150	600	251			
Pb	20	56	27	44	20	92	30,5	10	225	49
Co	10	30	11	10	5	48	19,5	10	84	30
Be	10	30	11	10	10	30	20			
Mo	-	-	-	-	-	-	-			
La	-	-	-	tr	-	-	tr			
Nb	-	-	-	-	-	-	tr			
B								-	-	150

ELEMENTO	GRAVATAÍ - MORUNGAVA ³			CHARQUEADAS ⁴		A PARTIR DAS CINZAS ⁵			CALCULADO PARA CARVÕES ⁵		
	AMOSTRA 67	AMOSTRA 17	AMOSTRA 52	MÍNIMO	MÁXIMO	LEÃO	BUTIÁ	CHARQUEADAS	LEÃO	BUTIÁ	CHARQUEADAS
U ₃ O ₈						-	5,34	-	-	2,1	-
Mn				50	800	142	260	159	62	102	93
Zn						97	150	-	42	59	-
Y				< 25	100						
Zr	293	1000	400	100	300						
Cu	44	1000	46	< 5	40	54	37	49	24	14	28
V	157	1000	255	100	300	156	126	194	68	50	114
Ni	56	300	520	< 10	200	65	90	46	28	35	27
Ti						-	9400	7860	-	3700	4600
Ge	10	-	250	≈ 25							
Ga	39	55	51	20	80						
Ba						-	192	-	-	75	-
Sc											
Cr	107	38	162			54	84	112	24	33	65
Sr	300	170	145								
Pb				< 25	100	49	30	76	21	12	44
Co	15	72	100			30	20	10	13	8	6
Be						25	20	10	11	8	6
Mo				< 10	30	5	-	-	2,2	-	-
La											
Nb					< 25						
B	78	10	153	≈ 100		150	-	116	66	-	68

1 URDININEA, PINTAÚDE
 2 AZAMBUJA
 3 SILVA FILHO
 4 CIENITEC
 5 EPSTEIN

tr - traços
 - - não detectados
 - não analisados

X₍₁₅₎ - média aritmética de 15 amostras
 Mínimo - quantidade mínima encontrada
 Máximo - quantidade máxima encontrada
 X_t - média aritmética de canada Candiota inferior + superior

8.12.3 - Relação entre Elementos Menores no Carvão e na Drenagem

Uma questão que surge ao estudarmos a poluição hídrica causada pela mineração de carvão é se há relação entre o teor de elementos menores no mineral e a concentração destes elementos na drenagem do carvão e seus rejeitos. No quadro 8.12.3 temos a concentração de alguns elementos menores no carvão e na drenagem de suas pilhas.

Quadro 8.12.3 - Elementos menores presentes no carvão e na drenagem das pilhas do mesmo carvão (ppm)

Elemento	Lakeview - USA		Milner - USA		Battle - USA	
	Carvão	Drenagem	Carvão	Drenagem	Carvão	Drenagem
As	12	0,1	6	0,04	1	0,24
Cd	0,3	0,02	13	<0,01	3	<0,01
Cr	12	0,4	54	0,2	4,6	0,2
Co	3,3	0,4	20	<0,03	3	<0,03
Cu	6	1,6	38	3	3,5	8,2
Fe	6300	420	17000	45	4600	98
Hg	0,35	<0,001	0,63	<0,001	0,45	0,002
Mn	25	7	96	4,4	49	3,7
Ni	4	2,8	23	0,5	3	1,6
Pb	6	<0,1	45	0,1	-	-
Se	3	0,02	1,5	<0,02	<0,1	<0,02
Th	1,5	<0,06	-	<0,06	-	0,13
T	550	<0,3	-	-	-	-
U	0,7	<0,005	-	-	-	0,066
V	20	<1	-	-	-	-
Zn	27	0,3	89	1,4	9	4,0
pH		2,7		8,3		6,3
Sulfatos		4100		150		1400

Várias conclusões podem ser extraídas do quadro:

a) O grau de lixiviação dos metais difere para cada metal. Para o carvão de Lakeview a relação metal na drenagem/me

tal no carvão é de 0,26 para o cobre, 0,06 para o ferro e menor que 0,002 para o mercúrio. Isto reflete a diferença entre as solubilidades dos metais.

b) O pH do efluente tem importância fundamental na lixiviação dos metais, representada pela relação.

$L = \text{metal na drenagem} / \text{metal no carvão}$

Para o ferro, L em Lakeview é de 0,06 (420 + 6300) enquanto que em Milner, onde o pH é 8,3, o L vale 0,0026. Para o cádmio, o L em Lakeview é de 0,06 enquanto que na drenagem alcalina de Milner o L cai para 0,0007. Ou seja, não importa que o carvão de Milner tenha 43 vezes mais cádmio do que o carvão de Lakeview: a acidez da drenagem em Lakeview lixivia muito mais cádmio do que a drenagem alcalina de Milner, comprovando mais uma vez que o principal agente poluidor no carvão é o produto da oxidação da pirita. No caso do carvão de Battle, a drenagem tem um pH intermediário e os valores de L também são aproximadamente intermediários.

8.12.4 - Simulação da Poluição em Laboratório

A preocupação do governo americano em evitar a poluição na mineração de carvão levou ao desenvolvimento de técnicas de laboratório que permitem prover a qualidade da drenagem dos estoques de carvão e seus rejeitos.

A simulação em laboratório permite reproduzir condições idênticas às reais, com a vantagem de que o processo é acelerado: 1 ano de condições reais podem ser simulados em menos de quinze dias, obtendo-se o potencial gerador de ácido e o grau de lixiviação dos diversos metais.

A amostra sujeita à simulação do efeito das intempéries é colocada numa câmara inerte da qual pas-

sa constantemente um fluxo de ar úmido. Este fluxo fornece o oxigênio e a umidade necessários à oxidação da pirita e à formação de ácido sulfúrico. Em intervalos selecionados, a amostra é lavada com água para simular o efeito das drenagens. Esta lavagem carrega consigo o ácido e os metais lixiviados e sua análise nos permite prevêr a qualidade da drenagem destes rejeitos no local de disposição final.

Um importante ponto esclarecido pelas simulações em laboratório é a diferença entre as gerações de drenagens ácidas e drenagens alcalinas. No caso de rejeitos alcalinos observou-se que independente do intervalo de tempo entre duas drenagens consecutivas, a alcalinidade gerada sempre era a mesma, conforme vemos na figura 8.12.2.

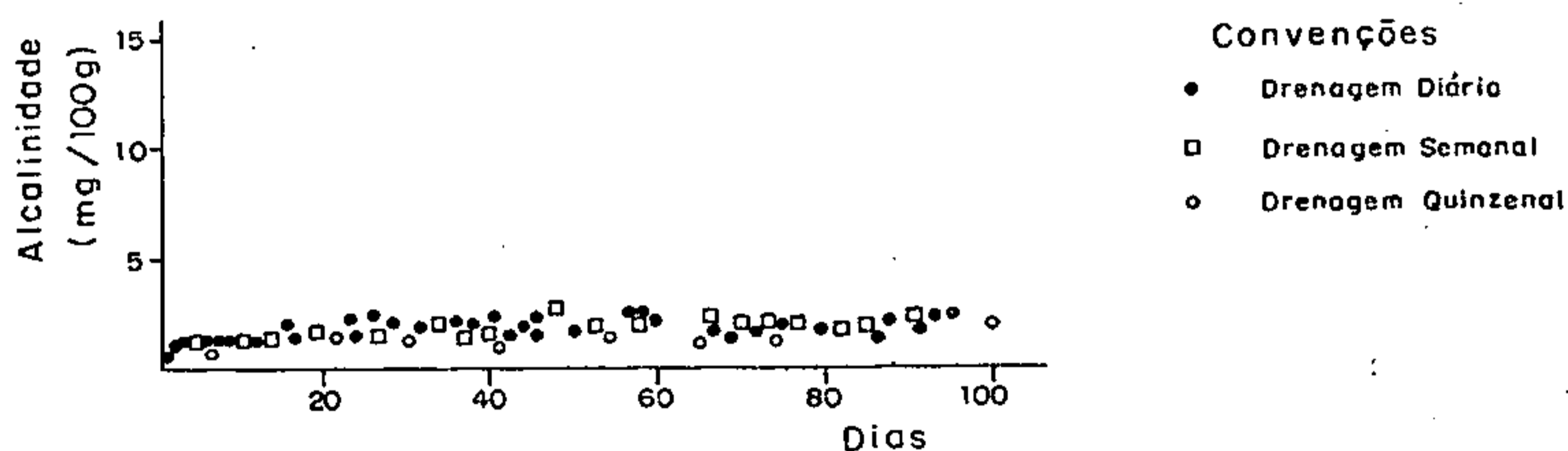


Figura 8.12.3 - Alcalinidade gerada entre duas drenagens consecutivas para diferentes intervalos de tempo entre as drenagens. Resultados de testes de simulação em laboratório.

A explicação do fenômeno está em que a geração de alcalinidade é rápida e atinge rapidamente a concentração de saturação. Assim, após algumas horas, o microambiente está saturado e nenhum efluente alcalino adicional é gerado até que uma drenagem lave o microambiente e reponha a umidade sobre os rejeitos por umidade livre de alcalinidade. Como consequência, a alcalinidade acumulada em drenagens sucessivas depende do intervalo entre as drenagens, como vemos na figura 8.12.4.

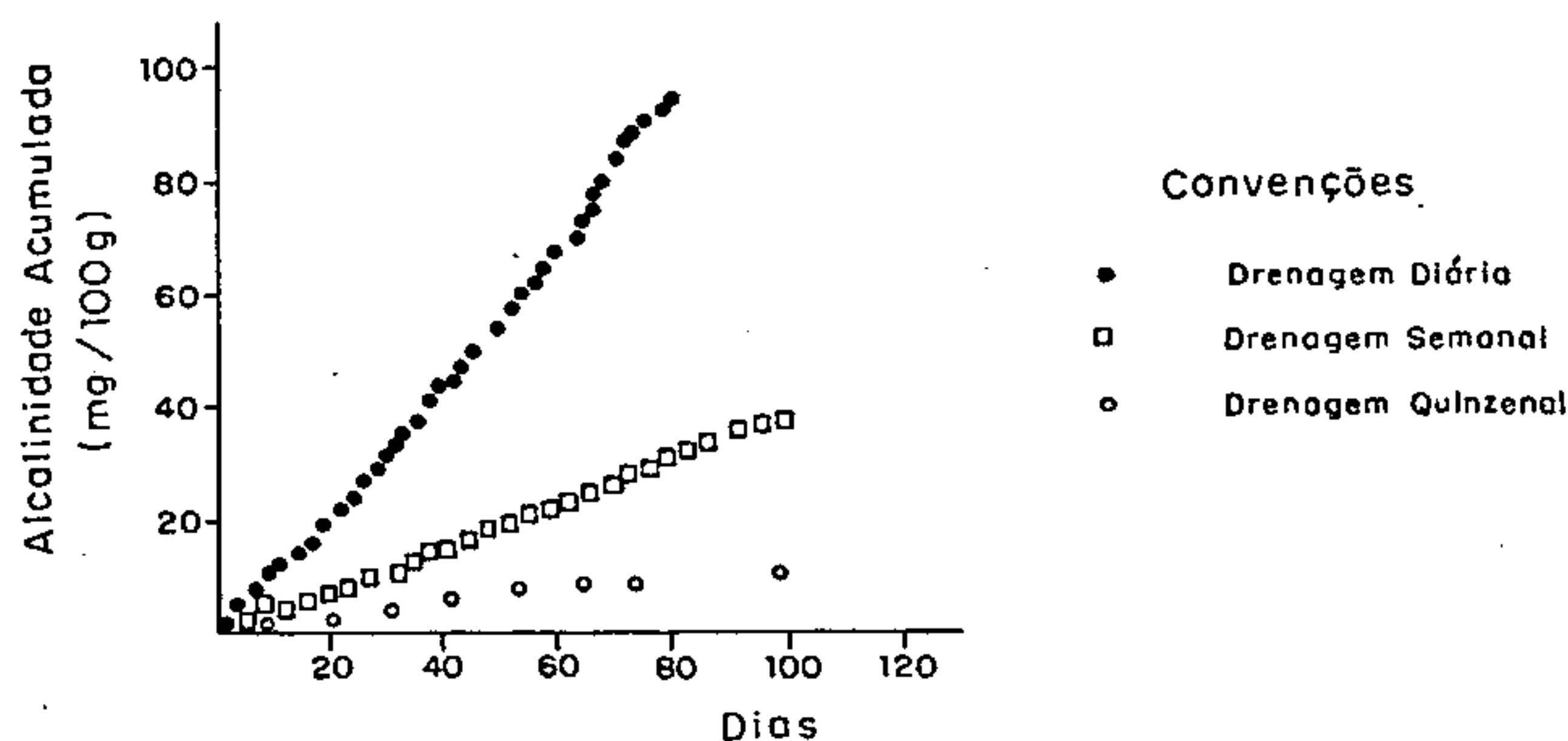


Figura 8.12.4 - Alcalinidade acumulada por diversas drenagens em função do intervalo entre as drenagens.

Em termos práticos isto significa que após um prolongado período de seca, o efluente alcalino da drenagem de rejeitos não será pior do que o efluente gerado numa época de chuvas, onde as drenagens são sucessivas.

No caso de rejeitos que geram efluentes ácidos, a dinâmica do processo é diferente como vemos na figura 8.12.5.

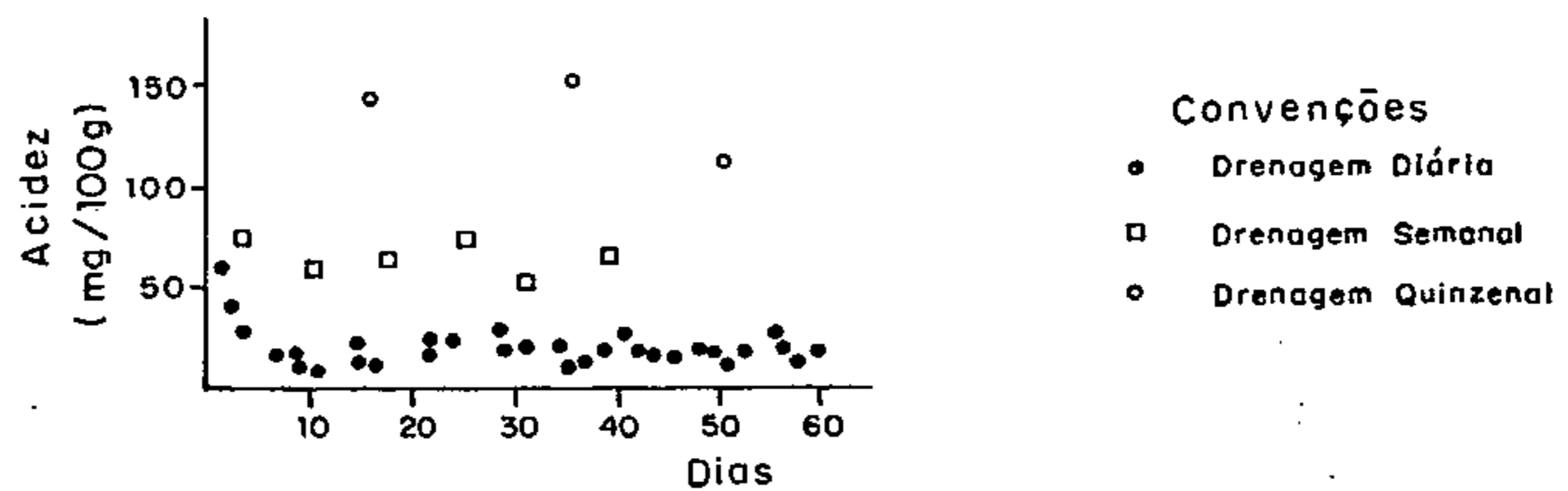


Figura 8.12.5 - Acidez gerada entre duas drenagens consecutivas em função do intervalo entre as drenagens. (Ver figura 8.12.3).

Quanto maior o intervalo de tempo entre as drenagens tanto maior será a acidez delas. Isto reflete o fato de que a geração de acidez não é limitada por fatores de solubilidade. Enquanto houver oxigênio e umidade disponíveis a geração de acidez continuará e a drenagem levará quantidades crescentes de ácido.

Como a geração de ácido é contínua, a acidez acumulada não depende do intervalo entre as drenagens, como vemos na figura 8.12.6

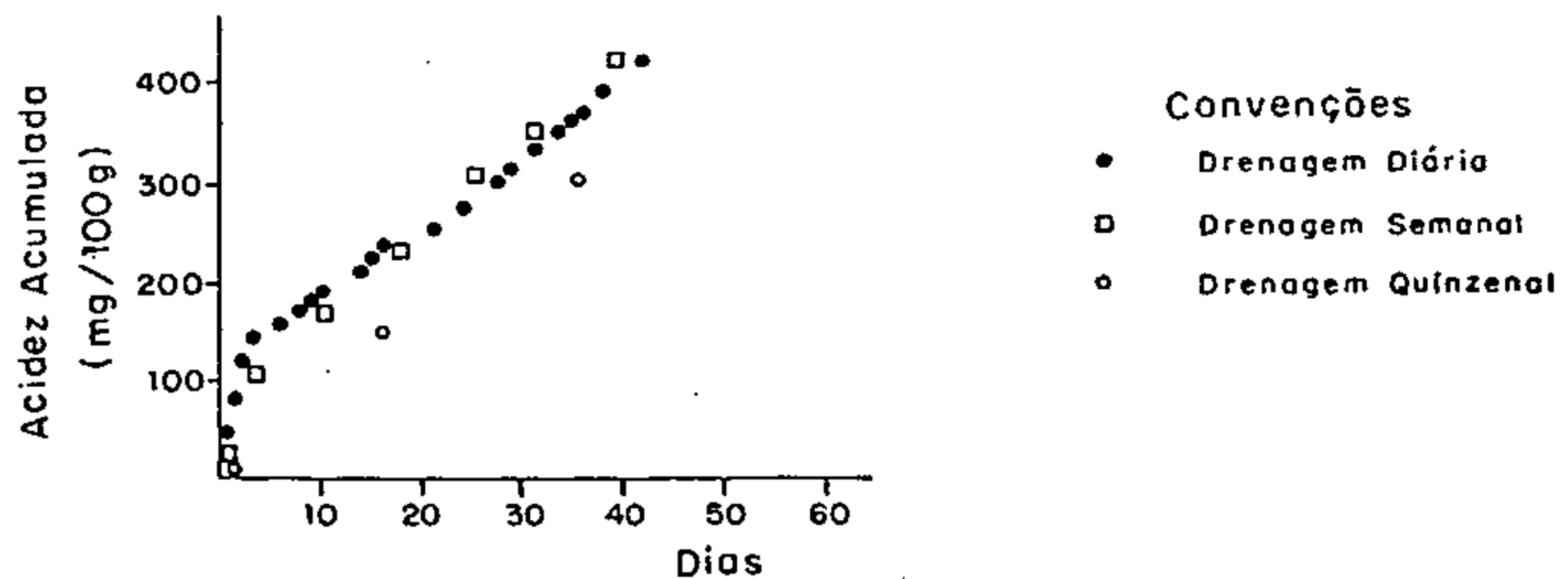


Figura 8.12.6 - Acidez acumulada gerada em pilha de carvão em função do intervalo entre as drenagens (Ver figura 8.12.4).

Em termos práticos, isto significa que após um longo período de estiagem a primeira chuva arrasta uma grande quantidade de ácido e metais, poluindo recursos hídricos escassos devido à seca. Na época de chuvas, o arraste de ácido é menor pelo pequeno intervalo entre as drenagens e sua importância poluidora é pequena pois os rios estão cheios. Ou seja, quando mais as águas subterrâneas são necessárias maior é o potencial poluidor dos rejeitos piritosos.

Na figura 8.12.7 constatamos, mais uma vez, a importância da presença de oxigênio na geração de ácido em rejeito piritoso. Quando um rejeito extremamente ácido é lavado com água neutra, inicialmente, o pH da drenagem é baixo, mas ele sobe a medida em que o ácido é lavado. No meio do experimento a drenagem é suspensa e o rejeito é aerado inicialmente por 1 dia e após uma lavagem é aerada por mais 7 dias. Observa-se, de imediato, que o efeito da aeração é oxidar a pirita e produzir ácido sulfúrico, o que é verificado pela queda no pH da drenagem e pelo aumento do teor de ferro.

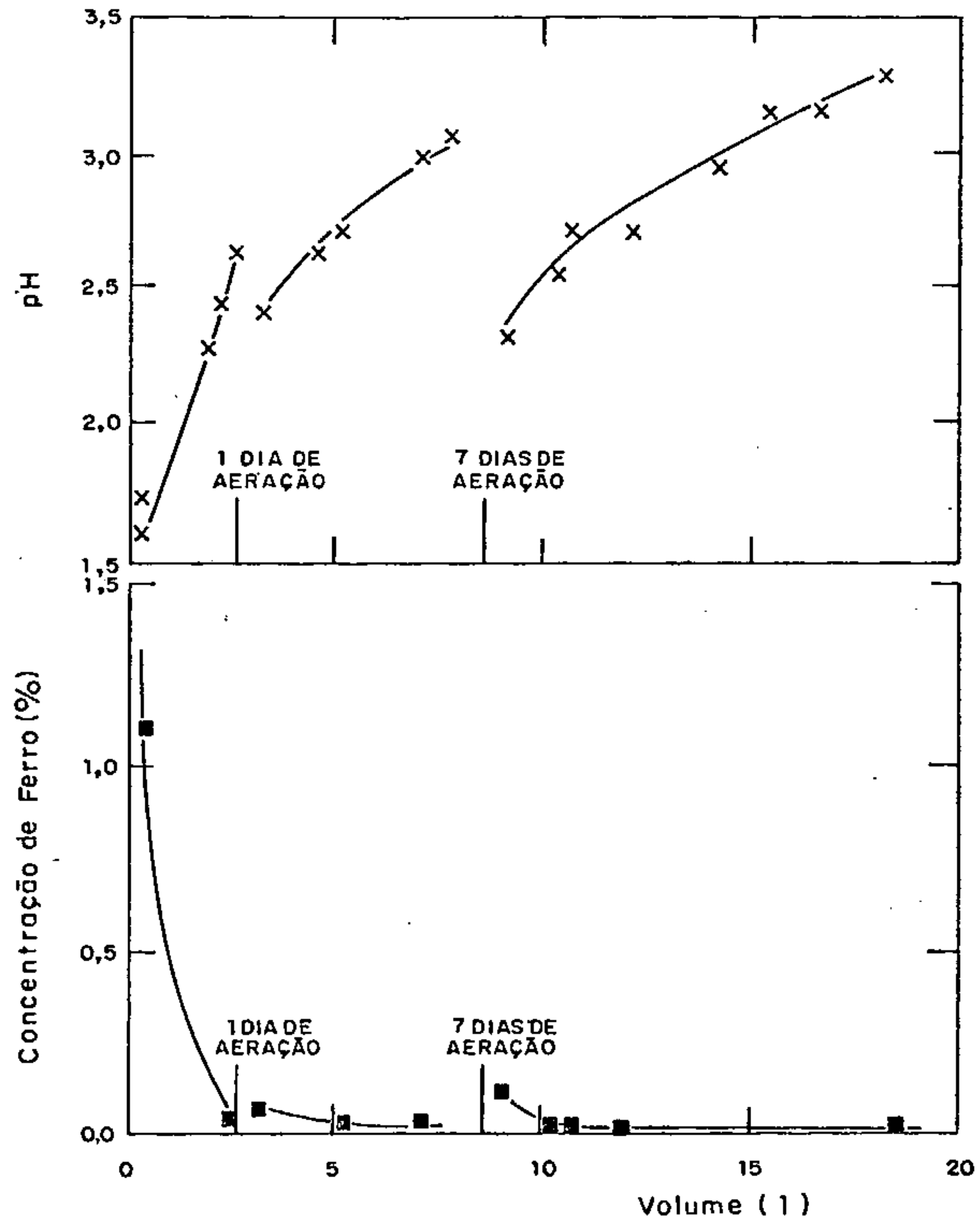


Figura 8.12.7 - Efeito da aeração de rejeitos piritosos sobre o pH e a concentração de ferro da drenagem. (Testes de simulação em laboratório).

8.12.5 - Testes de Lixiviação com Carvão Brasileiro

Dentro do objetivo geral deste estudo a FUNDATEC construiu um laboratório para simular o efeito das intempéries sobre a qualidade da drenagem do carvão e seus rejeitos. Com isto, será possível prever o impacto ambiental da mineração e tomar medidas preventivas já durante a fase de planejamento da mina.

O simulador de lixiviação consiste de uma coluna de plástico inerte dentro da qual o carvão ou seus rejeitos são colocados. Para acelerar o processo natural de lixiviação, a coluna é submetida a um fluxo contínuo de ar umidificado. A quantidade de oxigênio presente, desta forma, é muito superior à disponível na natureza durante o mesmo tempo, vindo daí a aceleração do processo.

O fluxo de ar é gerado num pequeno compressor. A seguir, é aquecido e passa por uma câmara de umidificação. O ar umidificado é, então, introduzido na coluna de rejeitos.

Após determinado tempo de aeração, a coluna é lavada com água destilada, simulando-se o processo de percolação e drenagem das águas naturais. O efluente desta drenagem foi analisado no LAMIN da CPRM e os resultados aparecem a seguir.

Em geral, a drenagem teve um volume de 500 ml. Quando o volume foi maior os resultados foram corrigidos para 500 ml. A concentração de elementos lixiviados foi normalizada para microgramas por litro de efluente por kg de carvão ou rejeito percolado.

Inicialmente, a determinação de metais era realizada na drenagem filtrada, o que implica ape-

nas nos metais totalmente solubilizados. Posteriormente, a análise foi estendida para os sólidos em suspensão que acompanham a drenagem, pois estes sólidos também contaminam os recursos hídricos e são um indicativo das concentrações aproximadas dos metais no carvão e nos rejeitos.

8.12.6 - Lixiviação de Carvões de Santa Catarina

Carvões de 3 minas de Siderópolis, SC, foram submetidos a testes de lixiviação: Morozini, mina a céu aberto pertencente à Cia. Próspera; Esperança, mina subterrânea pertencente à Cia. Metropolitana e Beluno, mina de encosta pertencente à Cia Próspera. Os resultados dos testes de lixiviação aparecem no quadro 8.12.4.

Quadro 8.12.4 - Testes de lixiviação com carvões de Santa Catarina (Concentrações de metais em microgramas/litro/kg de carvão)

Mina	Morozini			Esperança			Beluno		
teor de enxofre (%)	20,4			8,6			16,2		
teor de cálcio (%)	0,02			0,39			0,12		
tempo de aeração (dias)	3	6	10	3	6	10	3	6	10
pH da drenagem	2,9	2,9	2,5	7,4	7,2	6,8	4,3	3,3	2,7
Cu	24	12	17	2	3	1	3	5	8
Pb	72	30	11	4,5	8	4	18	22	20
Zn	1850	1250	4500	4	41	1150	75	120	3300
Cd	35	22	46	1	1	1	1	1	6
Be	1	1	2	1	1	1	1	2	2
Fe	12100	51000	170000	38	8300	1600	21000	250000	200000
Mn	18	18	200	540	1400	1100	1250	1250	1500

Observa-se de imediato a influência do intervalo entre as drenagens sobre o pH da mesma. Quanto maior o tempo de aeração menor o pH do efluente da drenagem (mais ácido). No caso da mina Esperança, o menor teor de enxofre e a presença de 0,4% de cálcio faz com que a drenagem seja alcalina para pequenos tempos de aeração. Para tempos maiores, pequenos focos de acidez conseguem desenvolver-se no carvão, neutralizando o efluente alcalino e dando início ao processo de acidificação.

A lixiviação de metais segue o mesmo padrão observado em outros países, ou seja, quanto mais ácida a drenagem, maior o teor de metais lixiviados. Para o carvão da mina Esperança, enquanto o efluente é alcalino o teor de metais é insignificante. Quando o efluente acidifica, os metais já põem em perigo os mananciais hídricos.

Para avaliar o perigo representado pela lixiviação de cada metal foi comparada sua concentração na lixiviação com a concentração máxima recomendada. Esta comparação tem valor apenas indicativo, pois a lixiviação representa a solubilização do metal num volume limitado de efluente. Se o mesmo volume de rejeitos for drenado por um volume maior de efluente a concentração dos metais será menor. A comparação, no entanto, nos permite identificar os metais que, em relação a todos os medidos, maior perigo representam devido ao alto valor (relativo) da razão concentração na drenagem/concentração máxima permitida.

As concentrações de cobre na drenagem são baixas assim como as concentrações de chumbo e berílio. Em relação ao cádmio, as concentrações no efluente da mina Morozini são altas, indicando alto potencial poluidor. As concentrações de ferro e manganês também estão bem acima dos valores considerados aceitáveis, prevendo-se gosto desagradável na água e outros efeitos estéticos tais como manchas

nas roupas e lama vermelha no fundo dos rios. Na mina Esperança, estes efeitos serão bem menores devido à pequena acidez da drenagem. As concentrações de zinco são altas mas abaixo do máximo permitido.

A análise microscópica dos carvões revelou a existência de blocos massivos de pirita mas com a superfície coberta de microcristais de pirita com tamanho inferior a 1 micron. Atribui-se a estes cristais a oxidação do enxofre nas amostras.

8.12.7 - Lixiviação de Rejeitos de Lavadores de Carvão

Foram submetidos a testes de lixiviação 3 amostras de rejeitos dos lavadores de carvão: Siderópolis e Volta Redonda (jigue 1 e jigue 2). As amostras foram recolhidas na saída dos lavadores, antes de serem jogados no meio ambiente. Os resultados destes testes de lixiviação estão representados no quadro 8.12.5.

Quadro 8.12.5 - Testes de lixiviação com rejeitos de lavadores. Concentrações de metais em solução em micrograma/litro/kg de rejeitos

Lavador	Siderópolis		Volta Redonda (jigue 1)		Volta Redonda (jigue 2)	
	10	20	10	20	10	20
Tempo de aeração (dias)	10	20	10	20	10	20
pH da drenagem	4,0	3,0	4,2	3,4	3,7	3,1
Acidez (eq. CaCO ₃)	31.200	70.300	12.500	41.300	17.800	76.500
Metais em solução						
Cu	10	4	8	2	9	1
Pb	4,5	3	5	5	4	2
Zn	390	880	600	830	320	900
Cd	1	1	1	1	1	1
Be	2	3	1	2	1	2
Fe	21000	112000	9100	42000	23500	68000
Mn	330	1100	220	430	350	770

Os resultados indicam, novamente, que quanto maior o tempo de aeração maior é a acidez gerada. Dos metais analisados somente o ferro e o manganês representam perigo para os recursos hídricos.

É interessante notar que a concentração de metais em solução pouco tem a ver com o teor destes metais nos sólidos em suspensão que acompanham a drenagem. Nos sólidos em suspensão, os teores de chumbo e zinco são praticamente iguais (100 ppm), mas a concentração de chumbo em solução é 100 vezes menor do que o de zinco.

Metais tóxicos também foram analisados nos sólidos em suspensão que acompanham a drenagem. Os valores são aproximadamente iguais para os 3 rejeitos. Os resultados são apresentados no quadro 8.12.6.

Quadro 8.12.6 - Concentrações de metais nos sólidos em suspensão na drenagem de rejeitos de lavadores de Siderópolis e Volta Redonda (ppm)

	1ª Aeração (pH 3,7-4,2)	2ª Aeração (pH 3,0-3,4)
Cu	18-40	50-70
Pb	85-140	100-110
Zn	70-160	350-980
Cd	5-7,5	5
Be	2-3	2-3
Fe (%)	2,5-3,1	3,8-10
Mn	25-30	45-65
B	50	15-50
As	84-115	77-140

Dois fatos devem ser notados: as concentrações de zinco, ferro e manganês aumentam com a acidez

e, talvez mais importante, os sólidos possuem teores relativamente altos de arsênio. Infelizmente, o arsênio não foi medido no efluente da drenagem mas é de prever que ele representa um perigo potencial para o meio ambiente.

8.12.8 - Influência da Altura da Pilha de Rejeitos sobre a Lixiviação de Metais

Um fator importante que é desconsiderado na literatura é a influência da altura da pilha de rejeitos sobre a lixiviação dos metais. Exemplificando: dados 2 m³ de rejeitos, a quantidade de ácido gerada em uma semana é constante, independente da forma da pilha. Se ela for disposta com 2 m² de área horizontal, a drenagem percorrerá 1m de rejeitos antes de atingir o subsolo. Se a pilha tiver 1 m² de área, a drenagem percorrerá 2m antes de atingir o subsolo e conseqüentemente captará mais ácido, terá um pH menor e solubilizará mais metais. É claro que o pH final da água subterrânea será o mesmo pois temos quantidades fixas de água e ácido, mas no 2º caso parte da água percolou fora da pilha e parte da água percola na pilha, criando momentaneamente um efluente extremamente ácido que solubiliza metais que no final continuarão em solução. O efeito da altura da pilha dos rejeitos sobre a qualidade da drenagem e mostrado no quadro 8.12.7.

Para simular esta situação, o rejeito do lavador de Siderópolis foi drenado após 1 semana de aeração. Esta drenagem foi preservada e serviu de líquido percolante após mais uma semana de aeração dos rejeitos. Agrosso modo, o efluente final é o mesmo obtido se a drenagem percorresse uma coluna de 2 metros aerada durante uma semana, sempre mantendo a mesma seção para as colunas.

Quadro 8.12.7 - Efeito da altura da pilha dos rejeitos sobre a qualidade da drenagem. Concentrações de metais em microgramas/litro de drenagem/kg de rejeito. Rejeito do lavador de Siderópolis

Altura da coluna	1	2m
pH da drenagem	3,0	2,2
Acidez (eq. CaCO_3)	32.000	85.000
Cu	4	8
Pb	3	2
Zn	880	1600
Cd	1	2
Be	3	1
Fe	112000	220000
Mn	1100	1500
B	50	15
As	25	161

Confirma-se, então, a hipótese de que depósitos de rejeitos com grande profundidade são mais propensos a causar contaminação dos recursos hídricos do que os depósitos mais rasos. Os depósitos fundos tem a vantagem de permitir um melhor controle das drenagens superficiais e, no caso de depósitos bem planejados, eles são preferidos.

8.12.9 - Lixiviação de Rejeitos Depositados há 5 anos em Siderópolis

Rejeitos de 5 anos da região de Siderópolis também foram submetidos a testes de lixiviação. A fim de aumentar o grau de lixiviação reproduziu-se a técnica utilizada no capítulo anterior, utilizando a drenagem anterior como líquido percolante após nova aeração. Os resultados destes testes são mostrados no quadro 8.12.8.

Quadro 8.12.8 - Lixiviação de rejeitos de 5 anos. Concentrações de metais em microgramas/l/kg de rejeito

	Amostra 1		Amostra 2	
	1m	2m	1m	2m
Altura da camada	1m	2m	1m	2m
pH da drenagem	1,5	1,3	1,8	1,6
Acidez (eq. CaCO ₃)		585.000		145.000
Cu		320		90
Pb		3		2
Zn		800		750
Cd		1		1
Be		1		1
Fe		790000		110000
Mn		350		90
B		15		15
As		15		9

Neste teste, o cobre também apareceu como contaminante que deve ser monitorado no meio ambiente, ao lado do ferro e do manganês. Chumbo, cádmio, berílio, boro e arsênio não apresentam teores preocupantes.

As amostras de rejeitos de 5 anos apresentaram características bastante diferentes das demais. A análise elementar das amostras mostrou baixo teor de enxofre (1,6%), de cálcio (0,3%), de magnésio (0,23%) e de sódio (0,23%). No entanto, a drenagem é bastante ácida. O exame microscópico das amostras mostrou a inexistência de pirita visível, mas revelou a existência de crostas de sulfatos mesmo no interior do rejeito. Neste caso, a acidez da drenagem deveu-se aparentemente à presença de sulfatos. A pura análise química da amostra levaria a crer que a drenagem seria neutra ou pouco ácida, o que é contrariado pelos testes de simulação e por medidas realizadas em Siderópolis.

Uma explicação para o fenômeno é de que originalmente, o enxofre destes rejeitos estava na forma de marcassita, bastante freqüente em Santa Catarina. Ao ser exposto ao ar úmido da região, a marcassita oxida-se rapidamente (questão de horas) transformando-se em sulfatos ferroso e férrico. Estes sulfatos ao hidrolizarem-se e sob a ação do oxigênio liberam ácido sulfúrico enquanto o ferro precipita na forma trivalente. O exame microscópico do sulfato revelou cristais característicos da oxidação da pirita-marcassita.

8.12.10 - Lixiviação de Rejeitos de 20 anos de Siderópolis

Rejeitos depositados há 20 anos na região de Siderópolis também foram submetidos a testes de lixiviação. A altura da coluna de aeração é equivalente a 2 metros. Os resultados dos testes de lixiviação estão representados no quadro 8.12.9.

Quadro 8.12.9 - Lixiviação de rejeitos de 20 anos de Siderópolis. Concentrações de metais em microgramas/l/kg de rejeitos.

	Amostra 1	Amostra 2
teor de enxofre (%)	19,8	6,7
teor de cálcio (%)	0,03	0,07
teor de magnésio (%)	0,12	0,25
pH da drenagem	1,2	1,6
Cu	150	270
Pb	160	6
Zn	380	800
Cd	1	1
Be	1	1
Fe	350000	310000
Mn	44	750
B	15	15

Neste caso, pelo alto teor de enxofre e baixo teor de álcalis já seria de esperar uma drenagem bastante ácida. Novamente, os metais que podem contaminar o ambiente são o ferro, o zinco e o manganês. O cobre, o cádmio, o chumbo, o boro e o berílio aparecem em pequenas concentrações, não sendo prioritários na drenagem destes rejeitos.

A análise microscópica das amostras revelou a existência de piritas framboidais, responsáveis pela geração do ácido sulfúrico.

8.13 - HIDROQUÍMICA

8.13.1 - Generalidades

O estudo do comportamento hidroquímico das águas subterrâneas na área de Siderópolis foi orientado no sentido de reunir dados que possibilitassem a determinação da qualidade das águas em relação ao consumo humano, animal e para irrigação.

Durante os trabalhos de campo foram coletadas 44 amostras, sendo 06 em poços tubulares, 28 em poços escavados e 10 em nascentes. Segundo a litologia, foram coletadas 03 amostras em poços escavados e 04 amostras em nascentes nas rochas fissuradas (Formação Serra Geral). Na área abrangida pelas rochas sedimentares (Formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e Quaternário Indiviso) foram coletadas 06 amostras em poços tubulares, 25 amostras em poços escavados e 06 amostras em nascentes.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Análises Químicas Ltda (Porto Alegre-RS), sendo feitas as seguintes determinações: alcalinidade, acidez, resíduo seco a 110°C e constituintes principais (mg/l) Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{++} , ferro total, HCO_3^- , CO_3^{--} , Cl^- e SO_4^{--} .

O pH e a condutividade elétrica foram determinados *in loco* durante os trabalhos de campo utilizando-se o medidor de pH Metronic "ES-B2" e o condutivímetro Antar S/01. Os valores de condutividade foram corrigidos para a temperatura de 25°C através de fatores de conversão fornecidos pelo manual do aparelho, para temperaturas da água, no intervalo de 10 a 31°C, medidas no intervalo da coleta.

Os resultados das análises forneci-

dos em miligramas por litro (mg/l) são apresentados no Catálogo Geral de Pontos de Água (2) (anexo I.2). Para interpretação desses resultados, quando necessário, procedeu-se à conversão em miliequivalentes por litro (meq/l) utilizando-se fatores de conversão (Logan, 1965), obtidos calculando-se os recíprocos dos pesos químicos equivalentes dos íons, baseados nos Pesos Atômicos Internacionais de 1957. O miliequivalente é representado pela letra r (Castany, 1971).

Do total de 44 amostras analisadas, foram considerados os resultados de 37 amostras sendo eliminados 07 resultados que apresentaram erros fora dos limites do erro permissível (Logan, op.cit.).

8.13.2 - Características Químicas das Águas

No conjunto de amostras analisadas observa-se que o cloreto (40,5%) predomina sobre o bicarbonato (27,0%) e o sulfato (6,2%) e em relação aos cátions nota-se uma ligeira predominância do cátion sódio (27,0%) sobre os demais.

Os resultados das análises mostram que, no geral, apenas 32,4% das águas amostradas possuem condutividade elétrica inferior a 100 micromhos/cm, sendo o valor médio de 425,6 micromhos/cm. No mapa de condutividade (anexo III.5), obtido utilizando-se os valores medidos em todos os pontos cadastrados referentes a poços tubulares, poços escavados e nascentes, verifica-se, pela disposição das curvas de isovalores, uma concentração de valores elevados nas áreas de mineração de carvão (sul de Treviso e oeste de Siderópolis). Estas áreas destacam-se do restante da área estudada que apresenta valores mais baixos.

As águas apresentam um certo grau de salinização e o resíduo seco médio é de 412,8 mg/l. No quadro

8.13.1, onde está representada a distribuição de frequência dos resíduos secos, observa-se que 89,2% das amostras apresentam um valor de resíduo seco inferior a 300 mg/l e apenas 10,8% estão acima de 500 mg/l.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS

RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	24	64,9	64,9
100 - 200	5	13,5	78,4
200 - 300	4	10,8	89,2
300 - 400	0	0,0	89,2
400 - 500	0	0,0	89,2
500	4	10,8	100,0

Quadro 8.13.1

No mapa de isovalores de condutividade elétrica (anexo III.5) verifica-se, pela disposição das curvas, que os valores mais elevados estão relacionados às áreas de mineração de carvão, a leste de Siderópolis e a norte e sul de Treviso.

Em relação ao pH, as águas procedentes de poços tubulares variam de ácidas a neutras (3,1 a 7,0), as de poços escavados variam de ácidas a alcalinas (3,8 a 7,3) ao passo que as de nascentes variam de ácidas a quase neutras (4,3 a 6,3). Apenas 5,4% dos valores são superiores a 7,0, sendo 7,3 o valor máximo e 3,1 o valor mínimo.

Na confecção do mapa de isovalores de pH foram utilizados os valores obtidos em todos os pontos cadastrados relativos a poços tubulares, poços escavados e nascentes. Esse mapa mostra que os valores mais baixos, indicam

do portanto águas ácidas, ocorrem nas áreas de mineração de carvão.

A dureza, expressa em miligramas por litro de CaCO_3 ou em graus franceses ($^\circ\text{F}$) e calculada pela fórmula: $D = (\text{Ca}/20 + \text{Mg}/12) \cdot 50$ (Custódio, 1976) com os valores de cálcio e magnésio em miligramas por litro, mostra um valor médio de 89,1 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 8,9 $^\circ\text{F}$. Segundo a classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 8.13.2), 86,5% das águas são classificadas como "muito moles", 2,7% são águas "moles", 2,7% são "algo duras" e 8,1% são "muito duras".

CLASSIFICAÇÃO DE DUREZA DE KLUT OLSZEWSKI

Dureza até 7 $^\circ\text{F}$	água "muito mole"
Dureza de 7 a 12 $^\circ\text{F}$	água "mole"
Dureza de 12 a 20 $^\circ\text{F}$	água "algo dura"
Dureza 20 $^\circ\text{F}$	água "muito dura"
(1 $^\circ\text{F}$ = 10 mg/l de CaCO_3)	

Quadro 8.13.2

A acidez (expressa em mg/l de CaCO_3) possui um valor médio de 97,5 mg/l de CaCO_3 . Cerca de 56,8% das amostras apresentam valores inferiores a 50 mg/l e 21,6% estão acima de 100 mg/l.

O mapa de isovalores de acidez mostra uma situação idêntica à do mapa de condutividade, pois as curvas evidenciam os valores mais elevados exatamente nas áreas de mineração de carvão.

No que diz respeito à alcalinidade (também expressa em mg/l de CaCO_3), na área de estudo é pou-

co expressiva, pois depende dos íons carbonato e bicarbonato que são suplantados pelo íon sulfato, propiciando a ocorrência de acidez. Dos 11 valores considerados, 81,8% são inferiores a 50 mg/l e apenas 9,1% ultrapassam 100 mg/l.

8.13.2.1 - Rochas Fissuradas

Na área abrangida pelas rochas da Formação Serra Geral, onde foram coletadas 07 amostras, a condutividade elétrica apresenta um valor médio de 93,6 micro-mhos/cm e baixo grau de salinização com resíduo seco médio de 57,7 mg/l.

Em relação ao pH, as águas amostradas variam de ácidas a alcalinas (4,9 a 7,3) sendo 5,8 o valor médio.

Os valores de dureza são baixos e o valor médio é de 20,4 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 2,0 $^\circ\text{F}$. Pela classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 8.13.2) as 07 amostras consideradas são de águas "muito moles". A acidez apresenta um valor médio de 34,6 mg/l de CaCO_3 .

8.13.2.1.1 - Composição Química das Águas

Para determinar os tipos químicos das águas amostradas utilizou-se o diagrama de Piper (Custódio, op.cit.) (fig.8.13.1), onde foram plotados os percentuais dos miliequivalentes de cátions e ânions, obtendo-se os seguintes grupos e subgrupos químicos apresentados no quadro 8.13.3.

TIPOS QUÍMICOS DE ÁGUAS

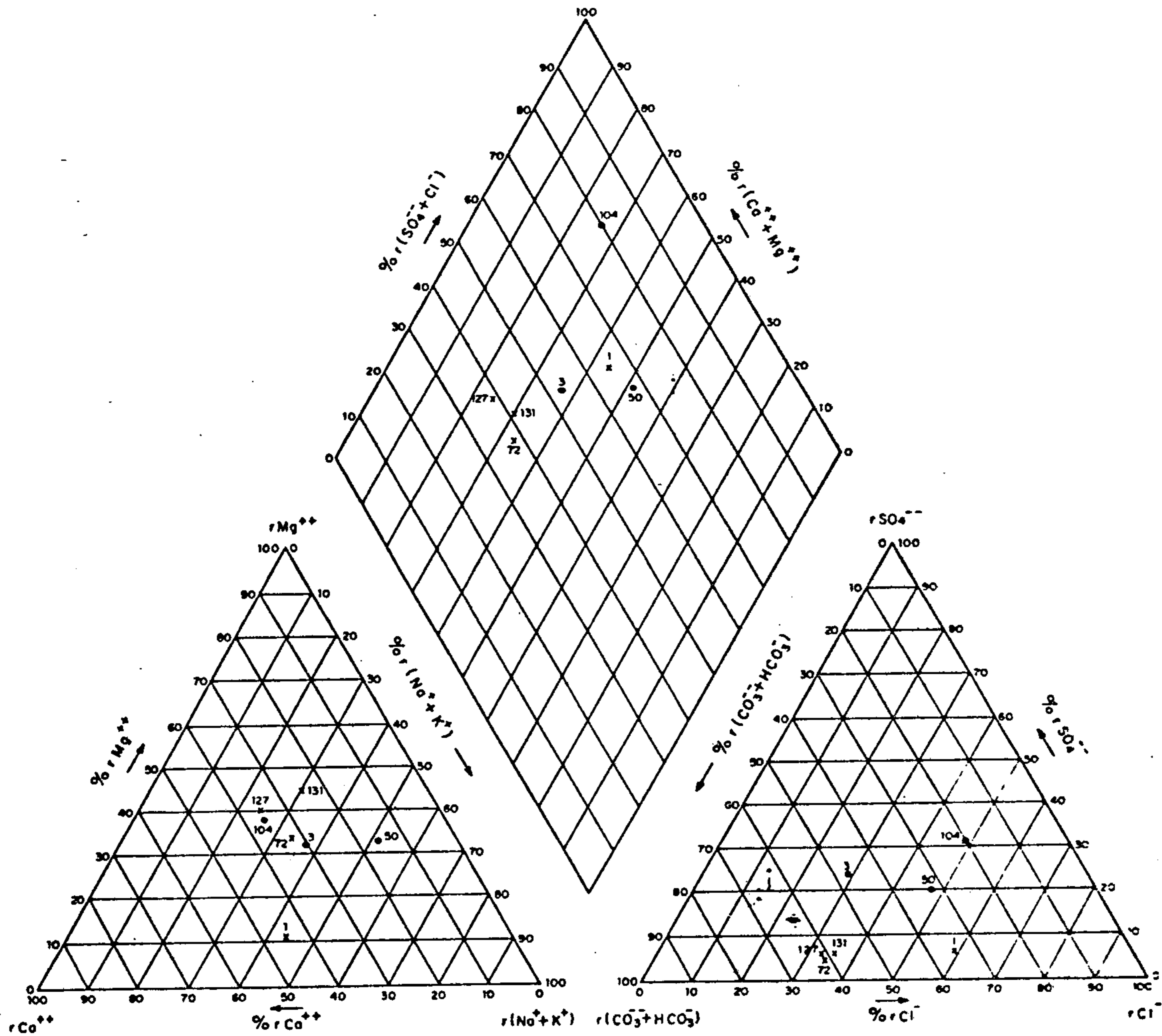
GRUPOS E SUBGRUPOS	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
ÁGUAS BICARBONATADAS		
Bicarbonatada magneso-sódica	2	28,5
Bicarbonatada magneso-cálcica	1	14,3
ÁGUAS BICARBONATADAS CLORETADAS		
Bicarbonatada cloret.sódio-magnesiana	1	14,3
ÁGUAS CLORETADAS		
Cloretada calco-sódica	1	14,3
ÁGUAS CLORETADAS BICARBONATADAS		
Cloretada bicarbonatada sódica	1	14,3
ÁGUAS CLORETADAS SULFATADAS		
Cloret.sulfatada magneso-cálcica	1	14,3
T O T A I S	7	100,0

Quadro 8.13.3

8.13.2.2 - Rochas Sedimentares

Na área abrangida pelas rochas sedimentares, incluindo-se nesse conjunto os sedimentos recentes do Quaternário Indiviso, foram coletadas 37 amostras. Na elaboração desse estudo foram eliminadas 7 amostras por apresentarem erros acima do limite permissível (Logan, op.cit.).

Para a condutividade elétrica, apenas 23,3% das águas amostradas apresentam valores inferiores a 100 micromhos/cm e o valor médio é de 503,1 micromhos/cm. Essas águas com um resíduo seco médio de 488,6 mg/l apresentam uma certa salinização. A distribuição percentual dos valores de resíduo seco, mostrada no quadro 8.13.4, indica que



LEGENDA

- x Nascente
- Poço escavado

DNPM
DEPARTAMENTO NACIONAL
DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS
DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

DIAGRAMA DE PIPER
FORMAÇÃO SERRA GERAL
ÁREA DE SIDERÓPOLIS



CPRM

86,7% das amostras estão abaixo de 300 mg/l e apenas 13,3% estão acima de 500 mg/l.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS

RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	17	56,7	56,7
100 - 200	5	16,7	73,4
200 - 300	4	13,3	86,7
300 - 400	0	0,0	86,7
400 - 500	0	0,0	86,7
> 500	4	13,3	100,0

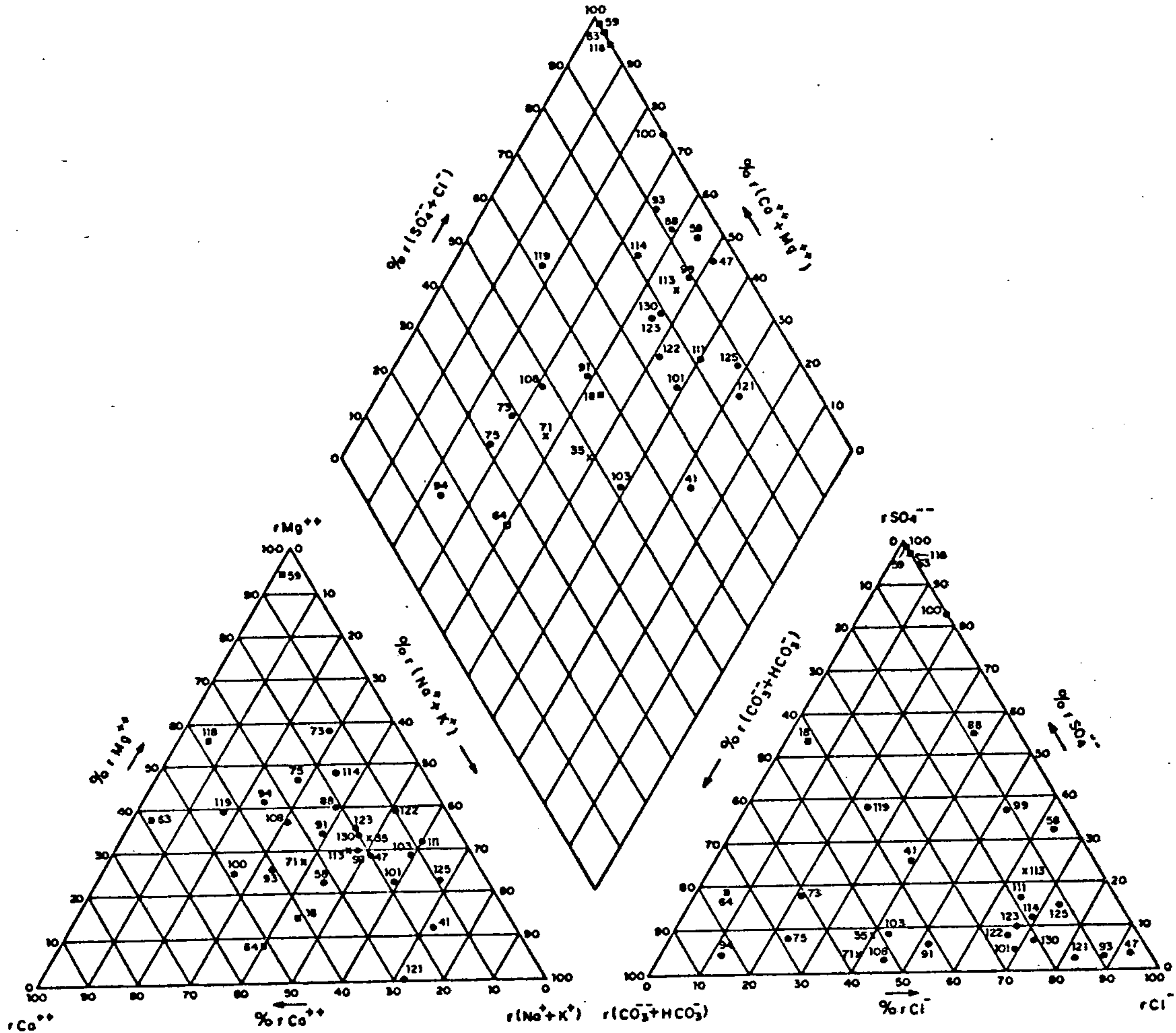
Quadro 8.13.4

O pH mostra águas que variam de ácidas a alcalinas (3,1 a 7,1) e um pH médio de 5,1. Apenas 3,3% dos valores são superiores a 7,0.

No caso da dureza o valor médio é de 104,8 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 10,5°F. Segundo a classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 8.13.2, item 8.13.2), 83,3% das águas são classificadas como "muito moles", 3,3% são "moles", 3,3% são "algo duras" e 10,0% são "muito duras".

Para a acidez, o valor médio é de 160,5 mg/l de CaCO_3 . Verifica-se que 53,3% das amostras apresentam valores inferiores a 50 mg/l e 30,0% são superiores a 100 mg/l.

No caso da alcalinidade foram determinados apenas 11 valores. O valor médio é de 27,6 mg/l de CaCO_3 , 81,8% das amostras são inferiores a 50 mg/l e apenas 9,1% ultrapassam 100 mg/l.



LEGENDA

- Nascente
- Poço escavado
- Poço tubular

DNPM
DEPARTAMENTO NACIONAL
DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS
DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

DIAGRAMA DE PIPER
ROCHAS SEDIMENTARES
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

8.13.2.2.1 - Composição Química das Águas

Através do diagrama de Piper (Custódio, op.cit.) (fig. 8.13.2), foram determinados os tipos químicos (grupos e subgrupos) das águas amostradas plotando-se os percentuais dos miliequivalentes de cátions e ânions. No quadro 8.13.5 são apresentados os grupos e subgrupos determinados, além do número de amostras de cada subgrupo e a frequência relativa.

TIPOS QUÍMICOS DE ÁGUAS

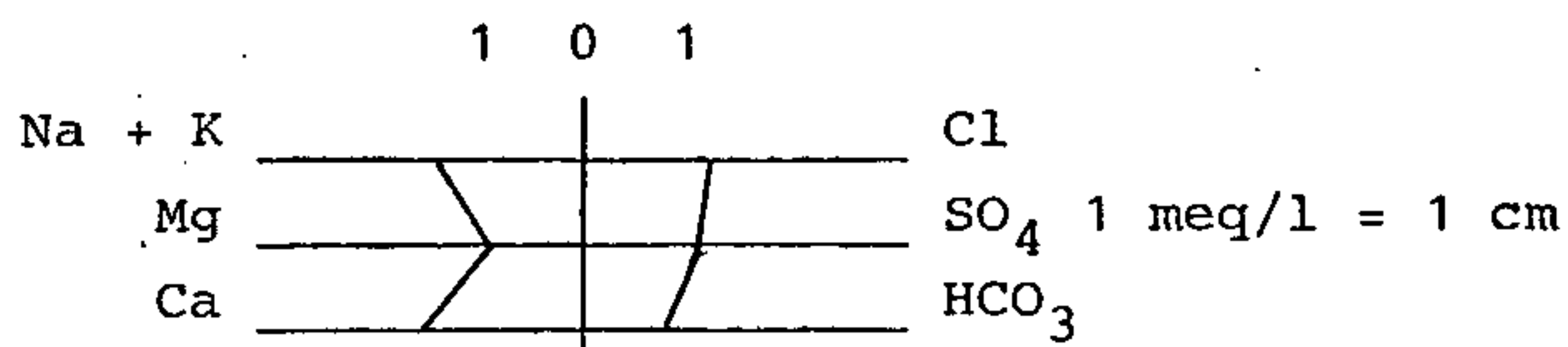
GRUPOS E SUBGRUPOS	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
ÁGUAS BICARBONATADAS		
Bicarbonatada magneso-cálcica	2	6,70
Bicarbonatada magnesiana	1	3,33
Bicarbonatada sódio-magnesiana	1	3,33
Bicarbonatada magneso-sódica	1	3,33
Bicarbonatada sódica-cálcica	1	3,33
Bicarbonatada cálcica	1	3,33
ÁGUAS BICARBONATADAS CLORETADAS		
Bicarbonatada cloretada sódica	1	3,33
ÁGUAS CLORETADAS		
Cloretada sódica	6	20,00
Cloretada sódio-magnesiana	5	16,65
Cloretada sódio-cálcica	1	3,33
Cloretada calco-sódica	1	3,33
Cloretada magneso-sódica	1	3,33
ÁGUAS CLORETADAS BICARBONATADAS		
Cloretada bicarbonatada sódica	1	3,33
ÁGUAS SULFATADAS		
Sulfatada magnesiana	2	6,70
Sulfatada cálcica	1	3,33
Sulfatada magneso-sódica	1	3,33
Sulfatada sódio-cálcica	1	3,33
Sulfatada calco-sódica	1	3,33
ÁGUAS SULFATADAS BICARBONATADAS		
Sulfatada bicarbonatada calco-magnes.	1	3,33
T O T A I S	30	100,00

Quadro 8.13.5

8.13.3 - Diagramas de Stiff

Através dos diagramas de Stiff (Custódio, op.cit.) é possível fazer-se uma representação plana das características químicas e dos diferentes tipos de água.

O diagrama é obtido plotando-se os valores, em miliequivalentes por litro, dos cátions Ca, Mg, Na + K e ânions Cl, SO₄, HCO₃ em três eixos horizontais e unindo-se os pontos obtém-se uma figura conforme mostrada abaixo:



Para a área de Siderópolis-SC os diagramas plotados no mapa hidroquímico (anexo III.9) mostram um aporte maior de sulfatos nos poços tubulares e poços escavados mais profundos localizados próximos ou em áreas de mineração de carvão, como pode ser verificado nos diagramas dos pontos 018, 059, 063, 100 e 118.

8.13.4 - Relações Iônicas e Índice de Troca de Bases

As relações existentes entre os íons dissolvidos em uma água podem estar relacionadas ao terreno de onde provém, indicar a ação de fenômenos modificadores ou destacar uma característica específica da água considerada. Essas relações são determinadas através dos valores em miliequivalentes por litro representados pela letra r.

Serão consideradas para esse estudo as relações r Mg/r Ca, r K/r Na, r Cl/r HCO₃, r SO₄/r Cl e o

Índice de troca de bases (itb) definido pela expressão:

$$\text{itb} = \frac{r \text{ Cl} - r(\text{Na} + \text{K})}{r \text{ Cl}}$$

cujos valores são mostrados no quadro 8.13.6.

Analisando essas relações e o "itb" para a área de Siderópolis-SC conclui-se que:

- A relação $r \text{ Mg}/r \text{ Ca}$ que apresenta os valores mais frequentes entre 0,3 e 1,5 para as águas continentais, na área em questão 54,1% dos valores estão entre esses limites mais frequentes.
- A relação $r \text{ K}/r \text{ Na}$ cujos valores podem variar de 0,001 a 1, mostra apenas um valor acima desse intervalo na área para um total de 37 valores.
- A relação $r \text{ Cl}/r \text{ HCO}_3$ que para as águas continentais está entre 0,1 a 5, apresenta na área 86,5% dos valores dentro desses limites.
- A relação $r \text{ SO}_4/r \text{ Cl}$, de comportamento semelhante à anterior, apresenta valores mais comuns entre 0,1 e 5 e na área 89,2% dos valores estão dentro desse intervalo.
- O índice de troca de bases (itb) na área em estudo varia de +0,6 a -13,0 o que indica águas pouco salinas. Nesta área os baixos valores apresentados são indicativos da existência de troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ com o abrandamento da água.

RELAÇÕES IÔNICAS
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

PONTO	rMg / rCa	rK / rNa	rCl / rHCO ₃	rSO ₄ /rCl	$\frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$ i.t.b.
001	0,2	0,2	1,7	0,1	+0,5
003	1,0	0,5	0,6	0,8	-0,3
018	0,3	0	0,1	13,2	-13,0
035	1,6	0,2	0,8	0,2	-0,4
041	0	0,2	1,1	0,7	-1,1
047	1,4	0,3	21,8	0	+0,3
050	1,9	0,4	1,4	0,4	0
058	0,7	3,9	14,0	0,5	+0,2
059	4,9	0,2	0,3	143,9	-1,8
063	0,1	0,1	0,6	59,8	-1,2
064	0,2	0	0,1	3,1	-5,9
071	0,8	0,1	0,7	0,1	+0,2
072	0,9	0,2	0,5	0,1	0
073	2,9	0,4	0,3	0,8	-0,6
075	1,8	0,1	0,3	0,3	0
088	1,9	0,4	4,1	1,5	+0,1
091	1,2	0,1	1,2	0,1	+0,1
093	0,6	0,2	10,3	0,1	+0,6
094	1,2	0,5	0,1	0,3	-1,2
099	1,2	0,2	4,6	0,7	-0,2
100	0,5	0,2	0,4	5,0	-0,5
101	1,2	0,1	2,7	0,1	-0,2
103	2,3	0,2	0,9	0,2	-0,4
104	0,8	0,1	2,5	0,6	+0,4
108	1,2	0,1	0,8	0,1	+0,2
111	3,5	0,4	3,4	0,2	-0,3
113	1,2	0,4	3,9	0,4	+0,2
114	2,3	0,3	3,6	0,2	+0,4
118	1,4	0,2	0,1	58,5	-1,7
119	0,9	0,2	0,6	1,6	+0,1
121	0	0,2	5,6	0	+0,3
122	3,9	0,4	2,6	0,1	0
123	1,7	0,4	2,9	0,2	+0,4
125	2,5	0,2	6,1	0,2	-0,2
127	1,1	0,1	0,5	0,1	+0,1
130	1,4	0,2	3,4	0,1	+0,3
131	1,3	0,1	0,6	0,2	0

8.13.5 - Avaliação dos Elementos Maiores e Menores na Água Subterrânea e Superficial

Nos depósitos de carvão sempre está presente uma série de metais, inclusive metais pesados, que normalmente estão associados à pirita e quando este mineral entra em processo de oxidação estes metais são liberados juntamente com o ferro.

Para averiguar a contaminação dos aquíferos através desses metais estes foram analisados nas 55 amostras de água coletadas na área sendo 06 em poços tubulares, 28 em poços escavados, 10 em nascentes, 10 em rios e 01 em lagoa. Foram analisados os seguintes elementos e metais pesados: ferro, cobre, chumbo, zinco, cobalto, cádmio, manganês, cromo, vanádio, alumínio, estrôncio e níquel. Os resultados de análise são apresentados na tabela 8.13.1.

O cálcio também aparece nessa tabela pelo motivo de atuar como inibidor da dissolução dos metais através de troca iônica e precipitação desses metais, verificando-se um abrandamento da contaminação nas amostras onde o valor de cálcio é mais elevado.

8.13.5.1 - Avaliação na Água Subterrânea

Analisando os valores apresentados pelas amostras coletadas em poços tubulares, poços escavados e nascentes, segundo os tipos de aquíferos que ocorrem na área, constatou-se o seguinte:

- No aquífero Serra Geral, onde foram coletadas 03 amostras em poços escavados e 04 em nascentes, verifica-se (tabela 8.13.1 onde são mostrados os resultados de análise), que os valores mínimos e máximos para cada elemento são os se-

guintes: ferro 0,3 e 2,0 mg/l, cobre $< 0,003$ e $0,005$ mg/l, chumbo $< 0,005$ e $0,005$ mg/l, zinco 0,01 e 0,03 mg/l, cobalto só valores menores que $0,003$ mg/l, cádmio $< 0,001$ e $0,001$ mg/l, manganês $< 0,001$ e $0,039$ mg/l, cromo $< 0,005$ e $0,005$ mg/l, vanádio só valores menores que $0,02$ mg/l, alumínio 0,08 e $0,71$ mg/l, estrôncio $0,004$ e $0,03$ mg/l e níquel só valores menores que $0,003$ mg/l.

Analisando esses valores frente aos limites máximos recomendáveis apresentados no quadro 7.1, que mostra os fatores indicativos de contaminação, verifica-se que o ferro apresenta em 42,8% das amostras valores acima do limite máximo recomendável e o manganês mostra 14,3% das amostras acima desse limite. Entretanto, esses teores de ferro mais elevados podem também estar relacionados aos minerais ferromagnesianos constituintes dos diabásios da Formação Serra Geral e não apenas aos rejeitos da mineração do carvão. Na figura 8.13.3 é feita uma representação gráfica dos valores críticos ocorrentes na área.

- Na área abrangida pela seqüência sedimentar, que representa os aquíferos de rochas sedimentares, foram coletadas 37 amostras sendo 06 em poços tubulares, 25 em poços escavados e 06 em nascentes.

A tabela 8.13.1, onde são apresentados os resultados de análise, fornece os valores mínimos e máximos para cada elemento que são os seguintes: ferro 0,1 e $2.200,0$ mg/l, cobre $< 0,003$ e $0,196$ mg/l, chumbo $< 0,005$ e $0,09$ mg/l, zinco $< 0,01$ e $6,0$ mg/l, cobalto $< 0,003$ e $0,75$ mg/l, cádmio $< 0,001$ e $0,004$ mg/l, manganês $< 0,001$ e $51,0$ mg/l, cromo $< 0,005$ e $0,12$ mg/l, vanádio $< 0,02$ e $0,26$ mg/l, alumínio $0,03$ e $530,0$ mg/l, estrôncio $0,007$ e $0,825$ mg/l e níquel $< 0,003$ e $0,625$ mg/l.

VALORES CRÍTICOS DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES - METAIS PESADOS

PONTO	001	003	007	013	017	018	026	027	035	040	041	047	050	054	058	059	063	064	066	068	071	072	073	075	076	078	083	086
TIPO	N	P	R	R	P	P	N	N	N	P	P	P	P	R	P	P	P	P	R	R	N	N	P	P	R	R	R	N
FERRO																												
COBRE																												
CHUMBO																												
ZINCO																												
COBALTO																												
CÁDMIO																												
MANGANÊS																												
CROMO																												
VANÁDIO																												
ALUMÍNIO																												
ESTRÔNCIO																												
NÍQUEL																												

PONTO	087	088	089	091	093	094	096	099	100	101	103	104	108	111	113	114	118	119	120	121	122	123	125	127	130	131	132
TIPO	R	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P	P	P	N	P	P	P	L	P	P	P	P	N	P	N	P
FERRO																											
COBRE																											
CHUMBO																											
ZINCO																											
COBALTO																											
CÁDMIO																											
MANGANÊS																											
CROMO																											
VANÁDIO																											
ALUMÍNIO																											
ESTRÔNCIO																											
NÍQUEL																											

N = NASCENTE

P = POÇO

R = RIO

L = LAGOA

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

FIG 8.13.3

Comparando esses valores com os limites máximos recomendáveis apresentados no quadro 7.1, que relaciona os fatores indicativos de contaminação, observa-se que o cádmio, o vanádio e o estrôncio apresentam valores que não ultrapassam esses limites. Para os demais elementos, o índice de contaminação nas amostras é o seguinte: ferro 37,8%, cobre 8,1%, chumbo 5,4%, zinco 40,5%, cobalto 24,3%, manganês 45,9%, cromo 2,7%, alumínio 16,2% e níquel 13,5%. Na figura 8.13.3 é feita a representação gráfica dos valores críticos para a área.

8.13.5.2 - Avaliação na Água Superficial

Na área de Siderópolis foram coletadas 10 amostras em rios e 01 amostra em lagoa, na área abrangida pelas rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados.

Na tabela 8.13.1 onde são apresentados os resultados de análise, os valores mínimos e máximos para cada elemento são os seguintes: ferro < 0,1 e 150,0 mg/l, cobre < 0,003 e 0,072 mg/l, chumbo < 0,005 e 0,025 mg/l, zinco < 0,01 e 1,82 mg/l, cobalto < 0,003 e 0,360 mg/l, cádmio < 0,001 e 0,002 mg/l, manganês 0,002 e 26,0 mg/l, cromo < 0,005 e 0,01 mg/l, vanádio < 0,002 e 0,02 mg/l, alumínio 0,06 e 66,0 mg/l, estrôncio 0,022 e 0,670 mg/l e níquel < 0,003 e 0,460 mg/l.

Analisando esses valores segundo os limites máximos recomendáveis mostrados no quadro 7.1, onde são mostrados os fatores indicativos de contaminação, verifica-se que o chumbo, o cádmio, o cromo, o vanádio e o estrôncio apresentam valores que demonstram a não contaminação das águas por esses elementos. Os demais elementos apresentam contaminação cujos percentuais são os seguintes: ferro, zinco, cobalto e manganês com 90,9% cada um, cobre 27,3%, alumínio

54,5% e níquel 81,8%. É necessário frisar que teores elevados de ferro podem também estar relacionados à alteração dos minerais ferromagnesianos pertencentes aos diabásios da Formação Serra Geral. Uma representação gráfica desses elementos com concentrações críticas é mostrada na figura 8.13.3.

8.13.6 - Qualidade das Águas para Consumo Humano

A determinação da qualidade das águas para consumo humano é realizada analisando-se suas características físicas, químicas e bacteriológicas. No presente estudo foram abordadas apenas as características físicas e químicas. A partir do conhecimento das características químicas pode-se determinar a potabilidade que diz se uma água é ou não adequada para o consumo da população.

Os padrões de potabilidade definidos por Schoeller (1955) (quadro 8.13.7) foram utilizados na determinação da potabilidade das águas amostradas. Este método considera os constituintes principais das águas Ca, Mg, Na, Cl e SO_4 além de resíduo seco e dureza (grau hidrométrico) em graus franceses ($^{\circ}F$), com teores em miligramas por litro. Utilizou-se também o diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff que além de Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 e dureza ($^{\circ}F$), considera também K, HCO_3 e pH (figura 8.13.4).

8.13.6.1 - Rochas Fissuradas

As 07 amostras coletadas na área abrangida pelas rochas da Formação Serra Geral não apresentam restrições quanto à potabilidade segundo os padrões estipulados por Schoeller (op.cit.) (quadro 8.13.7) para potabilidade permanente boa.

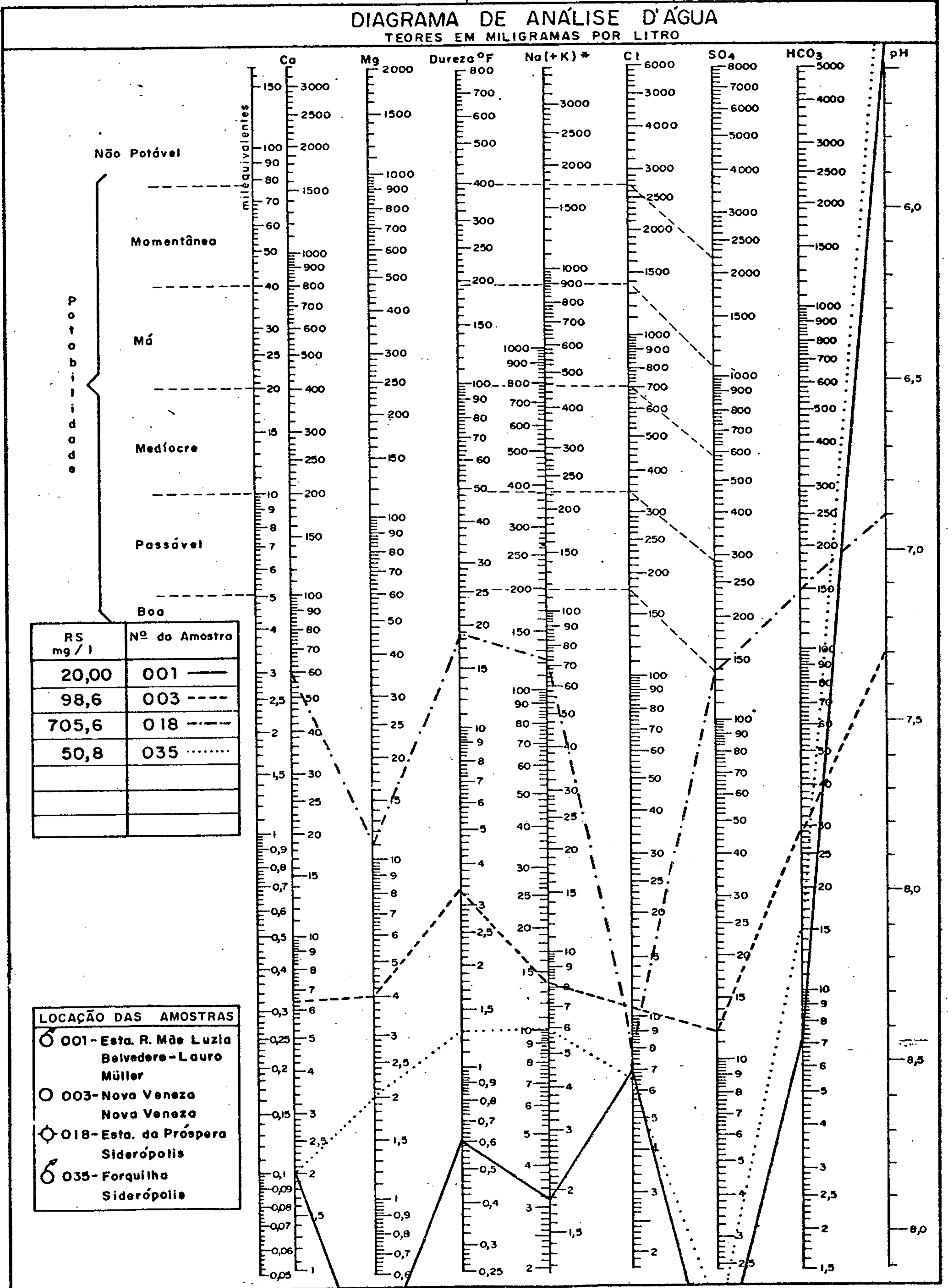
PADRÕES DE POTABILIDADE SEGUNDO SCHOELLER

	POTABILIDADE PERMANENTE				POTABILIDADE MOMENTÂNEA
	BOA	PASSÁVEL	MEDÍOCRE	MÁ	
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	0-15	5-10	10-20	20-40	40-80
EM 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

Quadro 8.13.7

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

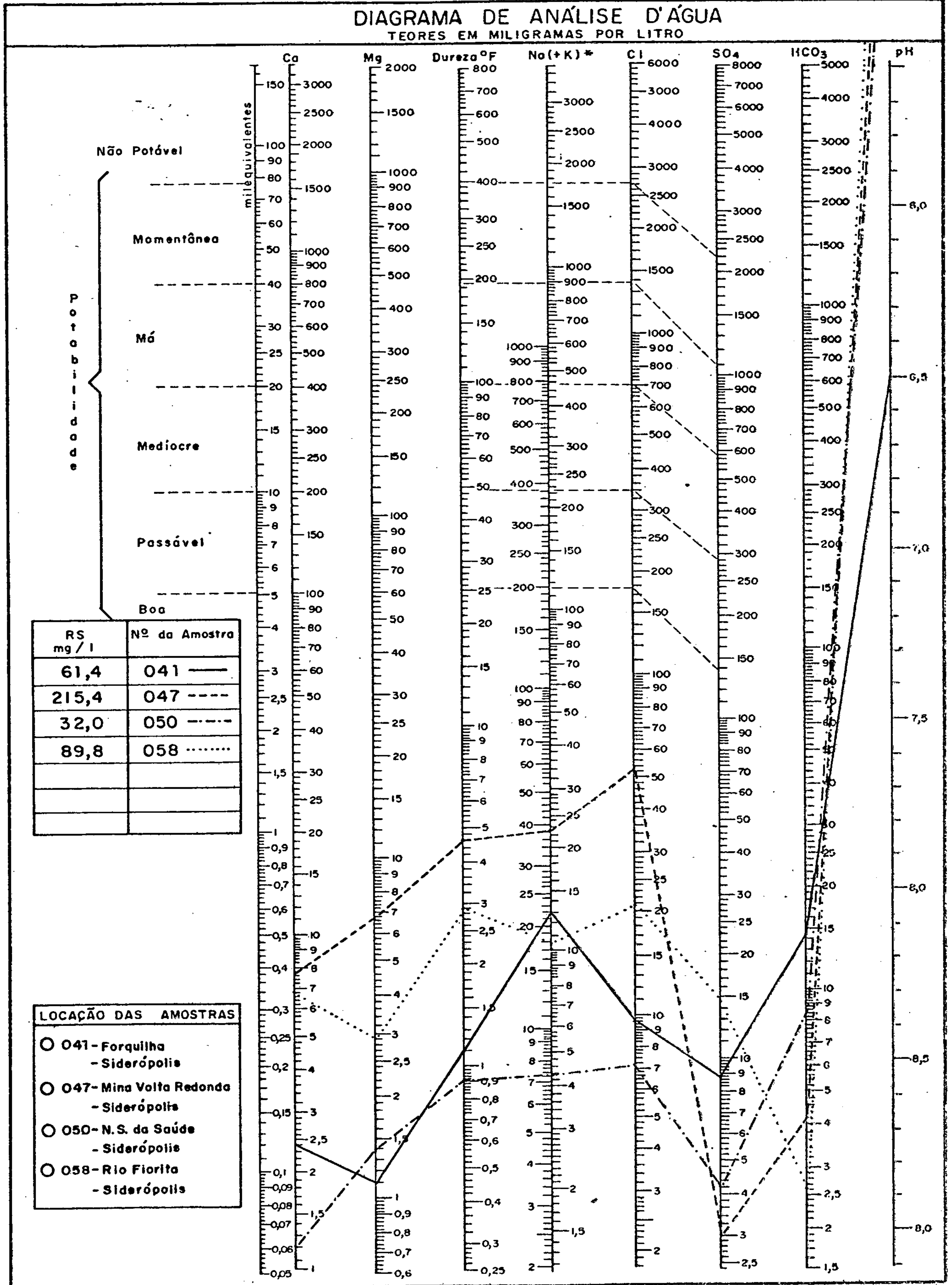


* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 8.13.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

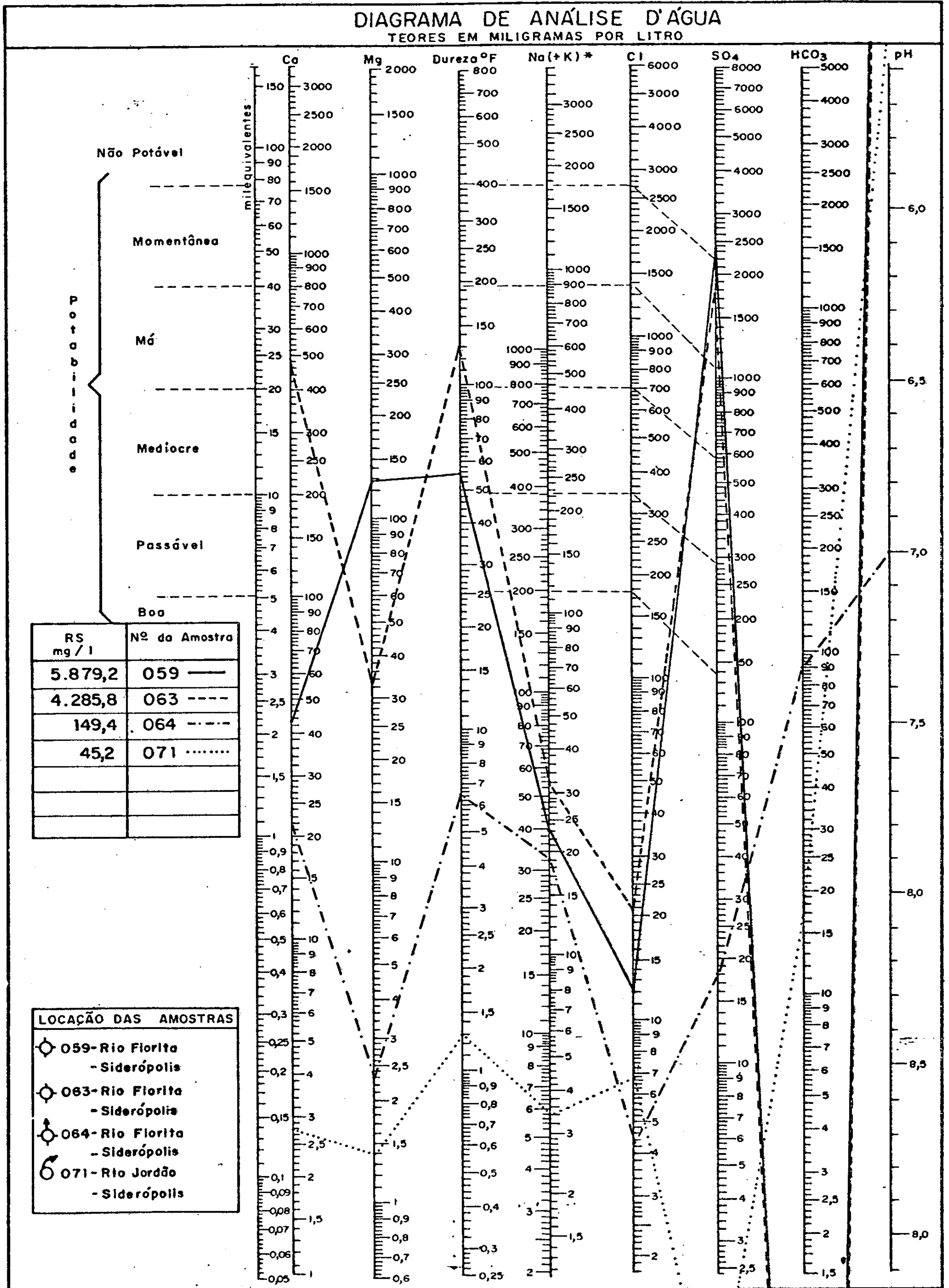


* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 8.13.4

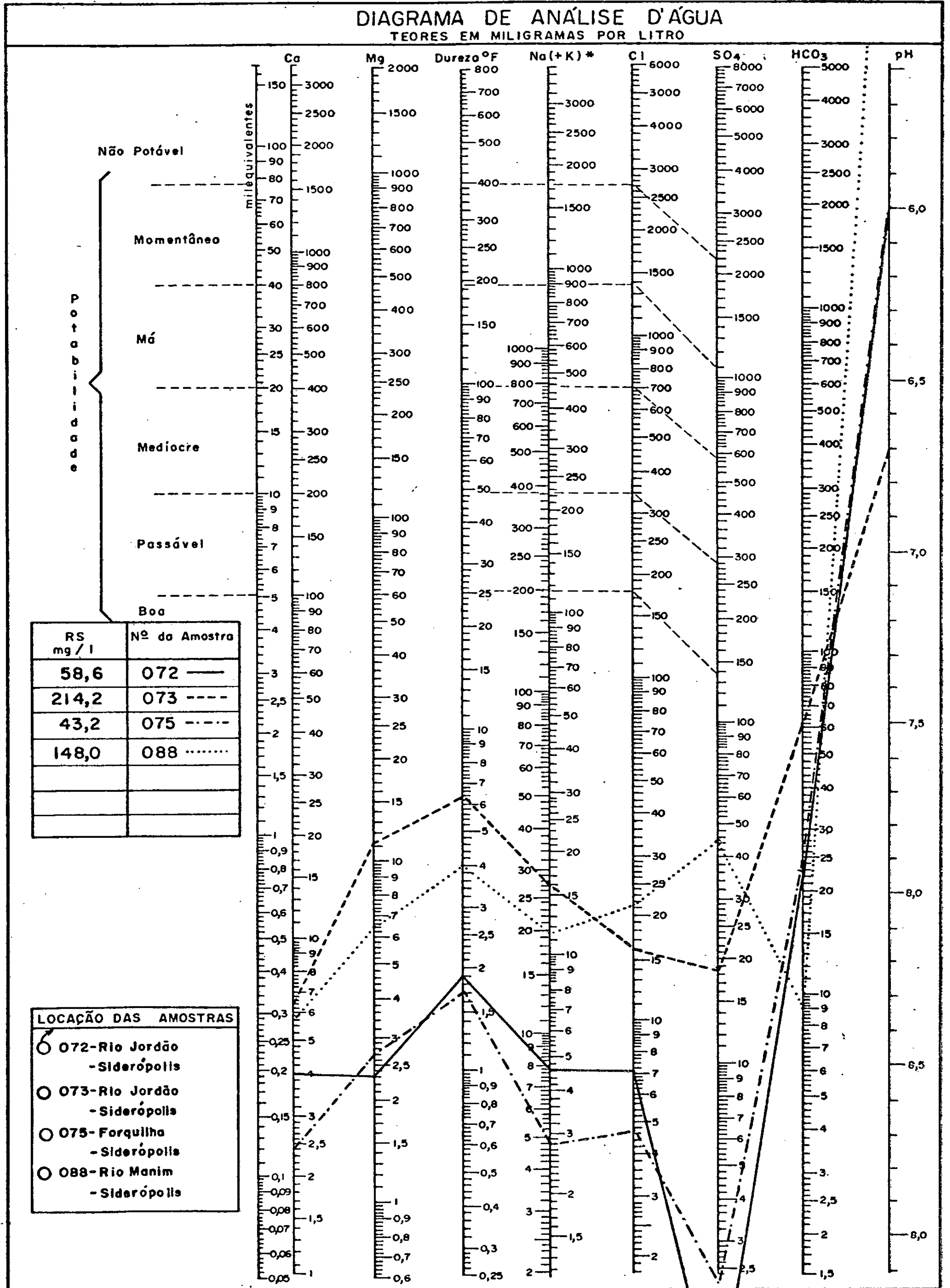
DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 8.13.4

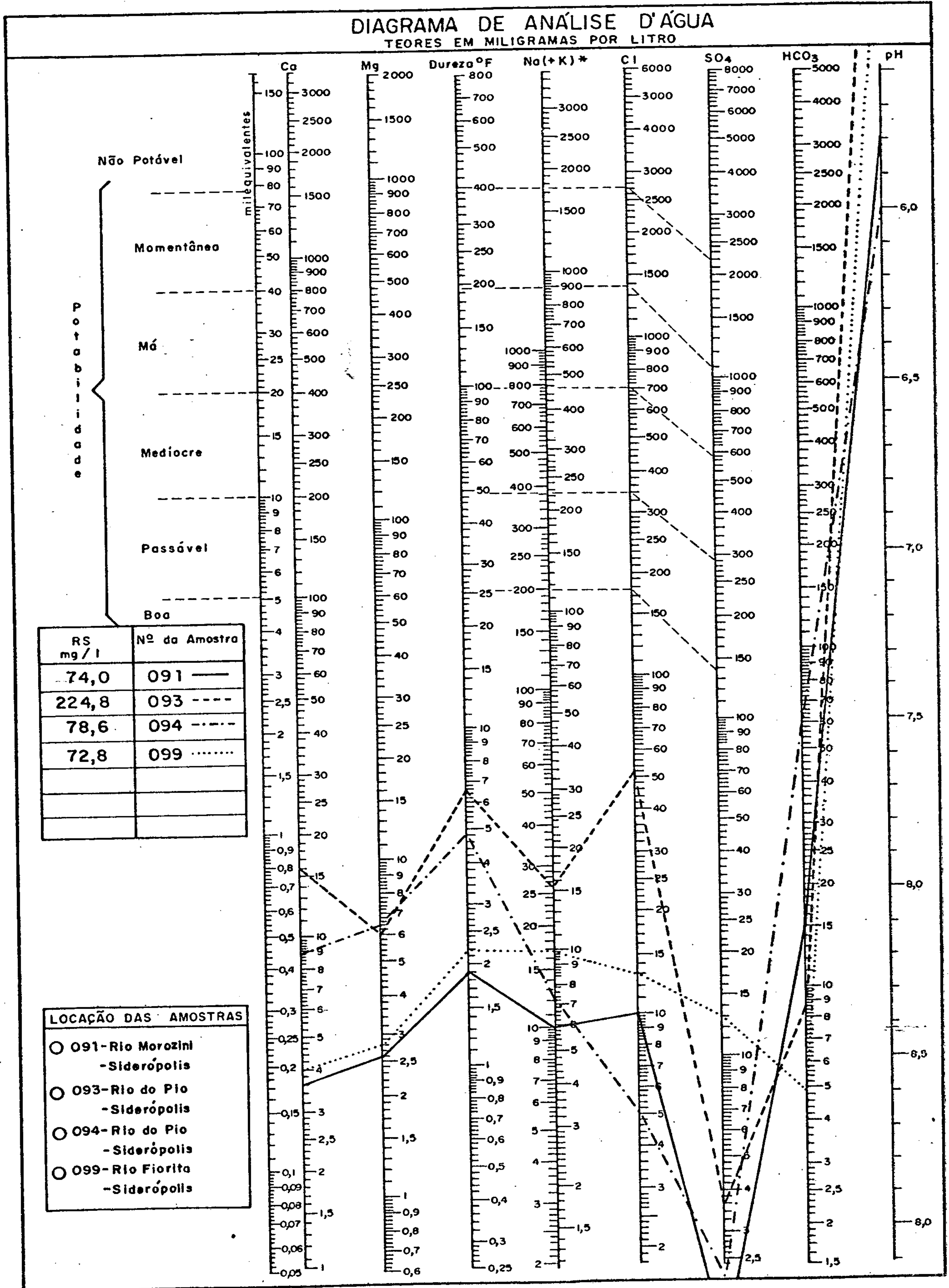


* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig.8.13.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

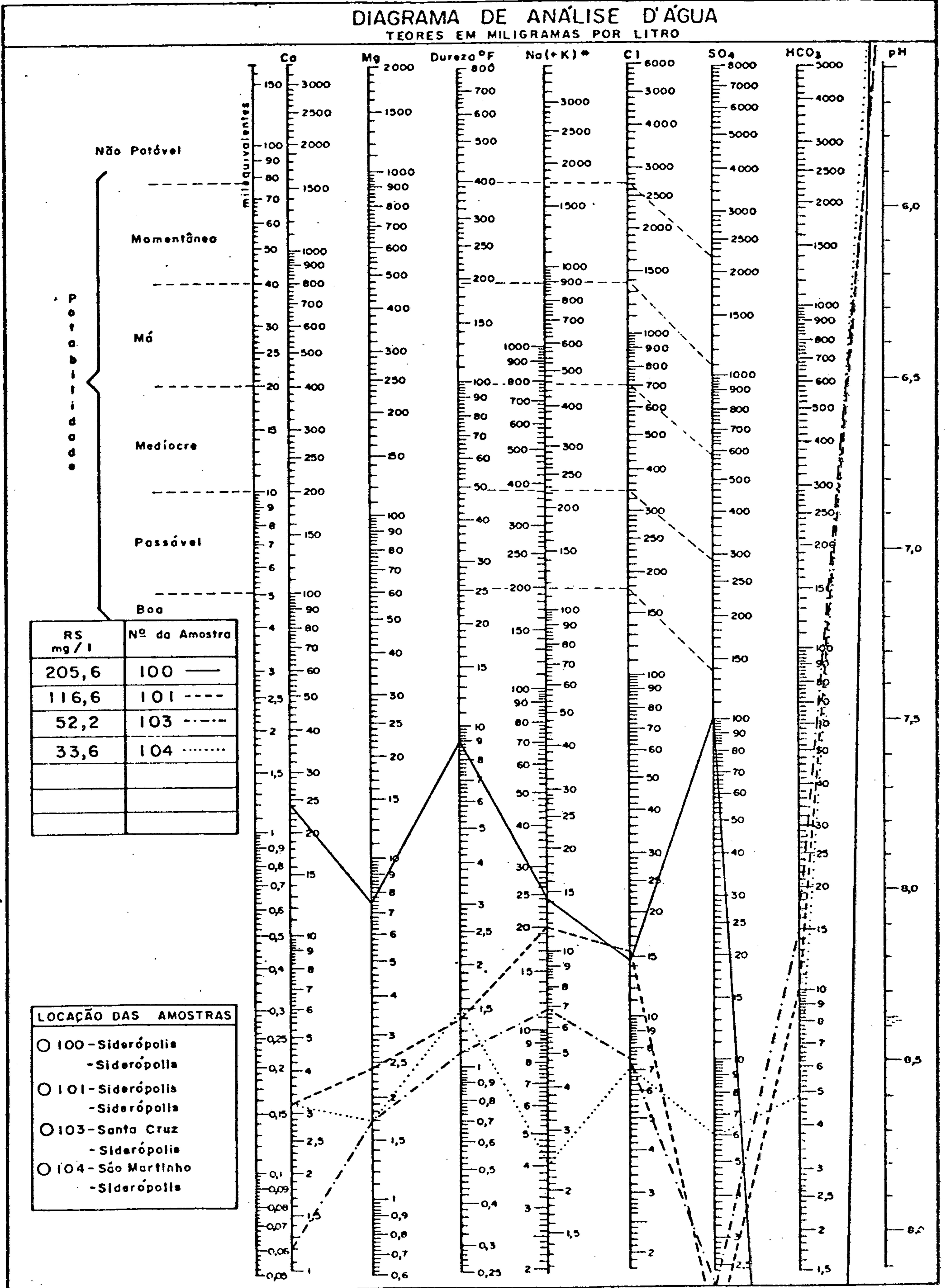


* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig.8.13.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig 8.13.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

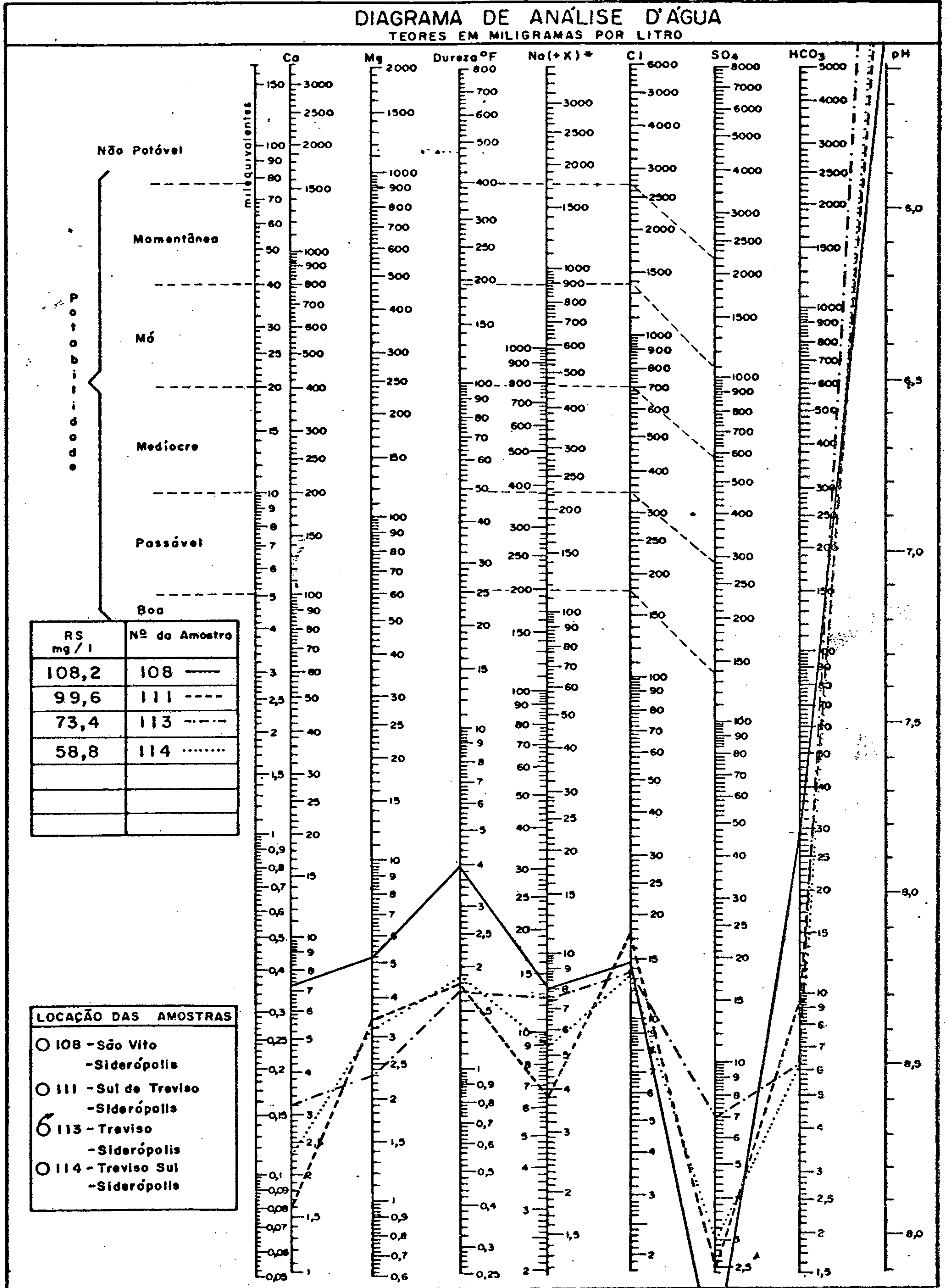
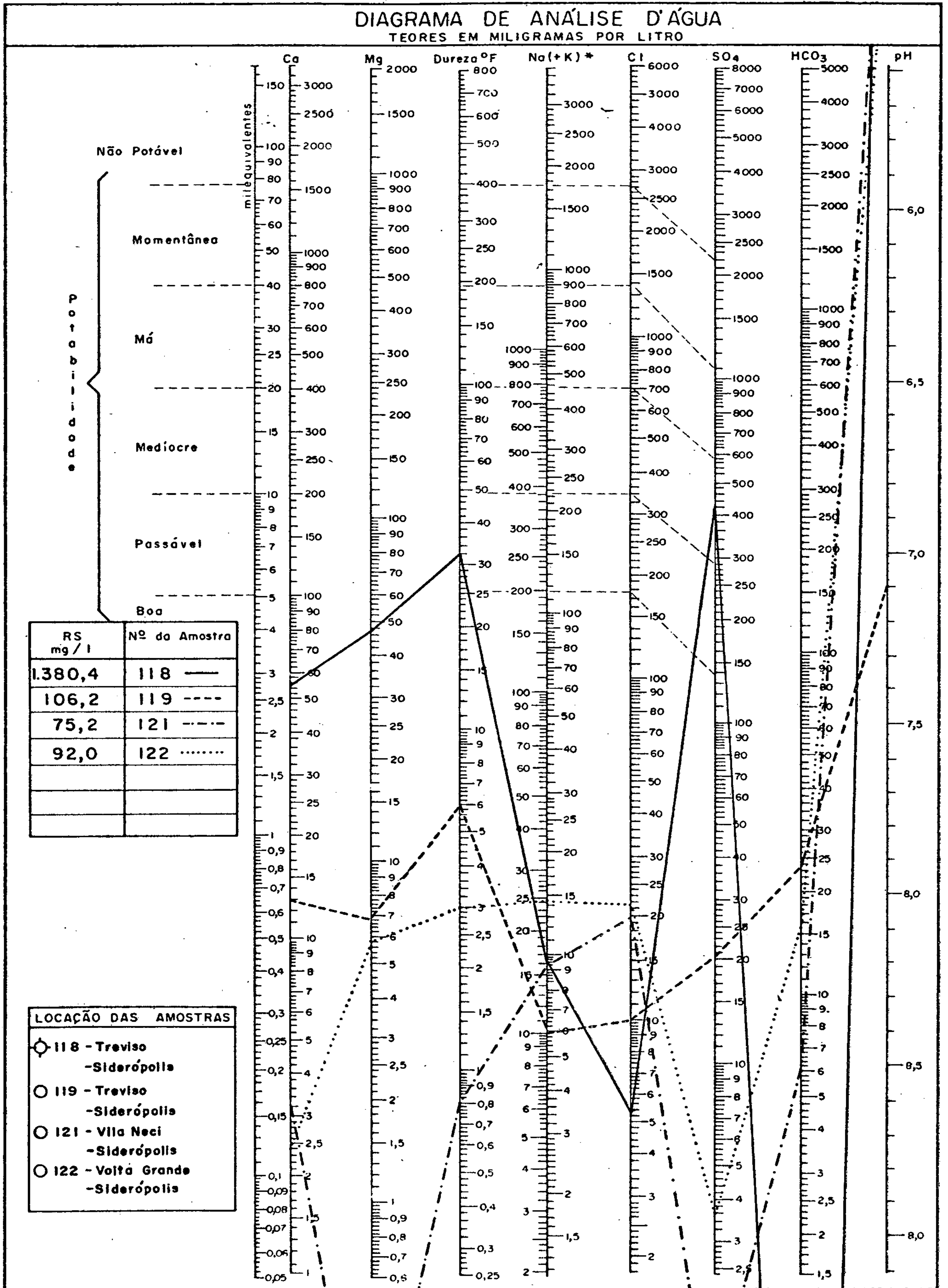


Fig. 8.13.4

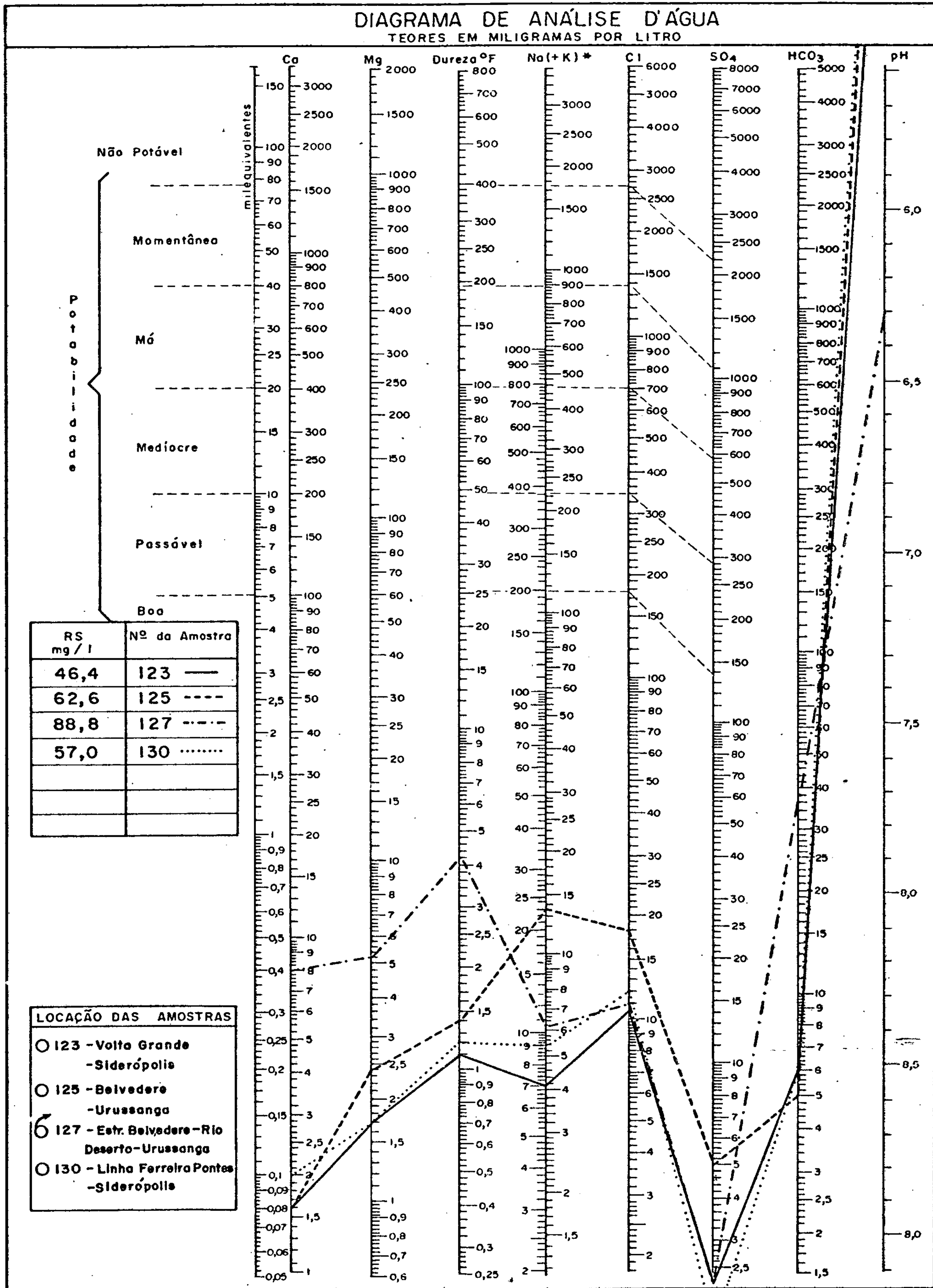
DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig 8.13.4



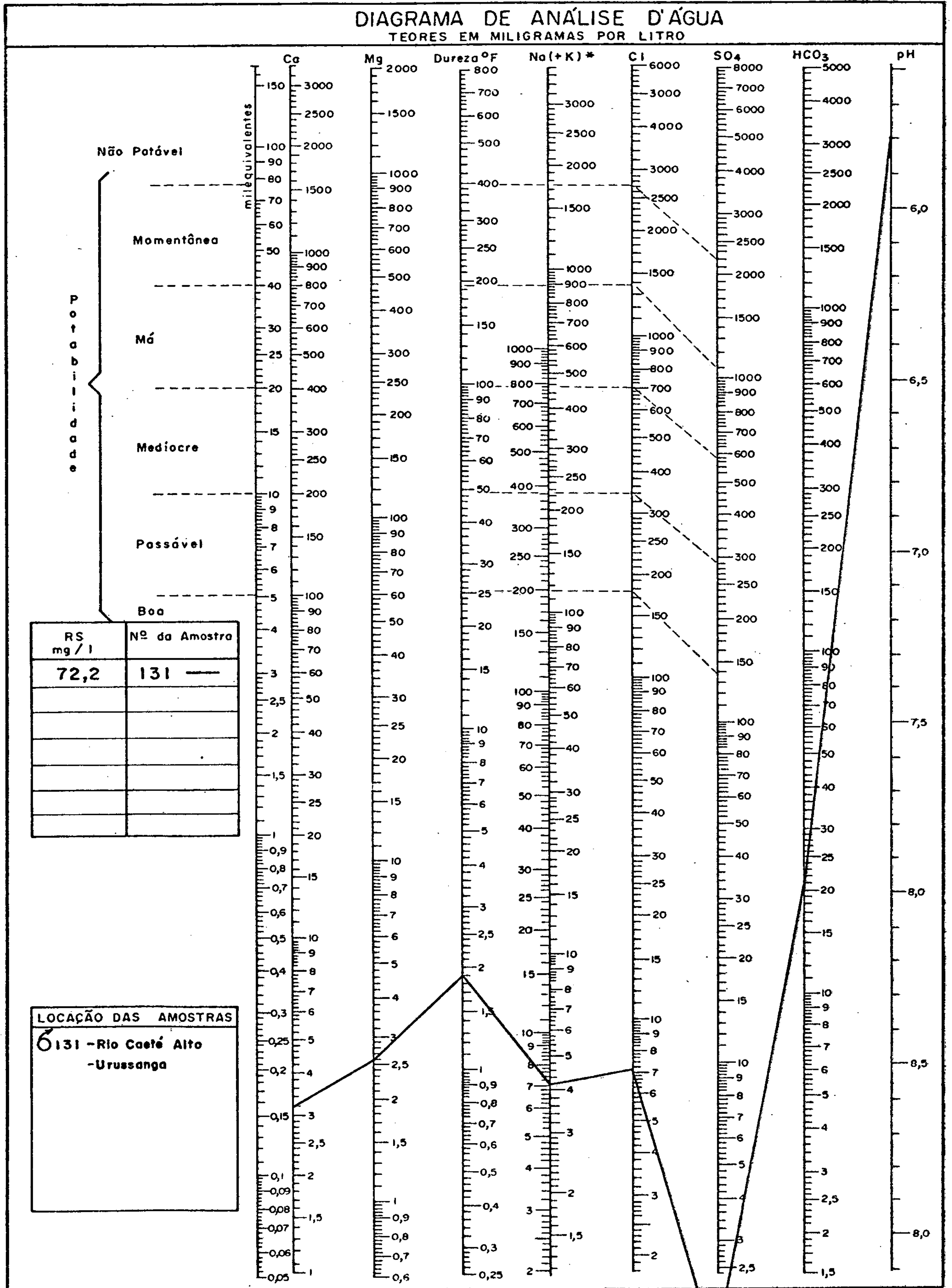
* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 8.13.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

10/10



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 8.13.4

Em relação ao diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff (figura 8.13.4) essas 07 amostras não apresentam restrições quanto à potabilidade, pois estão dentro dos limites de potabilidade boa para os parâmetros Ca, Mg, dureza, Na, K, Cl, SO₄ e HCO₃. Porém para o pH a amostra de número 50 (pH 4,9) está fora dos limites propostos para esse parâmetro que no caso de águas subterrâneas pode estar entre 6,5 e 8,5 (Custódio, op.cit.), embora alguns autores estipulem essa variação entre 5 e 9.

8.13.6.2 - Rochas Sedimentares

Para as 30 amostras coletadas na área abrangida pelas rochas sedimentares, os padrões de potabilidade estabelecidos por Schoeller (op.cit.) (quadro 8.13.7) indicam que em relação ao sódio e ao cloreto não há restrições e as amostras apresentam potabilidade permanente boa.

Em relação ao resíduo seco observa-se que 86,7% das amostras apresentam potabilidade permanente boa, 3,3% potabilidade permanente passável, 3,3% potabilidade permanente medíocre e 6,7% potabilidade momentânea.

Quanto à relação Mg/12 + Ca/20, 90,0% das amostras apresentam potabilidade permanente boa, 3,3% potabilidade permanente passável, 3,3% potabilidade permanente medíocre e 3,3% potabilidade permanente má.

Para a dureza, a situação é semelhante à da relação Mg/12 + Ca/20, pois essa relação é que permitiu calcular a dureza.

O sulfato mostra que 90% das amostras apresentam potabilidade permanente boa, 3,3% potabilidade permanente medíocre, 3,3% potabilidade momentânea e 3,3% são improprias para o consumo, pois estão acima do valor máximo es

tabelecido.

Analisando as 30 amostras pelo diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff (figura 8.13.4) verifica-se que em relação ao sódio, ao cloreto e ao bicarbonato as amostras apresentam potabilidade boa. Em relação ao cálcio apenas 3,3% indicam potabilidade má e para o magnésio 3,3% mostram potabilidade medíocre. Quanto à dureza 3,3% mostram potabilidade má. Para o sulfato 3,3% apresentam potabilidade passável, 3,3% potabilidade medíocre, 3,3% potabilidade momentânea e 3,3% são de águas não potáveis.

Para o pH, considerando-se os limites propostos por Custódio (op.cit.) para águas subterrâneas (6,5 e 8,5) em relação à potabilidade, verifica-se que apenas 13,3% das amostras estão dentro desses limites.

Em virtude da incidência de valores de ferro total acima dos padrões da O.M.S. (Custódio, op.cit.), que considera como valor conveniente 0,3 mg/l e valor admissível 1,0 mg/l para a potabilidade com vistas ao consumo humano, são necessárias algumas considerações acerca desse parâmetro no contexto geral da área.

Para as rochas fissuradas verifica-se que 57,1% das amostras estão abaixo do limite mínimo, 28,6% estão entre os limites estabelecidos e apenas 14,3% são superiores ao valor admissível, portanto impróprias para o consumo humano.

No caso das rochas sedimentares cerca de 66,7% das amostras não ultrapassam o limite mínimo, 13,3% estão entre os limites pré-determinados e 20,0% estão acima do valor admissível o que torna esse último grupo impróprio para o consumo humano.

8.13.7 - Qualidade das Águas para Consumo Animal

No caso dos animais, os limites de potabilidade são mais extensos e levam em conta apenas os valores de resíduo seco. No quadro 8.13.8 são apresentados esses limites que são utilizados na Austrália Ocidental (Leal in: Lima, 1980).

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	12.900

Quadro 8.13.8

Em relação aos limites apresentados apenas duas amostras indicam restrições para aves e uma apresenta restrições para porcos. Para o restante dos animais relacionados não existem restrições.

8.13.8 - Qualidade das Águas para Irrigação

Na determinação da qualidade das águas para fins de irrigação utilizou-se a classificação americana do "U.S. Salinity Laboratory" (1954). Essa classificação é feita por meio de um gráfico semi-logarítmico onde são plotados em abscissas os valores da condutividade elétrica em micromhos/cm a 25°C e em ordenadas a razão de adsorção de sódio (SAR) que é calculada, conhecidos os teores em miliequivalentes por litro de sódio, cálcio e magnésio, através da

expressão:

$$\text{SAR} = \frac{r \text{ Na}}{\sqrt{\frac{1}{2} (r \text{ Ca} + r \text{ Mg})}}$$

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

8.13.8.1 - Classificação das Águas para Irrigação

Os tipos de água definidos em função da condutividade elétrica e da razão de adsorção de sódio para a área em questão são os seguintes:

- a) $C_0 - S_1$ - Engloba águas de salinidade fraquíssima cuja conduktividade é inferior a 100 micromhos/cm a 25°C, pobres em sódio e podem ser utilizadas sem restrição para a irrigação. Riscos de aparecimento de teores de sódio passíveis de troca são mínimos.
- b) $C_1 - S_1$ - Reúne águas de salinidade fraca que apresentam condutividade entre 100 e 250 micromhos/cm a 25°C e são fracamente sódicas. A maioria das culturas podem ser irrigadas com esse tipo de água em quase todo tipo de solo com escassas possibilidades de incidentes de salinização exceto no caso de ser um solo de permeabilidade muito fraca. Riscos de aparecimento de teores nocivos de sódio susceptível de troca são mínimos.
- c) $C_2 - S_1$ - Compreende águas de salinidade média, conduktividade entre 250 e 750 micromhos/cm a 25°C e também fracamente sódicas. Sua utilização na irrigação está condicionada à lixiviação moderada do solo podendo ser empregada

até para plantas de fraca tolerância salina. Riscos de sódio são mínimos.

- d) $C_3 - S_1$ - Congrega águas de alta salinidade, condutividade entre 750 e 2.250 micromhos/cm a 25°C e fracamente sódicas. Sua utilização se prende aos solos com bom sistema de drenagem; mesmo assim devem ser tomados cuidados especiais contra a salinidade, sendo que apenas as plantas de boa tolerância salina devem ser cultivadas. Riscos de aparecimento de teores nocivos de sódio, passível de troca, são bastante remotos.
- e) $C_4 - S_1$ - Identifica águas de salinidade muito forte cuja condutividade está entre 2.250 e 5.000 micromhos/cm a 25°C e são fracamente sódicas. De um modo geral não servem para irrigação, entretanto podem ser excepcionalmente utilizadas em solos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. O cultivo restringe-se a plantas de altíssima resistência salina. São fracos os riscos de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca.

De um modo geral, as 37 amostras plotadas em 02 gráficos do SAR relativos às rochas da Formação Serra Geral (rochas fissuradas) (fig.8.13.5) e às rochas sedimentares (fig.8.13.6) não apresentam restrições quanto a sua utilização na irrigação, exceto para 2,70% das águas das rochas sedimentares classificadas como pertencentes ao tipo $C_3 - S_1$ e para 5,41% pertencentes ao tipo $C_4 - S_1$. No quadro 8.13.9 estão relacionados os tipos de água para irrigação ocorrentes na área, com os respectivos números de amostras e percentuais para cada litologia.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Área de Siderópolis

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

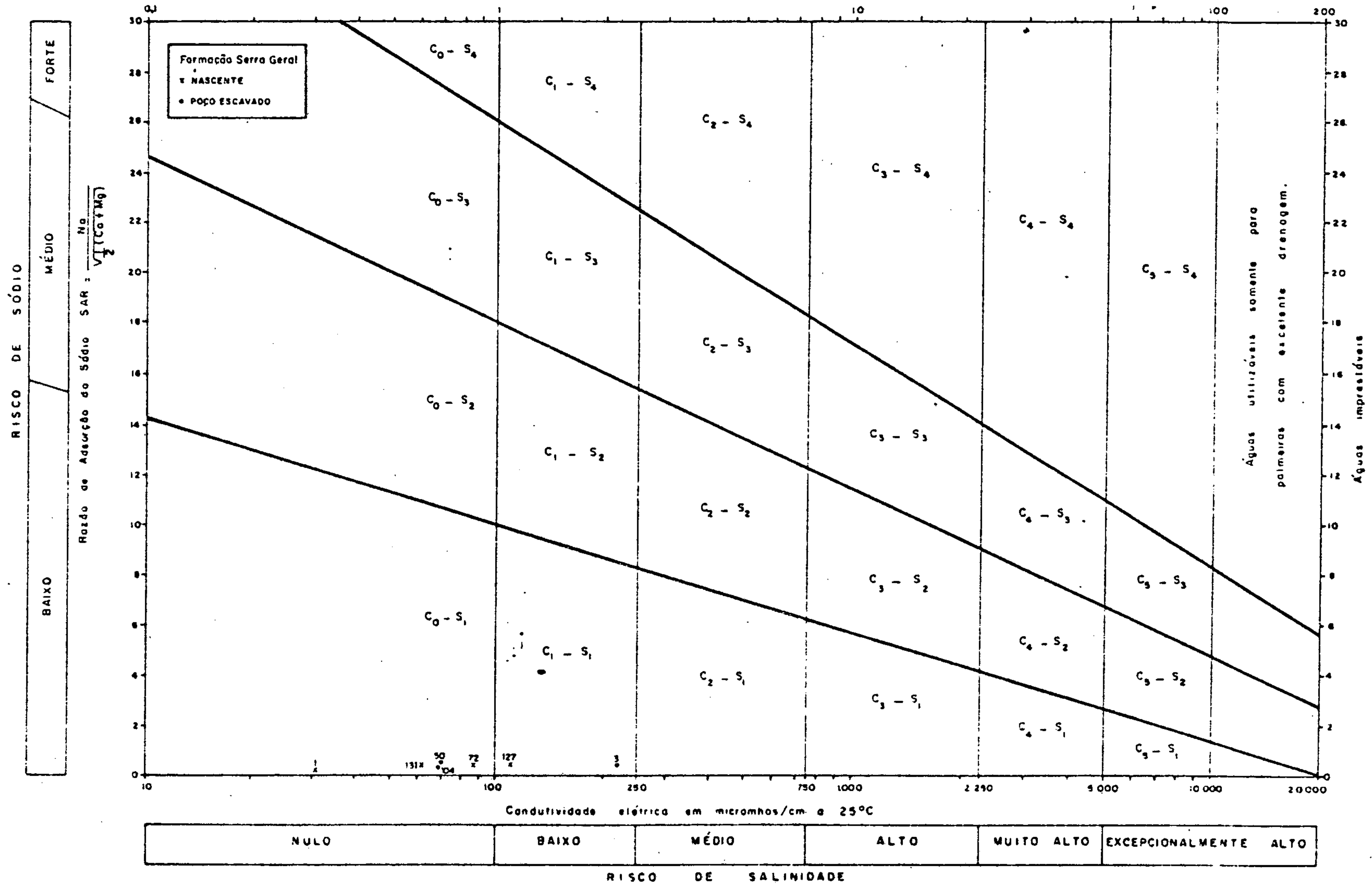


FIG. 8 13.5

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Área de Siderópolis

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

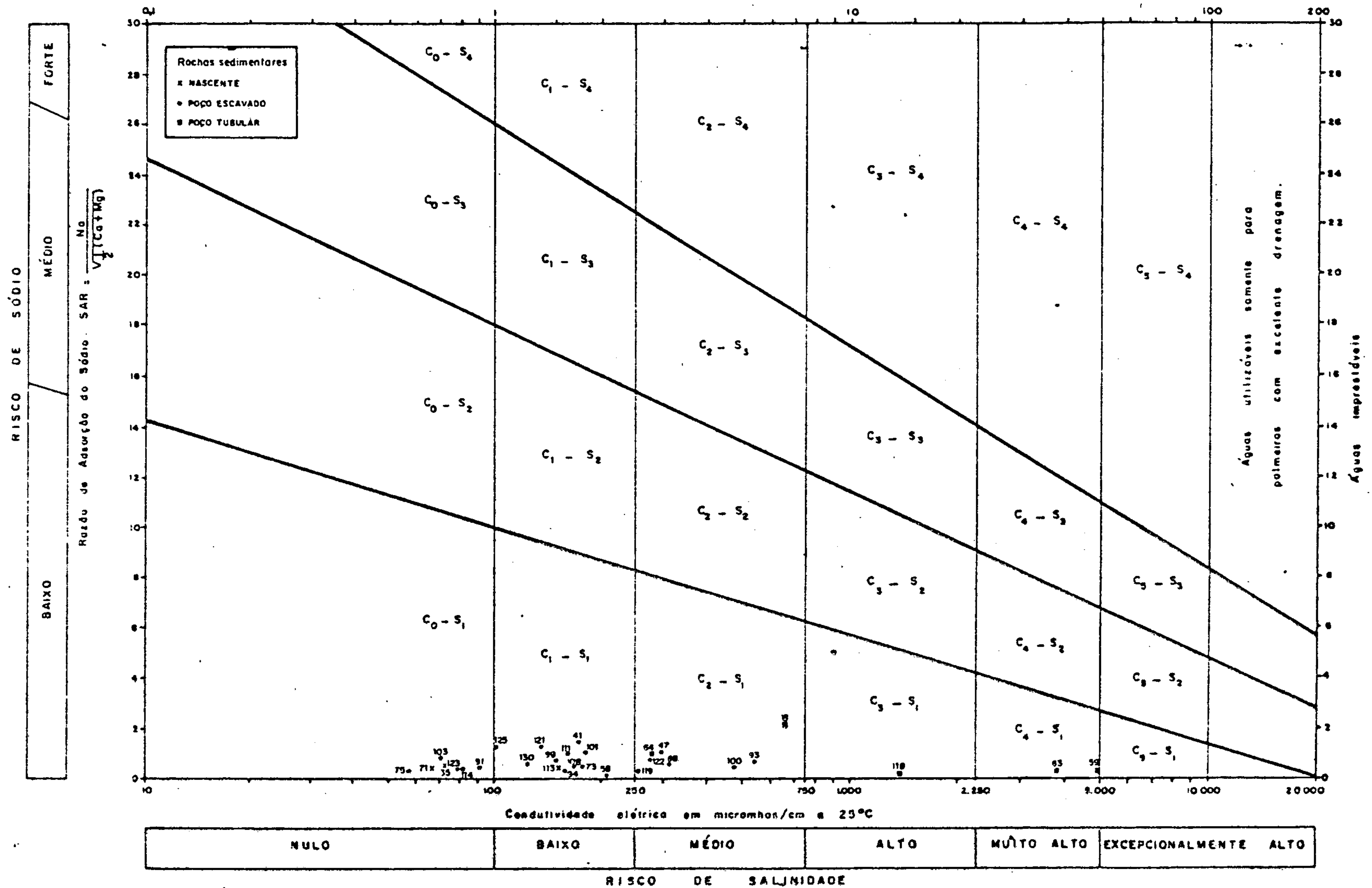


FIG. 13.6

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LITOLOGIA TIPOS	ROCHAS FISSURADAS		ROCHAS SEDIMENTARES	
	Nº DE AMOSTRAS	%	Nº DE AMOSTRAS	%
C ₀ - S ₁	5	13,51	7	18,92
C ₁ - S ₁	2	5,41	12	32,43
C ₂ - S ₁	-	-	8	21,62
C ₃ - S ₁	-	-	1	2,70
C ₄ - S ₁	-	-	2	5,41

Quadro 8.13.9

Nas rochas fissuradas predominam as águas do tipo C₀ - S₁ e nas rochas sedimentares são mais comuns as águas dos tipos C₁ - S₁, C₂ - S₁ e C₀ - S₁.

8.13.9 - Qualidade da Água Superficial

Com o objetivo de se fazer um estudo das águas superficiais na área em apreço foram coletadas 10 amostras de rios e 01 amostra de lagoa. As considerações feitas para as amostras de águas subterrâneas (item 8.13.1), em relação às análises químicas, são válidas também para essas amostras.

Aqui serão abordados os aspectos químicos fornecidos pelas análises das amostras consideradas, embora essas amostras não sejam representativas dos pontos onde foram coletadas e sim das áreas de drenagem situadas a montante dos mesmos.

8.13.9.1 - Características Químicas das Águas

Nas 11 amostras analisadas observa-se que predomina o sulfato sobre os demais ânions e o magnésio sobre os demais cátions.

A condutividade média é de 1.012,5 micromhos/cm sendo que 45,5% dos valores estão acima da média. O valor mais elevado é da amostra da lagoa (ponto nº 120 - 3.161,0 micromhos/cm) e o menor valor está à montante das áreas de mineração do carvão, no rio Mãe Luzia (ponto nº 13 - 64,0 micromhos/cm).

O resíduo seco apresenta um valor médio de 920,6 mg/l sendo que 63,5% dos valores são inferiores a média. O maior valor está no rio Fiorita, afluente pela margem esquerda do rio Mãe Luzia, a jusante das áreas de mineração (ponto nº 68 - 2.863,4 mg/l) e o menor a montante dessas mesmas áreas, no rio Mãe Luzia (ponto nº 13 - 122,4 mg/l).

Em relação ao pH as águas variam de ácidas a alcalinas (2,3 a 8,0), localizando-se o maior valor à montante das áreas de mineração, no rio Mãe Luzia (ponto nº 13 - 8,0), e o menor valor na amostra da lagoa (ponto nº 120 - 2,3). O valor médio é 4,2.

A dureza apresenta um valor médio de 292,1 mg/l de CaCO_3 ou 29,2°F sendo que 63,6% dos valores são inferiores à média. O valor mais elevado foi obtido na amostra da lagoa (ponto nº 120 - 1.062,5 mg/l) e o menor a montante das áreas de mineração, no rio Mãe Luzia (ponto nº 13 - 24,2 mg/l).

Para a acidez o valor médio obtido é de 305,5 mg/l de CaCO_3 sendo que 63,6% dos valores são infe-

riores à média. A amostra da lagoa forneceu o valor mais elevado (ponto nº 120 - 1.024,0 mg/l) e o menor foi obtido no rio Mãe Luzia a montante das áreas de mineração (ponto nº 13 - 14,0 mg/l).

8.13.9.2 - Composição Química e Qualidade da Água

Os resultados das análises das amostras de águas superficiais indicam que, nos tipos químicos, predominam as águas sulfatadas (90,9%) e magnesianas (63,6%).

A qualidade da água superficial foi determinada utilizando-se os parâmetros indicativos de rios não contaminados que são os seguintes (FATMA, 1982):

- pH entre 5,0 e 7,0
- acidez abaixo de 15 mg/l de CaCO_3
- sulfatos abaixo de 6 mg/l
- ferro total menor que 2 mg/l
- sólidos totais menor que 100 mg/l
- condutividade elétrica menor que 100 micromhos/cm

Segundo esses limites, os valores de pH mostram que 72,7% estão abaixo do limite inferior, 9,1% ultrapassam o limite superior e apenas 18,2% atendem aos limites propostos.

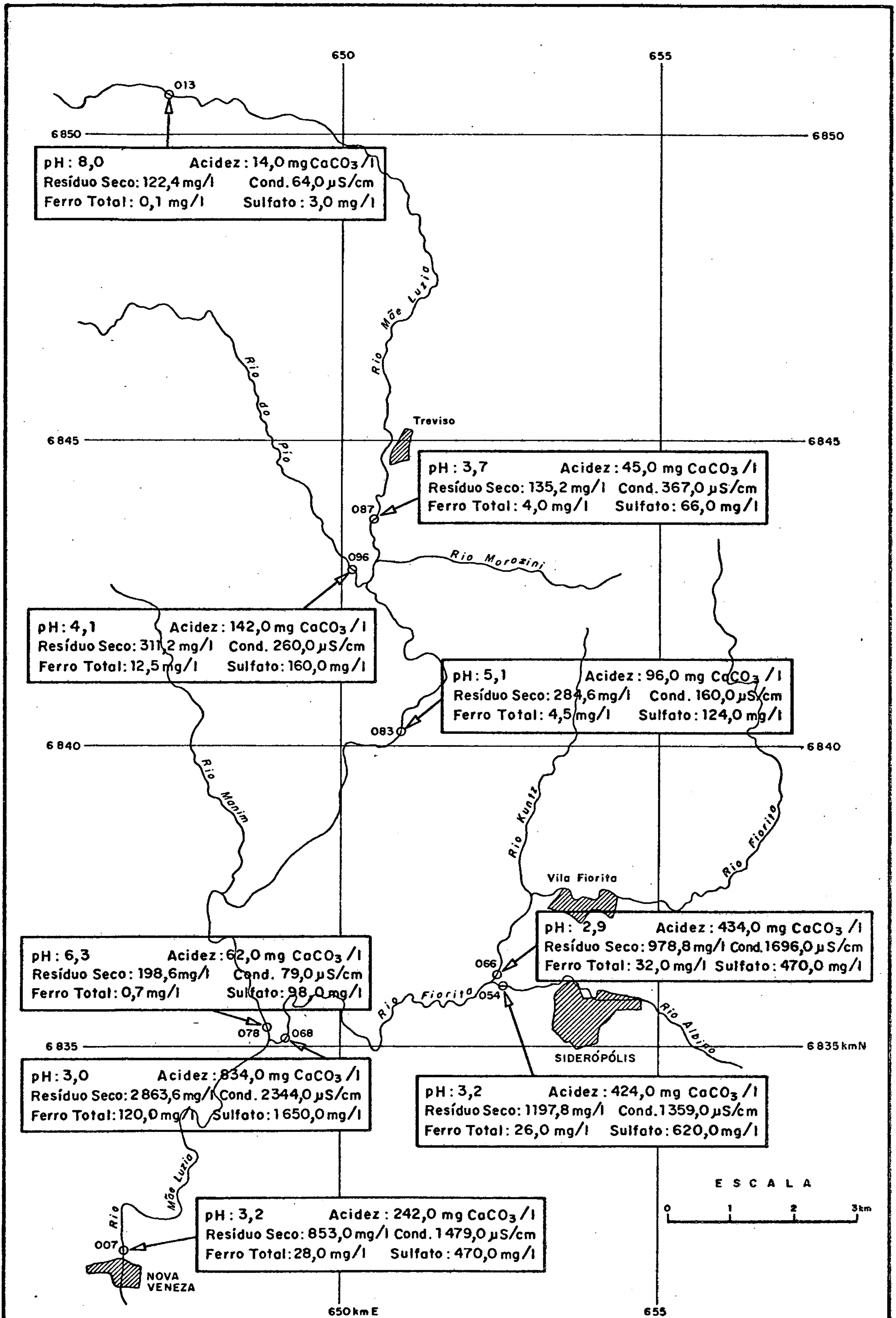
Para a acidez, apenas 9,1% dos valores não estão fora do limite estabelecido e para os sulfatos a situação é idêntica, pois apenas 9,1% dos valores são inferiores ao limite proposto.

No caso do ferro total 18,2% dos valores não ultrapassam o limite estabelecido. Os sólidos to-

tais (resíduo seco) apresentam todos os valores acima do valor limite previsto.

A condutividade elétrica mostra que apenas 18,2% dos valores não ultrapassam o valor limite previsto.

Na figura 8.13.7 é apresentado um mapa de qualidade da água superficial com os parâmetros indicativos de contaminação em cada ponto amostrado.



QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

Fig. 8.13.7

8.14 - VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

A vulnerabilidade que se pretende estudar no presente trabalho está relacionada à maior ou menor resistência apresentada por determinada unidade litológica à contaminação de seus aquíferos que poderão ser seriamente afetados, advindo daí uma provável alteração física ou química das águas.

Na área de Siderópolis foram definidos dois tipos de aquíferos referentes às rochas da Formação Serra Geral e às rochas sedimentares.

A Formação Serra Geral, representada na área principalmente por diabásios, apresenta uma vulnerabilidade que depende diretamente do sistema de rupturas (falhas e fraturas).

No caso das rochas sedimentares a vulnerabilidade está associada principalmente ao tempo de recarga para os aquíferos livres e à velocidade de escoamento das águas para os aquíferos confinados.

Com o objetivo de verificar a possível contaminação dos aquíferos, através do aporte de substâncias minerais e elementos nocivos, foi feito um estudo químico da qualidade das águas subterrâneas. Procurou-se analisar a contaminação provocada pelo ferro, sulfatos e ácidos resultantes da oxidação da pirita, subproduto das minerações de carvão, além dos elementos maiores e menores (metais pesados) presentes nos depósitos de carvão.

8.14.1 - Contaminação Atual dos Aquíferos

Para a área de Siderópolis, a conta-

minação dos aquíferos está representada pelas várias minerações de carvão lá existentes.

Assim, nas proximidades e ao norte da cidade de Siderópolis os principais focos de contaminação são: o pré-lavador da Carbonífera Próspera S.A., a mina de encosta Beluno, o campo céu-aberto Siderópolis, o campo céu-aberto Morozini, a mina de encosta Volta Redonda e o pré-lavador desta mina. Próximo à localidade de Treviso, mais exatamente ao sul desta localidade, estão localizados o campo céu-aberto Rio do Pio e um pré-lavador desativado. Na localidade de Forquilha estão localizados o campo céu-aberto Forquilha, o plano inclinado da mina Esperança e o pré-lavador da mina Esperança. Todas essas atividades mineiras são mostradas no mapa de atividades mineiras e de beneficiamento (fig.8.6.1).

Os rejeitos piritosos e de cobertura, resultantes da lavra e beneficiamento do carvão (pré-lavagem), são armazenados em áreas de despejo sem atentar para as conseqüências que irão afetar os aquíferos e a drenagem superficial em razão da alteração (oxidação) da pirita e da marcassita de modo particular. Os elementos contaminantes, principalmente durante as chuvas, são transportados para os aquíferos através da infiltração, e levados aos mananciais de superfície pelo escoamento superficial.

Com a finalidade de visualizar os efeitos da contaminação das águas subterrâneas através dos principais fatores indicativos dessa contaminação, foram elaborados mapas temáticos desses fatores a partir dos resultados das análises. Esses mapas, relativos a pH, condutividade, acidez, sulfatos e sólidos totais são apresentados respectivamente nos anexos III.4, III.5, III.6, III.7 e III.8.

A análise desses mapas evidencia claramente a presença da contaminação pela alteração dos valo-

res desses fatores nas 03 áreas críticas (Siderópolis, Treviso e Forquilha) como pode ser verificado através das curvas de isovalores que tendem a se concentrar em torno dessas áreas.

Os dados obtidos das análises químicas da água estão no anexo I.2 e das análises dos elementos maiores e menores na tabela 8.13.1. O exame dos valores obtidos permitem identificar, das três áreas (Siderópolis, Treviso e Forquilha), a de Siderópolis como apresentando o maior grau de contaminação, onde destacam-se valores de pH e acidez que atingem respectivamente a 3,1 e 2.150,0 mg/l de CaCO_3 .

Os dados relativos a sulfatos, condutividade e sólidos totais superam em muito os limites recomendáveis para potabilidade, apresentando valores críticos de respectivamente 2.360,0 mg/l, 4.902,0 micromhos/cm e 5.879,2 mg/l.

Em Treviso e Forquilha o grau de contaminação é menor, sendo que o pH, acidez, sulfatos e condutividade na área de Treviso chegam a apresentar valores críticos respectivamente de 3,5, 686,0 mg/l de CaCO_3 , 420,0 mg/l e 815,0 micromhos/cm.

Na área de Forquilha encontram-se os valores menos problemáticos de pH, acidez, sulfatos e condutividade quando comparados aos índices críticos de potabilidade, sendo estes valores respectivamente de 5,0, 174,0 mg/l de CaCO_3 , 27,5 mg/l e 224,0 micromhos/cm. Esta área em especial apresenta uma capacidade de recuperação natural muito grande, quando comparada com as duas anteriores, devido à presença de folhelhos que alteram-se rapidamente propiciando uma recuperação rápida da vegetação natural, que protege os aquíferos.

Outro indício de contaminação são os valores de ferro total; de um total de 37 amostras analisadas para Siderópolis, Treviso e Forquilha, segundo os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS), nota-se que 64,9% apresentam valores inferiores ao limite conveniente (0,3 mg/l), 16,2% estão entre o limite conveniente e admissível (0,3 e 1,0 mg/l) e 18,9% são superiores ao limite admissível (1,0 mg/l).

Dentre os elementos maiores e menores (metais pesados), os elementos cobre, chumbo, zinco, cobalto, manganês, alumínio, níquel e cromo apresentaram valores críticos ou superiores a estes quando comparados aos limites para abastecimento público, vida aquática e irrigação.

Deve salientar-se que pela simples verificação do acima exposto, o estágio atual de contaminação da água subterrânea na área de Siderópolis atingiu níveis críticos, de certo modo até alarmantes, quando mostra valores de pH, acidez, sulfatos, condutividade, sólidos totais, ferro total e metais pesados bem acima dos limites toleráveis para potabilidade, comparáveis ou em alguns casos superiores aos valores ocorrentes em cursos superficiais.

Para a Formação Serra Geral os riscos de contaminação dependem do grau de fraturamento das rochas, principalmente diabásios, que constituem essa formação. Na área de Siderópolis-SC essas rochas mostram-se bastante fraturadas, a drenagem está relacionada a essas fraturas e isto facilita bastante a contaminação do aquífero.

Dentre as rochas que compõem a seqüência sedimentar, o principal aquífero é representado pela Formação Rio Bonito, que ocorre no centro e em pequenas extensões no limite leste da área conforme mostra o mapa geológico (anexo III.1).

O mecanismo de contaminação, conforme pode ser visualizado na figura 8.14.1, entra em atividade quando os rejeitos piritosos e de cobertura resultantes da lavra e beneficiamento do carvão (pré-lavagem), são depositados em áreas de despejo sem levar em conta os problemas que irão afetar os aquíferos e a drenagem superficial, oriundos da alteração (oxidação) da pirita e da marcassita de modo particular. Neste processo, de acordo com as equações descritas no item 6.2. ocorrem várias reações que liberam ferro, sulfatos e ácidos além de uma série de elementos metálicos e metais pesados presentes em depósitos de carvão.

8.14.2 - Vulnerabilidade

A vulnerabilidade dos aquíferos na área de Siderópolis está relacionada às rupturas (falhas e fraturas) para o aquífero Serra Geral e ao tempo de recarga para os aquíferos livres e à velocidade das águas dentro do aquífero confinado no caso da seqüência sedimentar.

A fim de fazer uma representação gráfica da vulnerabilidade dos aquíferos, elaborou-se uma escala de vulnerabilidade (baixa, média e elevada) em função de fatores que influenciam na recarga tais como características litológicas, permeabilidade, área de ocorrência e topografia para os aquíferos nas rochas sedimentares e rupturas para o aquífero Serra Geral, além da presença ou não de focos de contaminação nas proximidades. A partir do mapa geológico (anexo III.1) e levando em conta a escala estabelecida, confeccionou-se o mapa de vulnerabilidade (anexo III.10).

A aplicação desses critérios na área de Siderópolis permite as seguintes conclusões:

- Aquífero Serra Geral - as rupturas (falhas e fraturas) que facilitam a alimentação, a circulação e o armazenamento de

MECANISMO DE CONTAMINAÇÃO
ÁREA DE SIDERÓPOLIS

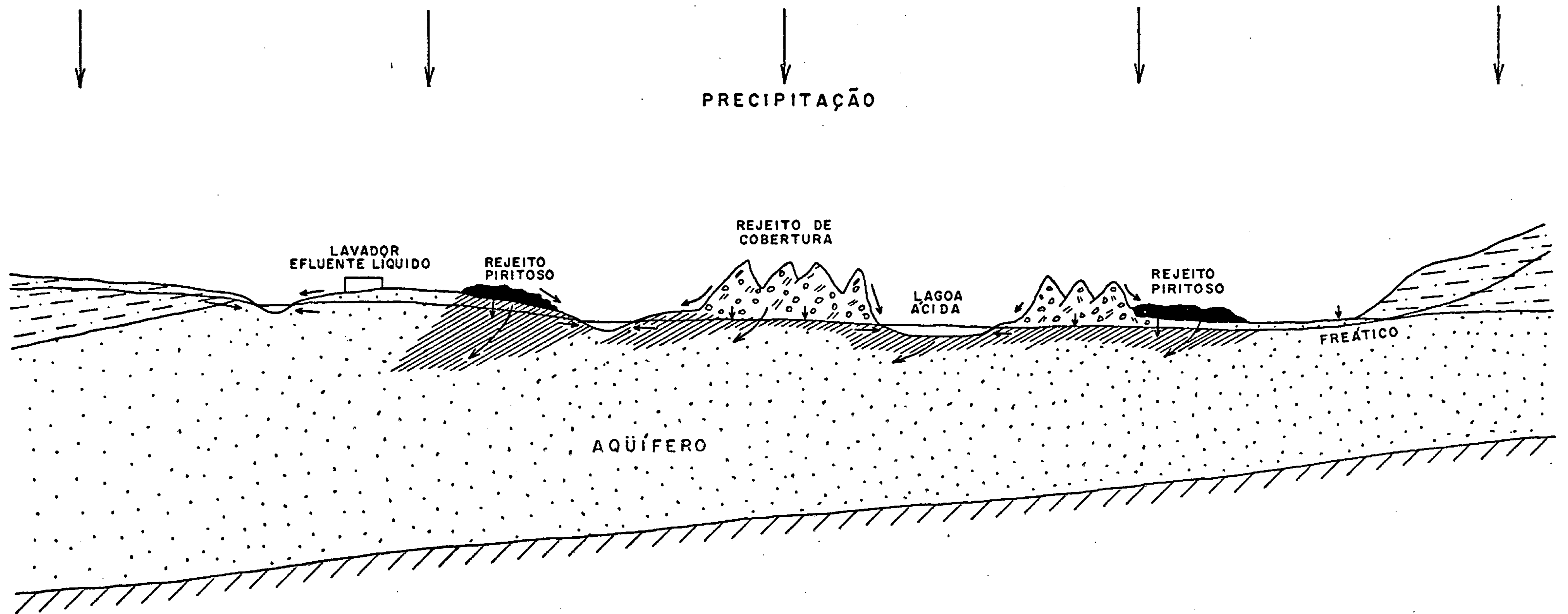


Fig. 8.14.1

água, também atuam favorecendo a contaminação do aquífero quando existem focos de contaminação próximos ao mesmo. Si-nelli (1974) estudando a vulnerabilidade dos aquíferos quanto à contaminação industrial na região NNE do Estado de São Paulo, considerou o aquífero Serra Geral de elevada vulnerabilidade em razão do fraturamento estar intimamente relacionado com as drenagens. Na área de Siderópolis, os diabásios que são as principais rochas da Formação Serra Geral, apresentam-se bastante fraturados, os focos de contaminação estão próximos às áreas de ocorrência dessa formação e pelo fato de algumas dessas áreas estarem topograficamente mais elevadas em relação a esses focos, a vulnerabilidade da formação varia de baixa a elevada.

- Aquífero Rio Bonito - nesse aquífero as condições de alimentação, de circulação e de armazenamento são orientadas pela permeabilidade da formação, pela topografia e pelo solo arenoso pouco espesso que normalmente a recobre, facilitando a infiltração. A contaminação do aquífero é feita através dos rejeitos piritosos e de cobertura das minerações do carvão.

Os mapas temáticos (anexos III.4 a III.8) representativos dos principais fatores indicativos de contaminação evidenciam visivelmente os efeitos contaminantes causados pelos rejeitos das minerações do carvão. Isto pode ser comprovado observando-se a disposição das curvas de isovalores desses fatores em torno das 03 áreas onde estão localizados os focos de contaminação (Siderópolis, Treviso e Forquilha).

A vulnerabilidade do aquífero Rio Bonito, pelas suas características litológicas, por apresentar boa permeabilidade, pela presença de focos de contaminação e pelo fato de algumas áreas de ocorrência da formação estarem afastadas desses focos, varia de baixa a elevada.

Medições da velocidade das águas, que são mais utilizadas para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos confinados, foram realizadas na região onde o aquífero Rio Bonito é livre. Estas medições forneceram valores elevados para as 03 áreas onde existem focos de contaminação (Siderópolis - 55,04 m/ano, Treviso - 32,94 m/ano e Forquilha - 47,23 m/ano) que comprovam a elevada vulnerabilidade do aquífero à contaminação nessa região.

- Aquífero Palermo - a Formação Palermo, que na sua porção basal é predominantemente arenosa, possui condições de alimentação, circulação e armazenamento razoáveis, apresentando no entanto uma permeabilidade inferior à da Formação Rio Bonito.

Pelas suas características litológicas, por ser pouco permeável e estando algumas áreas de ocorrência dessa formação próximas aos focos de contaminação, a vulnerabilidade avaliada para esse aquífero varia de baixa a média.

- Os aquíferos representados pelas formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto, constituídas predominantemente por rochas pelíticas, são praticamente impermeáveis com poucos riscos de contaminação. Neste caso a vulnerabilidade desses aquíferos é baixa.

- Os sedimentos inconsolidados do Quaternário, ocorrendo ao longo dos rios Mãe Luzia e Manim ao sul de Treviso e também no rio Mãe Luzia nas proximidades de Nova Veneza, são constituídos de areias, cascalhos e argilas. A alimentação desse aquífero se processa através da infiltração direta das chuvas e a sua contaminação se verifica, principalmente naqueles situados ao longo do rio Mãe Luzia, através dos rejeitos que o rio carrega das minerações situadas a montante das ocorrências desses sedimentos. A vulnerabilidade do aquífero em função das considerações emitidas varia de média a elevada.

9. ÁREA DE CANDIOTA

Assim como foi feito no item 8 para a área de Siderópolis, neste item serão apresentados os estudos realizados na área que engloba parte dos municípios de Bagé e Pinheiro Machado, no Estado do Rio Grande do Sul.

Para facilitar sua localização convencionou-se denominá-la "Área de Candiota".

9.1 - LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de Candiota localiza-se na denominada Depressão Periférica do Rio Grande do Sul, região sul do estado, compreendendo parte dos municípios de Bagé e Pinheiro Machado sendo estes englobados respectivamente pelas microrregiões da Campanha e Alto Camaquã.

Está compreendida entre as latitudes 31°30'00'' a norte e 31°40'00'' a sul e entre as longitudes 53°46'40'' a oeste e 53°38'20'' a leste, perfazendo uma extensão aproximada de 245 km². O mapa de localização da área pode ser visto na figura 9.1.1.

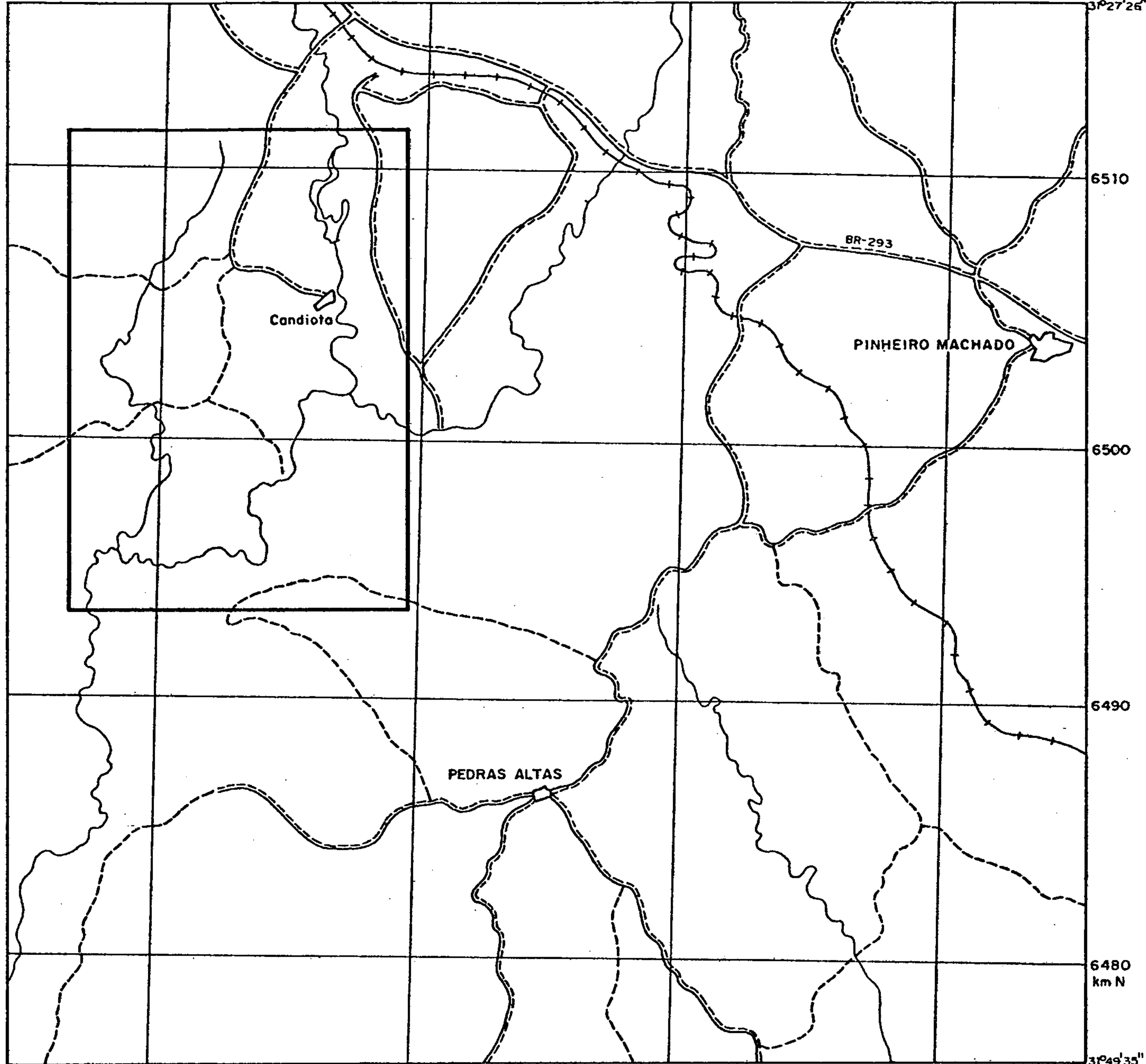
O acesso à área pode ser feito por via rodoviária seguindo-se o seguinte roteiro:

PERCURSSO	RODOVIA	CARAC- TERÍSTICAS	KM
Porto Alegre-Durasnal (entroncamento com a BR-153)	BR-290	asfaltada	220
Durasnal (entroncamen- to acima)-Bagé (entron- camento com a BR-293)	BR-153	asfaltada	137
Bagé (entroncamento a- cima) Vila Residencial da CEEE (entroncamento com a es- trada de acesso a Usina de Candiota)	BR-293	asfaltada	40
Vila Residencial da CEEE (entroncamento acima)- Vila Dario Lassance da CRM		asfaltada	<u>10</u> 407

53°48'19"

53°22'02"

31°27'26"



240 km E

250

260

270

6480
km N

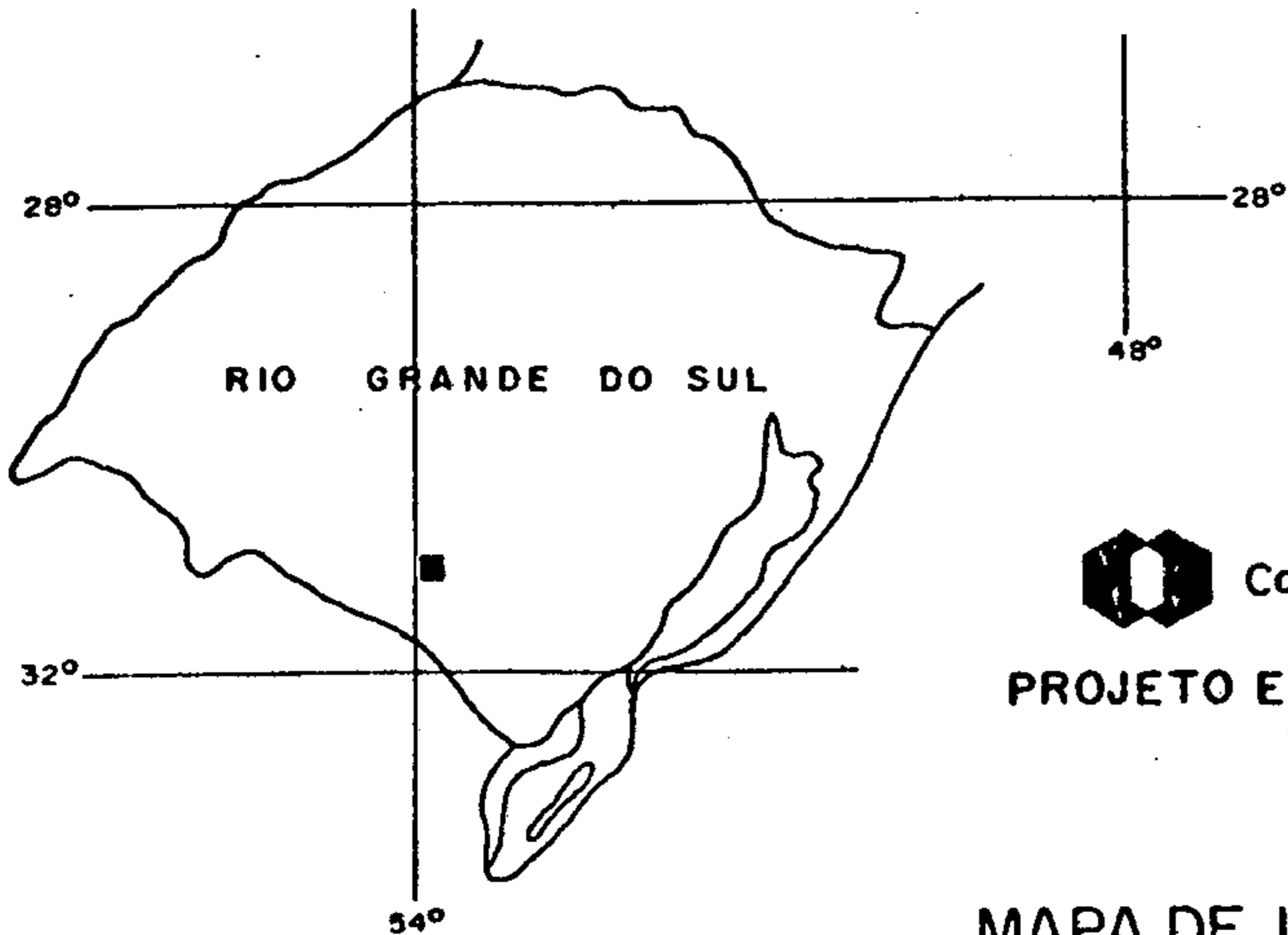
31°49'35"

ESCALA 1:250.000



CONVENÇÕES

- CIDADE, Vila
- DRENAGEM
- FERROVIA
- ESTRADA PRINCIPAL
- ESTRADA SECUNDÁRIA
- ÁREA DO PROJETO



Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO
DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS DECORRENTE
DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

MAPA DE LOCALIZAÇÃO - ÁREA DE CANDIOTA

Fig. 9.1.1

Também podemos atingir a área por via aérea até à cidade de Bagé, já que a Empresa Aérea Regional Rio Sul mantém um voo diário para esta cidade. A Usina Termoelétrica Presidente Médici da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), localizada no centro da área, dispõe de pista de pouso para aviões de pequeno porte.

9.2 - TRABALHOS REALIZADOS

Os trabalhos executados na área piloto de Candiota iniciaram-se com o levantamento bibliográfico, especialmente junto a órgãos atuantes na área tais como a Companhia Riograndense de Mineração (CRM), a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e a própria Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Foram utilizadas fotografias aéreas em escala 1:60.000 obtidas do levantamento aerofotogramétrico executado pela USAF em 1965 e fotografias aéreas de escala 1:20.000 obtidas em 1980 pelo convênio DNPM/CPRM.

As folhas topográficas, em escala 1:50.000, são do Serviço Geográfico do Exército (SGE) editadas em 1980. A área está englobada pelas folhas de Tupi Silveira (SH-22-Y-C-IV-1) e Pedras Altas (SH-22-Y-C-IV-2).

Foi executado mapeamento geológico, na escala de 1:50.000, em 245 km² de área. Este mapeamento se ateve mais às condições hidrogeológicas de cada formação.

Durante o levantamento efetuado na área foram cadastrados 64 pontos sendo 25 nascentes, 21 poços escavados, 1 poço tubular e 17 pontos de rio. Estes pontos cadastrados estão apresentados no Mapa de Pontos de Água, anexo IV.2.

Destes pontos cadastrados, 43 foram topografados com a determinação de cotas e coordenadas UTM, tendo por finalidade a elaboração do mapa piezométrico. Os pontos topografados constaram de 22 nascentes, 20 poços escavados e 1 poço tubular.

Foram coletadas 40 amostras de água, sendo 16

em nascentes, 17 em poços escavados, 1 em poço tubular e 6 em rio.

Nestas amostras foram feitas determinações de pH, condutividade e acidez no próprio campo, determinações de cátions e ânions no Laboratório de Análises Químicas Ltda de Porto Alegre e determinações de elementos maiores e elementos traços no Laboratório de Análises Mineraiis (LAMIN).

Foi celebrado contrato com a Fundação Universidade-Empresa de Tecnologia e Ciências (FUNDATEC) tendo por finalidade a realização de ensaios de carvão de rejeitos de mineração e beneficiamento e de cinzas.

Para este fim foram coletadas, na área de Candiota junto à área de mineração da CRM e na usina termoelétrica da CEEE, amostras de carvão, rejeitos de mineração e cinzas.

Após os testes de lixiviação executados pela FUNDATEC, foram enviadas 10 amostras ao LAMIN para determinação de alguns elementos maiores e elementos traços.

Das amostras enviadas 3 foram de água proveniente de testes de lixiviação em rejeitos da mineração do carvão, 2 de rejeitos, 1 de carvão, 2 de cinzas volantes recentes, 1 de cinzas volantes antigas e 1 de mistura de cinzas volantes e residuais.

9.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

9.3.1 - Elementos do Clima

Os dados referentes ao clima, coletados para elaboração deste estudo, foram obtidos da Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). Esses dados, que dizem respeito a observações realizadas no período de 1912 a 1980 (com interrupções) nas estações de Bagé e Usina Candiota, são apresentados no quadro 9.3.1.

9.3.1.1 - Pluviometria

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo na área de Candiota - RS, foram obtidos da estação meteorológica de Bagé (situada a noroeste da área de estudo) e da estação pluviométrica da Usina Termoelétrica de Candiota (quadro 9.3.1).

Uma análise dos dados fornecidos pelas duas estações mostra que o valor mínimo ocorreu no mês de novembro (Bagé, 92,0 mm e Candiota, 81,5 mm) nos respectivos períodos considerados. O valor máximo para a estação de Bagé foi registrado no mês de setembro (161,0 mm) e para a estação de Candiota no mês de julho (168,5 mm).

A observação dos dados apresentados mostra que o regime pluviométrico da região, em função das estações consideradas, não pode ser bem caracterizado pois, enquanto que na estação de Bagé as maiores médias mensais foram registradas em maio/junho e agosto/setembro, na estação de Candiota as maiores precipitações ocorreram de janeiro a março. Pode-se apenas salientar que, em parte, os meses de menor pluviosidade para as duas estações são os de novembro e dezembro.

DADOS METEOROLÓGICOS
ÁREA DE CANDIOTA

ESTAÇÕES	PARÂMETROS	MÉDIAS MENS AIS												ANO	PERÍODO
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
1	PLUVIOMETRIA (mm)	109,0	110,0	102,0	114,0	139,0	142	113,0	125,0	161,0	110,0	92,0	97,0	1.414	1912 - 1942
	TEMPERATURA (°C)	23,8	23,3	21,5	18,2	14,9	12,4	12,3	13,2	14,7	16,7	19,8	22,2	17,7	1912 - 1942
	U. RELATIVA (%)	72	75	76	78	82	84	83	82	80	77	73	71	78	1916 - 1942
	VENTOS	SE	SE	SE	SE	NE	NE	NE	NE	SE	SE	SE	SE	SE	1912 - 1948
	INSOLAÇÃO (horas)	266	229	216	189	173	152	158	170	170	203	247	271	2.444	1912 - 1942
	EVAPORAÇÃO (mm)	161	130	122	90	71	61	70	87	91	107	132	156	1.278	1912 - 1960
2	PLUVIOMETRIA (mm)	142,6	120,3	120,7	102,7	87,6	88,7	168,5	93,5	106,2	111,0	81,5	90,5	1.313,8	1973 - 1980

1- BAGÉ

2- USINA CANDIOTA

FONTE - C.E.E.E.

É necessário frisar que, atualmente, a ocorrência de precipitações sazonais, às vezes torrenciais, com certa frequência na região tende a provocar uma substancial mudança no clima, afetando em parte os trabalhos de campo pelas dificuldades encontradas nas vias de acesso e na coleta de dados.

Na figura 9.3.1 estão representadas as curvas das médias pluviométricas mensais das estações consideradas.

9.3.1.2 - Temperatura

O estudo da temperatura, na área de Candiota-RS, foi executado com base nos dados obtidos da estação de Bagé no período de 1912 a 1942 (quadro 9.3.1).

Uma análise dos dados apresentados mostra temperaturas médias mais elevadas nos meses de janeiro ($23,8^{\circ}\text{C}$) e fevereiro ($23,3^{\circ}\text{C}$), sendo julho ($12,3^{\circ}\text{C}$) o mês com temperatura média mais baixa.

Os meses mais frios são os de junho, julho e agosto, sendo dezembro, janeiro, fevereiro e março os mais quentes. A temperatura média anual é de $17,7^{\circ}\text{C}$ e as diferenças de temperatura entre inverno e verão oscilam ao redor de 10°C . Temperaturas mínimas abaixo de 0°C são registradas nos meses de junho a agosto durante os invernos mais rigorosos. No verão ocorrem temperaturas máximas que ultrapassam 40°C .

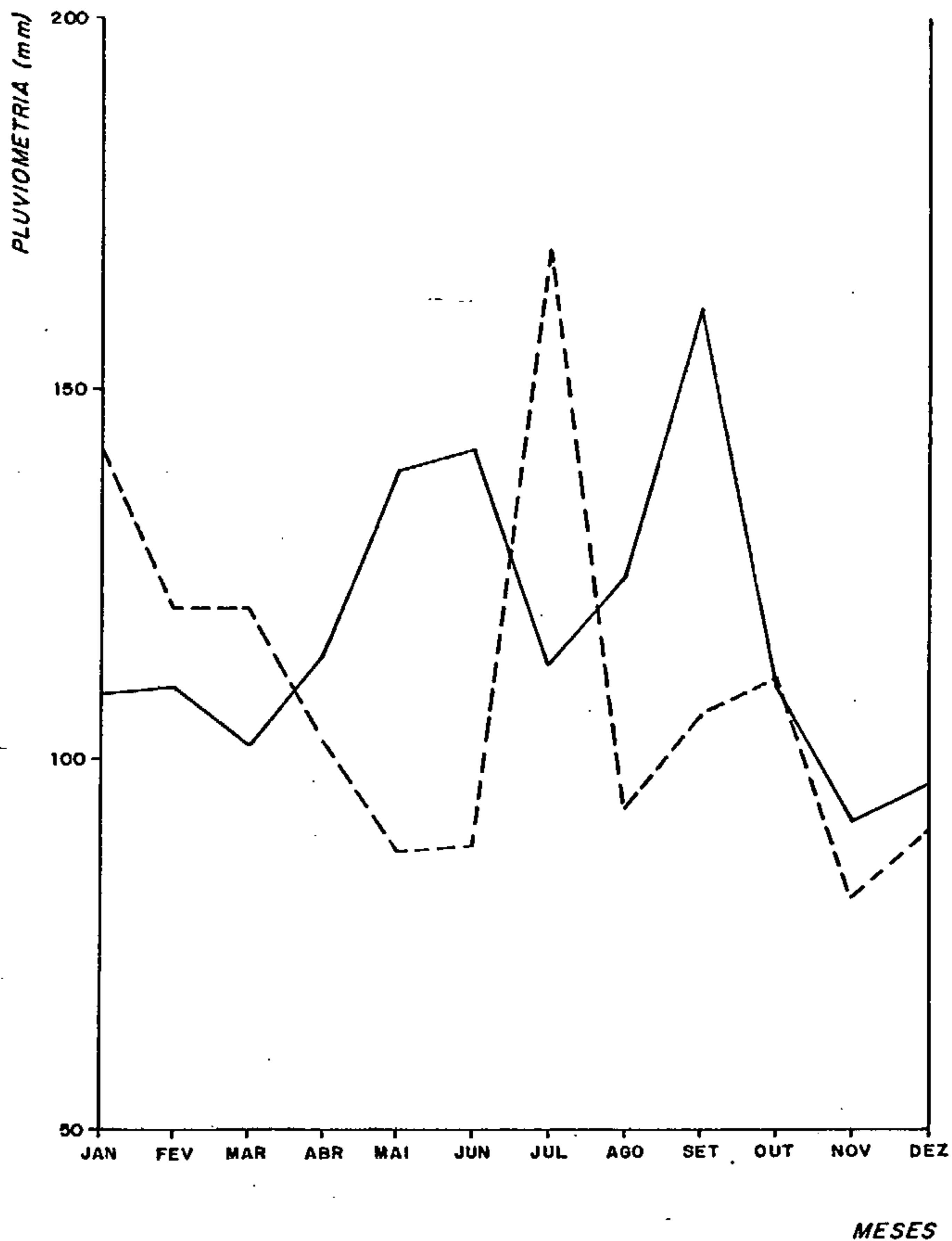
Na figura 9.3.2 é mostrada a curva das temperaturas médias mensais da estação em questão.

9.3.1.3 - Umidade Relativa, Ventos e Insolação

Os dados relativos a esses três parâmetros climáticos foram obtidos da estação de Bagé e correspondem aos

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA

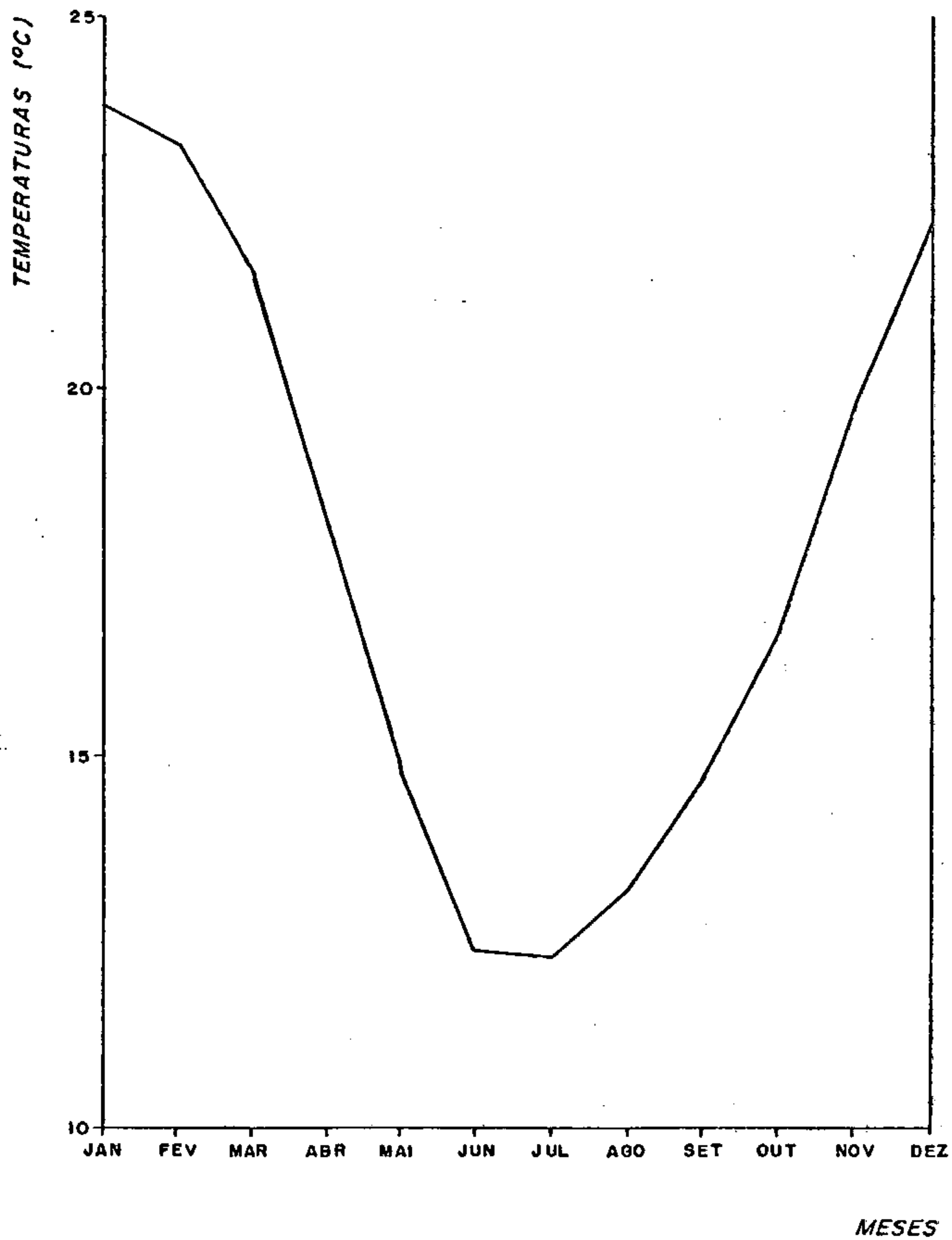


ESTACÃO	PERÍODO	
—	BAGÉ	1912 - 1942
- - -	USINA DE CANDIOTA	1973 - 1980

FIG. 9.3.1

TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA



ESTAÇÃO
BAGÉ

PERÍODO
1912 - 1942

FIG. 9.3.2

períodos de 1916 a 1942 para a umidade relativa, de 1912 a 1948 para os ventos e de 1912 a 1942 para a insolação. Esses dados são apresentados no quadro 9.3.1.

A observação dos dados referentes à umidade relativa mostram uma certa uniformidade na variação ao longo dos meses. Todos os valores estão acima de 70%, ocorrendo a maior média em junho (84%) e a menor em dezembro (71%).

Na figura 9.3.3 é apresentada a curva das médias mensais da estação em foco.

No estudo relativo aos ventos, os dados obtidos se referem apenas à sua direção predominante. Nota-se que no período considerado a direção predominante é sudeste.

Para a insolação, os dados obtidos mostram que os maiores valores ocorreram nos meses de novembro (247 horas), dezembro (271 horas) e janeiro (266 horas), sendo que o mês com menor número de horas de sol no período foi o mês de junho (152 horas).

Na figura 9.3.4 é mostrada a curva das médias mensais.

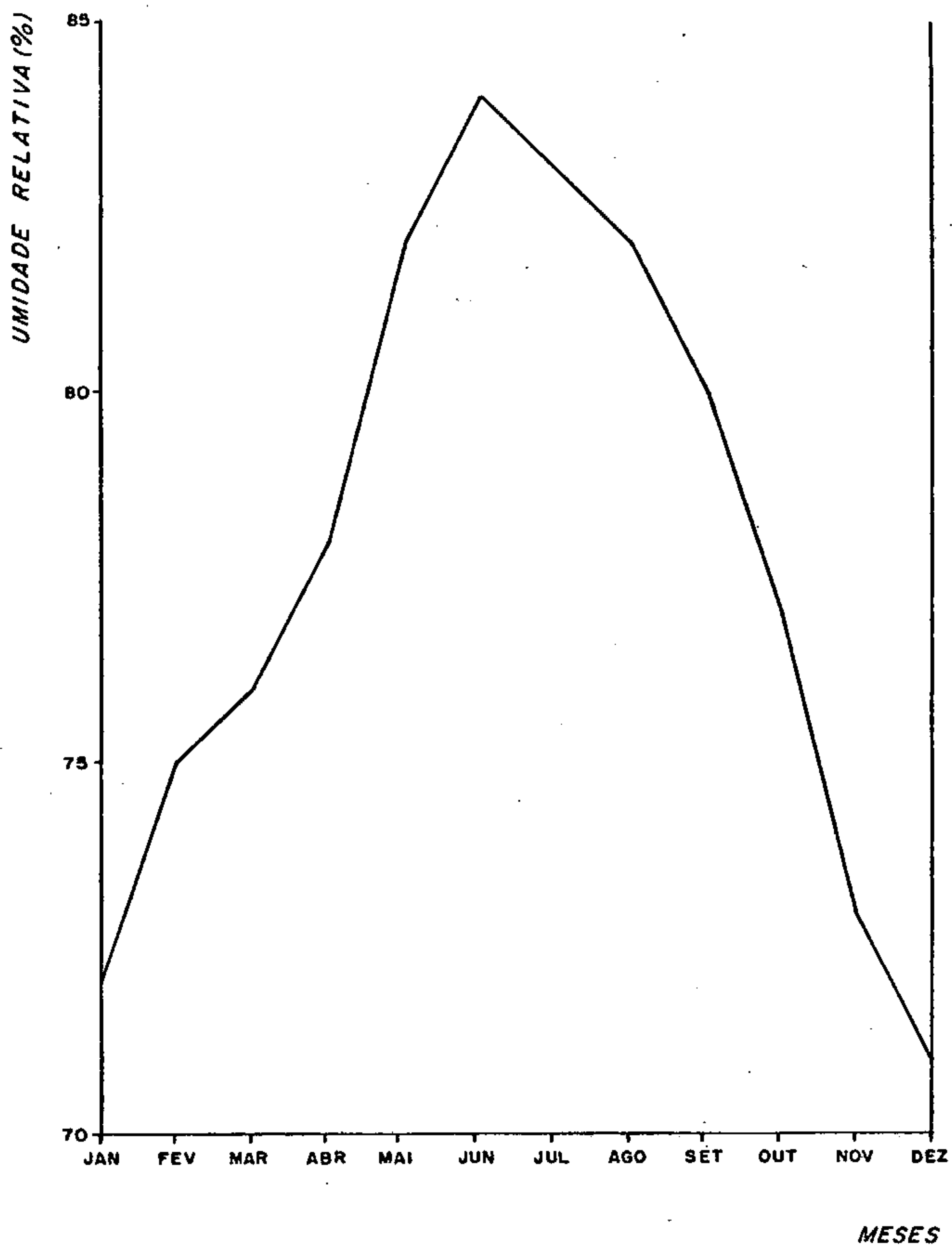
9.3.1.4 - Evaporação e Evapotranspiração

Os dados de evaporação (quadro 9.3.1) utilizados nesse estudo foram obtidos da estação de Bagé através de observações realizadas em tanques de Piché durante o período de 1912 a 1960.

Analisando esses dados nota-se que a evaporação é mais intensa nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro com vapores acima de 120 mm, sendo que no mês de junho ocorre o valor mínimo (61 mm). O total anual para ope-

UMIDADE RELATIVA - VALORES MÉDIOS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA



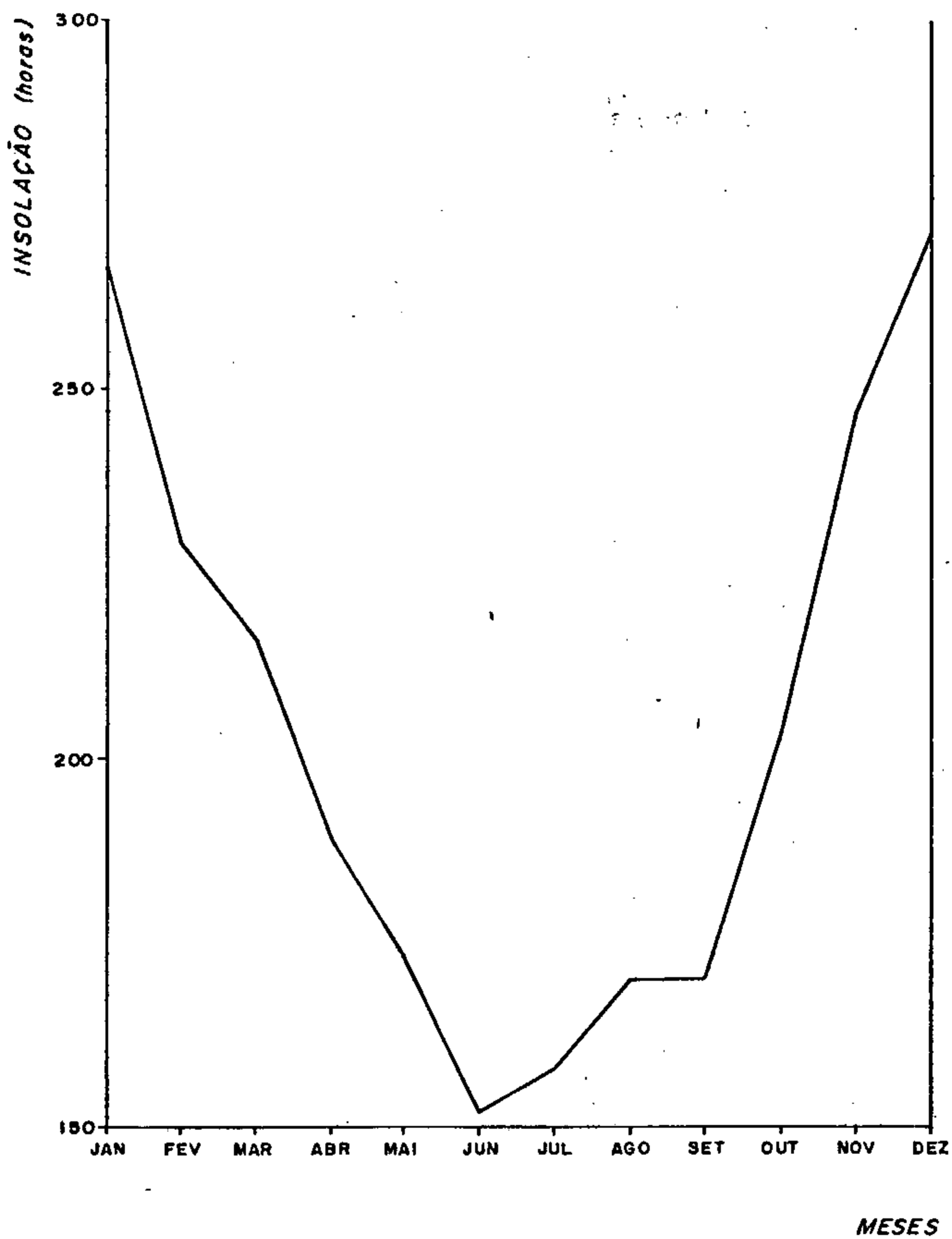
ESTACÃO
BAGÉ

PERÍODO
1916 - 1942

FIG:9.3.3

INSOLAÇÃO - VALORES MÉDIOS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA



ESTAÇÃO
BAGÉ

PERÍODO
1912 - 1942

FIG: 9. 3. 4

ríodo é de 1.278 mm.

A figura 9.3.5 mostra a curva das médias mensais da estação em questão.

A evapotranspiração, que consiste na perda de água subterrânea através da transpiração das plantas, foi calculada pela fórmula de Turc, mostrada a seguir, que fornece a evapotranspiração real (ETr).

$$ETr = \frac{P}{0,9 + \frac{P^2}{(300+25T+0,05 T^2)^3}}$$

onde: ETr = evapotranspiração média real anual, em mm

P = pluviometria anual, em mm

T = temperatura média anual, em °C

O valor obtido para a evapotranspiração real (ETr) foi 841,6 mm.

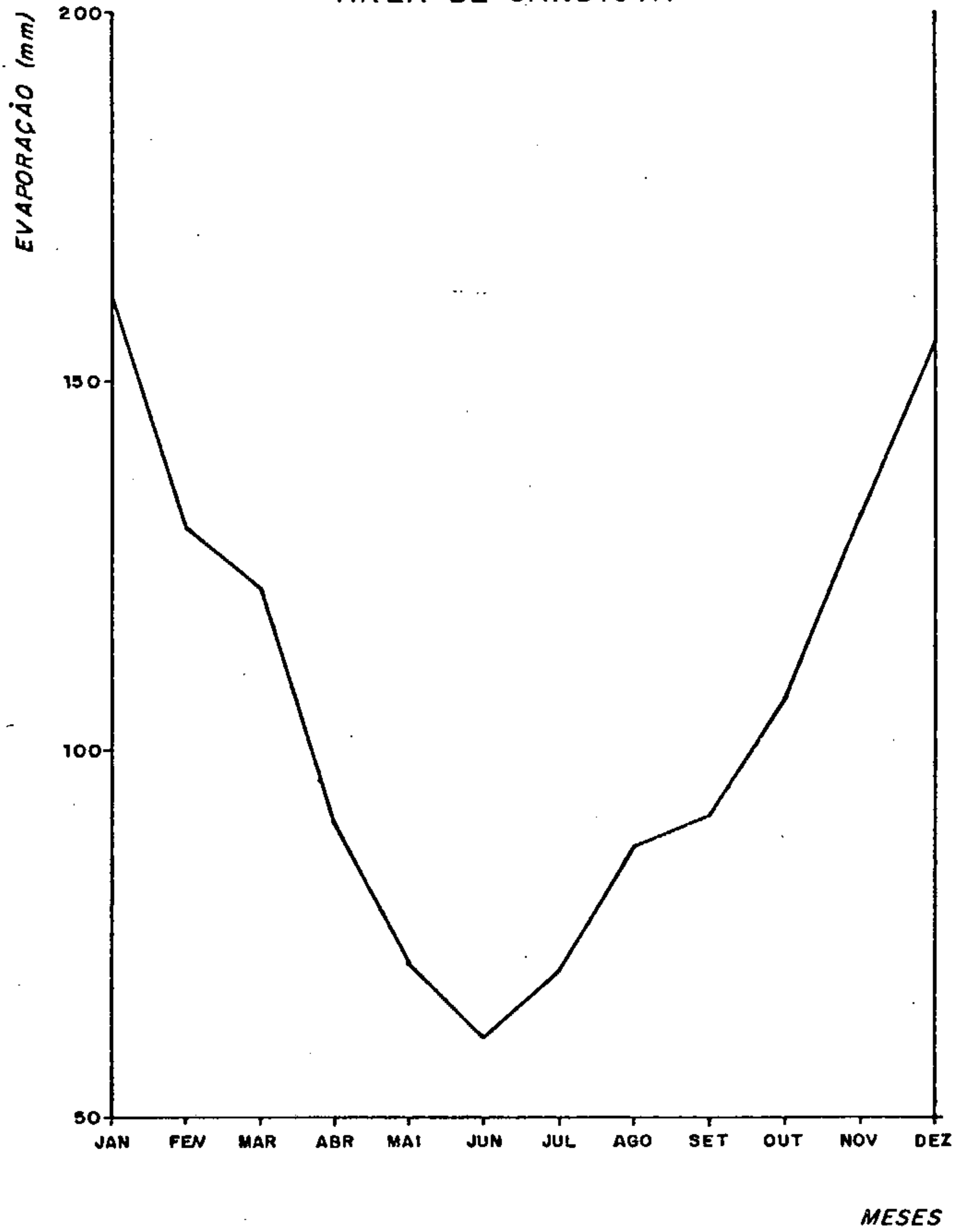
9.3.1.5 - Tipo de Clima

De posse dos dados relativos aos parâmetros climáticos abordados nos itens anteriores, pode-se dizer que o clima presente na região onde está situada a área de estudo revela verões relativamente quentes e ausência de estações secas.

Segundo a classificação climatológica de Köppen, um clima com essas características é do tipo "Cfb" que é definido como temperado, com verões onde o calor se faz presente e sem estações secas.

EVAPORAÇÃO - MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA



ESTAÇÃO

PERÍODO

BAGÉ

1912 - 1960

FIG: 9.3.5

9.3.2 - Geomorfologia

O relevo é formado por elevações suaves, arredondadas, formando as "coxilhas", características das regiões de campanha.

A geomorfologia da área, especialmente na região representante da Formação Rio Bonito, está condicionada à presença de pacotes de arenitos na coluna sedimentar, sobrejacentes às camadas de carvão, sendo que os processos de ferruginização funcionaram como mantenedores da topografia do terreno. Ocorrem nesta área, vales de paredes abruptas recortando a superfície suavemente ondulada, com nítida influência fluvial erosiva, apresentando grotões com padrão de drenagem predominantemente dendrítico.

Nos terrenos cristalinos, devido à maior resistência aos processos erosivos, são encontradas cotas mais elevadas quando comparadas aos terrenos sedimentares.

O mergulho regional das camadas, de sul a sudoeste condiciona a topografia dos terrenos sedimentares.

9.3.3 - Solos

De acordo com os dados da CRM, o horizonte orgânico denominado de 0 e formado de vegetais decompostos localizados acima do solo mineral, não ocorre na área de estudo, devido ao fato da vegetação típica ser rasteira.

O horizonte A1 mais superficial, no qual dominam partículas minerais sobre a matéria orgânica, é de ocorrência local. Predomina na área o horizonte A3 já na transição para o horizonte B. Esta terra vegetal encontra-se por vezes intercalada com afloramentos de arenito ferrificado.

Análises químicas do solo efetuadas para a CRM, identificaram solos com "textura 2", que possuem 20 a 40% de argila. São solos pobres, ácidos com pH médio de 4,7 e teor de matéria orgânica abaixo de 2% em média. Os teores de fósforo e potássio, respectivamente de 2,1 ppm e 60 ppm em média, variam de muito baixo (P) a significativo (K).

As espessuras e distribuições de terra vegetal são bastante descontínuas, variando de 0 a 0,50 metros e em média 0,30m, caracterizando um perfil de solo bastante crítico.

9.3.4 - Vegetação

A vegetação caracteriza-se predominantemente pela presença de gramíneas e secundariamente pela formação arbustiva vulgarmente chamada de "vassouras". Algumas matas ciliares aparecem ao longo das drenagens principais. A vegetação de maior porte está representada por escassas áreas reflorestadas com eucaliptos, especialmente na parte leste.

9.4 - ELEMENTOS DE HIDROLOGIA SUPERFICIAL

A área do projeto que abrange a região de Candiota é drenada pela sub-bacia do arroio de mesmo nome, pertencente à bacia do rio Jaguarão do qual é afluente pela margem esquerda.

Para o estudo do comportamento da água superficial na região de Candiota, foram coletados dados fluviométricos da estação situada no arroio Poacá, afluente pela margem direita do arroio Candiota. Esses dados correspondem a observações realizadas no período de 1973 a 1980.

O arroio Candiota nasce fora da área do projeto. Apresenta um curso aproximado segundo norte-sul até próximo do limite sul da área onde inflete para oeste até à confluência com seu principal afluente pela margem direita, o arroio Poacá e daí retorna à direção norte-sul. Os principais afluentes pela margem esquerda são os arroios Candiotinha, Caiena e Pitangueira.

A região drenada por essa sub-bacia possui como principais núcleos habitacionais as vilas de Candiota e da Companhia Riograndense de Mineração (CRM). Grande parte da região é ocupada por fazendas de criação de gado, além das minerações de carvão.

As drenagens médias mensais obtidas da estação fluviométrica do arroio Poacá são apresentadas no quadro 9.4.1 e representadas na figura 9.4.1.

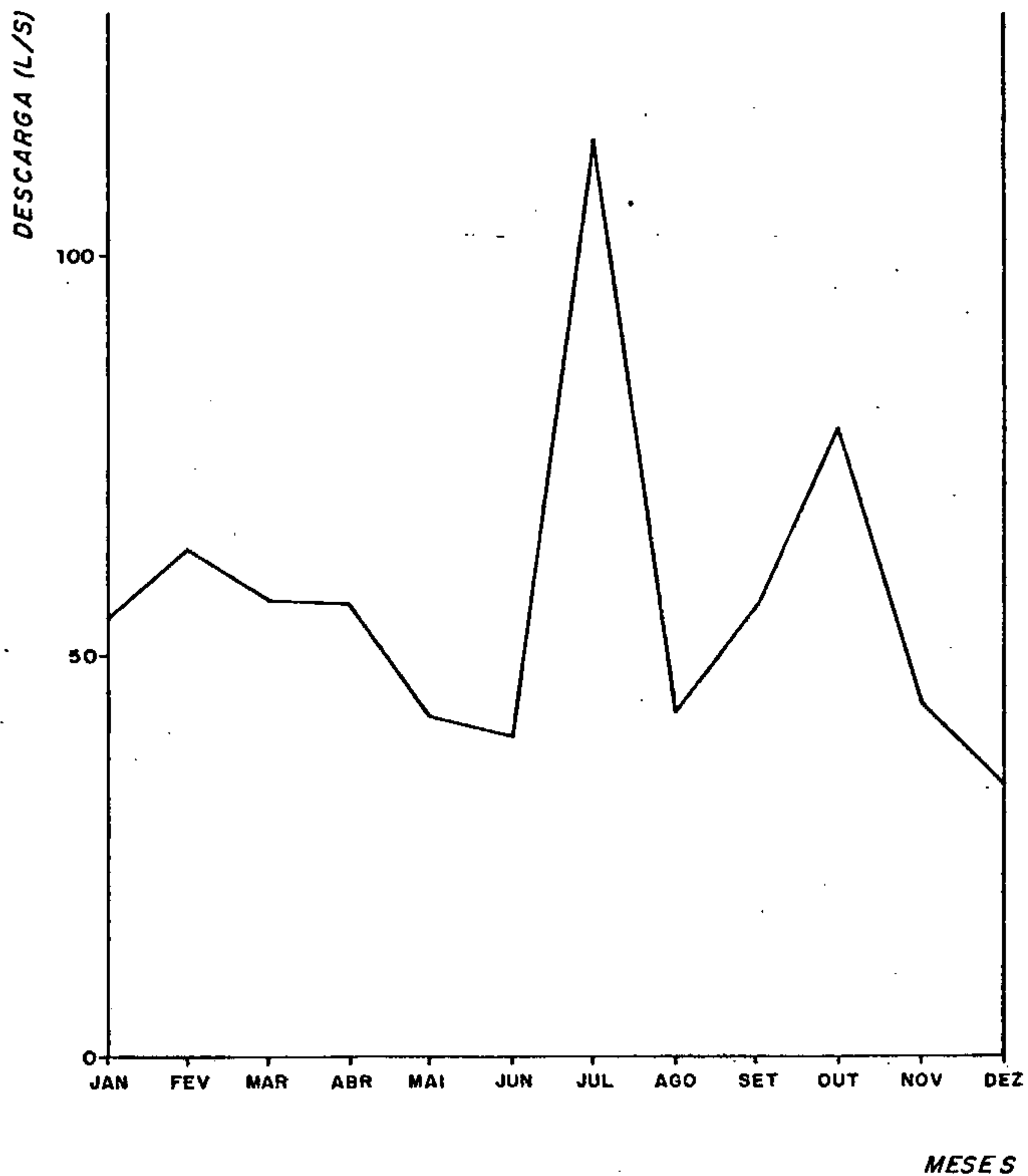
DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS (l/s)

BACIA	ESTAÇÃO	MÉDIAS MENSAIS												MÉDIA ANUAL	PERÍODO
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
JAGUARÃO	ARROIO POACÁ	54,8	63,4	57,1	56,8	42,5	40,0	114,3	42,9	56,2	78,6	44,7	34,5	57,2	1973-1980

Quadro 9.4.1

DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS

ÁREA DE CANDIOTA



ESTAÇÃO
— ARROIO POACÁ

PERÍODO
1973 - 1980

FIG:9.4.1

9.5 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

A área compreende os municípios de Bagé e Pinheiro Machado, que contam respectivamente com uma população de 100.135 hab. e 14.356 hab. e densidade demográfica de 14,94 hab/km² e 4,74 hab/km² conforme o censo realizado pelo IBGE em 1980. O maior crescimento populacional entre os anos de 1970 a 1980 correspondeu ao município de Bagé com 10,9%, enquanto Pinheiro Machado cresceu apenas 0,6%, sendo que neste mesmo período a população rural permaneceu estacionária (Bagé) ou diminuiu (Pinheiro Machado).

A região está bem servida de comunicações, havendo 5.547 telefones instalados, 41 terminais de telex, 3 emissoras de rádio e uma estação de TV. Em termos de saúde pública existem 04 hospitais (Bagé) e 03 (Pinheiro Machado).

No setor de ensino, os dois municípios contam com estabelecimentos de 1ª e 2ª graus, enquanto somente o município de Bagé possui instituições de nível superior.

As atividades econômicas estão primordialmente ligadas às atividades agropecuárias, sendo que o município de Bagé é considerado Polo Protéico. Seu rebanho em 1980 contava com 491.250 bovinos, 747.860 ovinos, 12.400 suínos e 121.100 aves. Na produção agrícola destacam-se arroz (59.670 ton.), milho (10.650 ton.), soja (12.240 ton.), sorgo (29.184 ton.) e trigo (7.399 ton.).

As atividades industriais que mais contribuem para a economia são a produção alimentar, metalúrgica e indústria de mineração de carvão (Bagé) e calcário (Pinheiro Machado). A localidade de Candiota (município de Bagé) abriga uma usina termoelétrica utilizando o carvão minerado pela CRM.

9.6 - ATIVIDADES MINEIRAS

9.6.1 - Generalidades

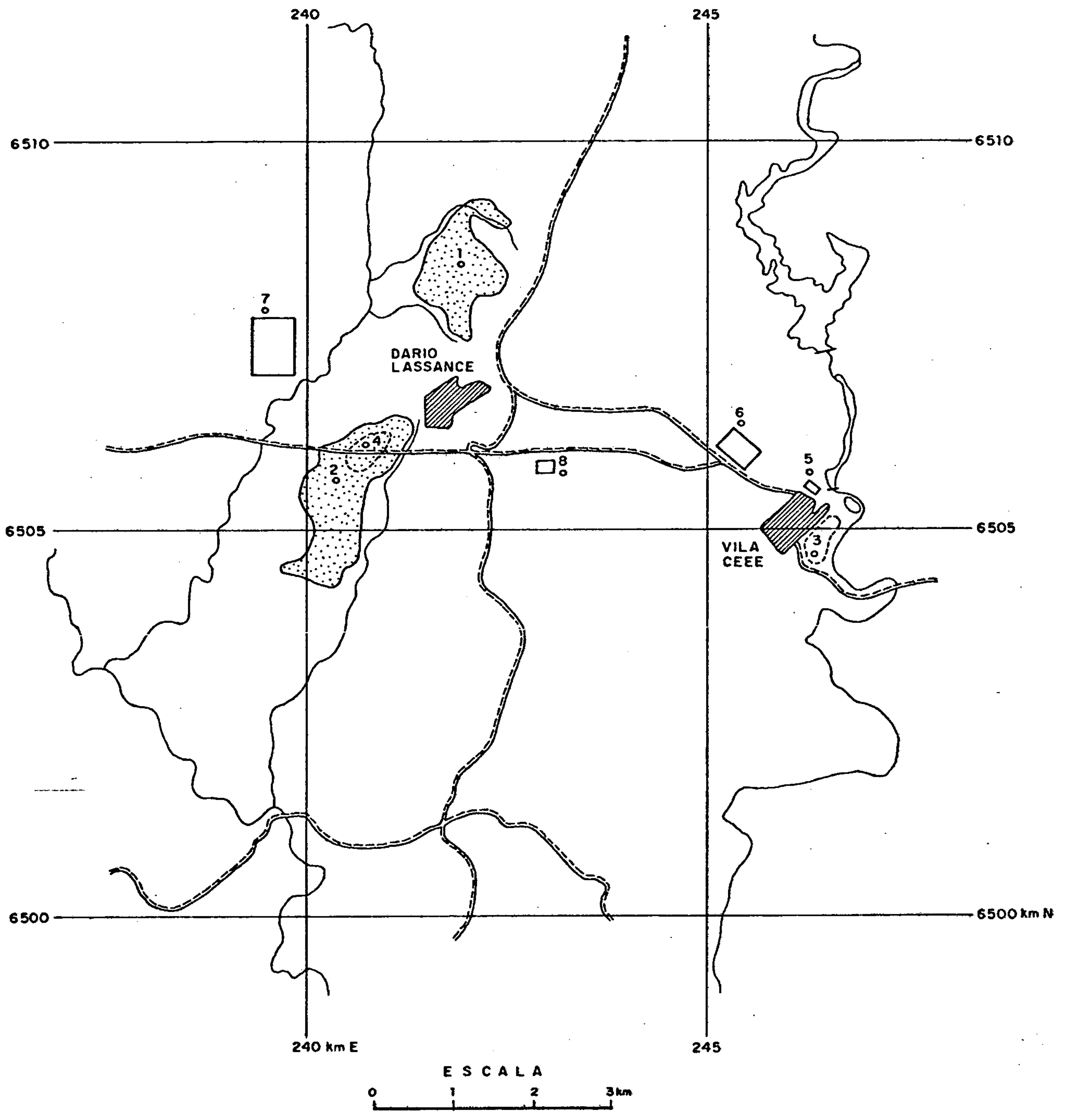
As atividades mineiras na área, ao contrário do que ocorre em Siderópolis-SC, são executadas apenas por uma empresa, a Companhia Riograndense de Mineração (CRM), com o objetivo específico de abastecer a Usina Termoelétrica Candiota II, fases A e B.

A exploração mineral da jazida de Candiota foi iniciada na última metade do século passado; até às primeiras décadas deste século, a exploração foi artesanal, nas chamadas "carvoeiras", que eram afloramentos de carvão a meia encosta dos vales. Este carvão abastecia as charqueadas da região, que ainda nos dias atuais é carente de vegetais para a produção de lenha.






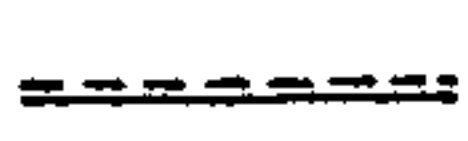

A partir de 1940 iniciaram-se os trabalhos de pesquisa objetivando bloquear uma reserva de carvão suficiente para o abastecimento de uma usina termoelétrica "à boca da mina". Em 1961 iniciaram-se os trabalhos de lavra na denominada Malha I, localidade de Dario Lassance, para suprimento da Usina Termoelétrica Candiota I. Em 1974 entrou em operação a Usina Termoelétrica Presidente Médici (Candiota II).

Nos últimos anos desenvolveram-se estudos para implantação, na área de Candiota, de uma nova usina, Candiota III, com potência de 2.000 MW.

As atividades mineiras da área estão representadas na figura 9.6.1.



C O N V E N Ç Õ E S

- | | | | |
|---|---|---|-----------------------------------|
|  | CAMPO MINERADO A CÉU ABERTO | 1 | CAMPO MALHA I |
|  | VILA | 2 | CAMPO MALHA II |
|  | RIOS PRINCIPAIS | 3 | DEPÓSITO DE CINZAS ANTIGO |
|  | BARRAGEM | 4 | DEPÓSITO DE CINZAS ATUAL |
|  | LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO | 5 | USINA TERMOELÉTRICA I DESATIVADA |
|  | ESTRADA | 6 | USINA TERMOELÉTRICA II |
|  | RELAÇÃO DAS ATIVIDADES DE MINERAÇÃO E USO DO CARVÃO | 7 | USINA TERMOELÉTRICA III PROJETADA |
| | | 8 | LAVADOR EM INSTALAÇÃO |

ATIVIDADES MINEIRAS—ÁREA DE CANDIOTA

Fig. 9.6.1

9.6.2 - Características da Mineração

Atualmente a única empresa a operar em Candiota é a Companhia Riograndense de Mineração, ocupando parte da jazida de Candiota que supera os 8,0 bilhões de toneladas de reservas.

A lavra é executada a céu aberto, sendo minerada a camada Candiota. O carvão minerado é transportado diretamente para a usina termoeletrica onde é britado e estocado para aproveitamento direto na geração de eletricidade. Ainda não estão instaladas plantas de beneficiamento para estes carvões.

A exemplo da situação de Siderópolis-SC, as origens das cargas contaminadoras podem ser definidas como fontes área e fontes pontuais. Devido à maior distribuição espacial das fontes área, elas adquirem maior importância quando se estuda a contaminação das águas subterrâneas.

9.6.2.1 - Fontes Área

a) Campo Malha I

Na área estudada existe uma mina exaurida, localizada na margem esquerda do arroio Poacá próximo as suas cabeceiras. Este campo foi minerado a partir de 1961, pertencendo à Malha I de pesquisa e ocupando uma área de aproximadamente 90 ha. O decapeamento da cobertura originou cristas com alturas superiores a 10 metros, sendo que a auto-recuperação do campo é muito pobre, com escassa vegetação, como gramíneas e samambaias. Existe uma predominância de blocos de arenito de pequena dimensão sobre as argilas.

b) Campo Malha II

Este campo está localizado a 1,5 km do anterior, também ocupando a margem esquerda do arroio Poacá ao sul da localidade de Dario Lassance, sendo a única mina de carvão em atividade na área. O decapeamento da cobertura (em média 9,5 metros) é realizado por duas escavadeiras elétricas tipo *shovel*, sendo uma P&H 1855 com capacidade para 8 jd³ e outra marca Lima Hamilton 2.400 com capacidade para 4,5 jd³. A extração dos bancos de carvão é realizada conjuntamente por um trator de esteira Komatsu modelo D 155 A com escarificador e uma escavadeira elétrica tipo *shovel* marca P&H 995. Como resultado deste trabalho, formaram-se cones de estéril com altura média de 12 metros e 30 metros de largura na base compostos por blocos de arenitos de diferentes dimensões, argilas e matéria carbonosa, além de restos da própria camada Candiota como perda de mineração, caracterizando assim uma paisagem lunar. Como os trabalhos de lavra neste campo iniciaram-se na década de 70, praticamente inexistente qualquer recuperação natural do terreno. Não existe neste campo terra vegetal disponível, já que foi misturada com os demais materiais quando das operações de desmonte na lavra.

A produção anual neste campo está em torno de 700.000 toneladas de carvão ROM (696.010 t em 1983), sendo que numa segunda etapa, com a ampliação da mina, a produção deverá atingir 1.800.000 toneladas anuais. A produção será basicamente usada para abastecimento da Usina Termoelétrica Presidente Médici - Fases A e B (Candiota II).

9.6.3 - Atividades Relacionadas com o Uso de Carvão Mineral - Usinas Termoelétricas

Conforme já foi citado no item 9.6.1, o início das operações de lavra na jazida de Candiota deu-se concomitantemente com a entrada em funcionamento da Usina Ter-

moelétrica Candiota I, com potência de 20 MW, atualmente desativada.

Em 1974 entrou em operação a primeira etapa da Central Termoelétrica Presidente Médici, Fase "A", com 126 MW de potência, estando a Fase "B" em testes para início de operações ainda em 1984, com uma potência de 446 MW.

Nos últimos anos desenvolveram-se estudos para a implantação na jazida de Candiota de um novo complexo gerador, Candiota III, com potência de 2.000 MW em 6 unidades de 335-350 MW, estando já previsto um escalonamento de novas usinas, para uma potência final de aproximadamente 8.000 MW, implicando em consumos de mais ou menos 12.000.000 e 48.000.000 t de carvão/ano respectivamente.

9.6.3.1 - Fontes Área

As cifras acima citadas, por si só, demonstram que as preocupações com preservação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais, do solo e ar desta região, não são infundadas. Como o carvão utilizado na central termoelétrica possui um teor médio em material mineral inerte em torno de 52%, as cinzas provenientes da queima deste carvão contêm associações de elementos traços, que após os fenômenos de turbulência gerados por condições atmosféricas, precipitam-se e concentram-se ao nível do solo. Os principais poluentes atmosféricos como: dióxido de enxofre, gás sulfídrico, monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio além de hidrocarbonetos e materiais particulados, são substâncias que podem modificar a qualidade da água da chuva tornando-a mais ácida. Estas águas causam fracas alterações químicas nos solos ou litologias em que se infiltram e posteriormente na zona de saturação do aquífero.

Entretanto, os rejeitos sólidos (cinzas)

provenientes da queima ocupam um papel importante como fonte-área, já que estão diretamente em contato com o solo. As cinzas residuais antigas foram depositadas próximo ao leito do arroio Candiota, junto à usina Candiota I, em terrenos originários de rochas cristalinas migmáticas, de maneira que sua influência é direta sobre a qualidade dos mananciais superficiais. Sobre estes depósitos foi tentado um reflorestamento com eucaliptos que contribuiu para amenizar os efeitos de poluição visual pelo acúmulo de cinzas.

Atualmente a deposição de cinzas residuais da usina Candiota II, se faz nas "cavas" oriundas da lavra a céu aberto, ocupando o lugar da camada de carvão que as gerou e em contato direto com as litologias permeáveis e semi-permeáveis que compõem a Formação Rio Bonito.

9.6.3.2 - Fontes Pontuais

Ainda não estão operando unidades de beneficiamento de carvão na área de Candiota, de modo que os efluentes líquidos estão restritos apenas à purga do sistema de refrigeração da usina, drenagem do carvão estocado ao ar livre, limpeza dos equipamentos, sistema de desmineralização da água das caldeiras e efluentes sanitários. A descarga destes efluentes é feita no arroio Candiota, não havendo contribuições dos mesmos para as águas subterrâneas.

Segundo dados da CEEE, para o tratamento dos efluentes líquidos da usina Candiota III, será dado ênfase na separação de efluentes que merecem tratamentos diferentes e no reuso ao máximo, dos efluentes tratados.

9.7 - GEOLOGIA REGIONAL

A área está compreendida dentro da extensão meridional da Bacia Intracratônica do Paraná, estando localizada na região carbonífera de Candiota.

A região é constituída por rochas pré-gonduânicas representadas pela Suíte Metamórfica Cambaí, Rochas gonduânicas do subgrupo Itararé e das formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto e por sedimentos pós-gonduânicos representados por depósitos terciários e quaternários.

A coluna estratigráfica da região está representada na figura 9.7.1.

9.7.1 - Unidades Pré-Gonduânicas

9.7.1.1 - Suíte Metamórfica Cambaí

É constituída por uma seqüência estrutural e petrograficamente muito complexa. Nela estão presentes gnaisses a biotita, bastante feldspáticos, de coloração predominantemente acinzentada, e secundariamente biotita-hornblenda-gnaisses, hornblenda-gnaisses e anfibolitos. Estes gnaisses apresentam-se seguidamente recortados por grandes massas de rochas graníticas, que muitas vezes se tornam predominantes. Ainda são comuns, em alguns locais, lentes de calcários e calcários marmorizados intercalados na seqüência gnáissica.

9.7.2 - Unidades Gonduânicas

9.7.2.1 - Subgrupo Itararé

Geralmente a base desta seqüência é constituída

COLUNA ESTRATIGRÁFICA DA REGIÃO DE CANDIOTA

PERÍODO	UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA			LITOLOGIAS
	GRUPO	SUB-GRUPO	FORMAÇÃO	
QUATERNÁRIO				Depósitos de aluviões e coluviões
PALERMO	PASSA DOIS		RIO DO RASTO	Arenitos finos a médios, avermelhados com intercalações de siltitos e argilitos castanho-avermelhados
			ESTRADA NOVA	Siltitos cinza-chumbo a esverdeados com intercalações de arenitos finos a médios
			IRATI	Folhelhos e siltitos cinza escuros com intercalações de folhelhos pirobetuminosos pretos e lentes de calcário
	TUBARÃO	GUATÁ	PALERMO	Siltitos cinza claros a cinza-chumbo, com intercalações de lâminas e leitos de arenitos finos cinza claros, localmente carbonáticos
			RIO BONITO	Arenitos finos a médios, localmente grosseiros, cinza-esbranquiçados intercalados com siltitos cinza-escuros, siltitos carbonosos e camadas de carvão
		ITARARÉ	RIO DO SUL	Arenitos finos, esbranquiçados, siltitos, diamicritos e ritmitos
PRÉ-CAMBRIANO	SUITE METAMÓRFICA CAMBAI			Gnaisses a biotita, granitos, calcários e calcários marmorizados

Fig 9.71

da por um paraconglomerado com matriz constituída por arenito feldspático imaturo, médio a grosseiro, às vezes com cimento carbonático. A porção grosseira é geralmente formada por grânulos e matacões de rochas graníticas, gnáissicas, quartzo e rochas sedimentares eo-paleozóicas.

Sobreposto ao paraconglomerado estão arenitos freqüentemente arcosianos, grosseiros, com raros seixos e grânulos de rochas graníticas.

Na parte intermediária desta seqüência encontramos uma unidade constituída por intercalações de ritmitos, arenitos esbranquiçados muito finos e siltitos maciços às vezes com finas intercalações de arenitos finos.

A porção superior é constituída por diamictitos, arenitos e ritmitos intercalados. Os diamictitos apresentam seixos e matacões angulosos, geralmente constituídos por granitos, gnaisses ou rochas eo-paleozóicas, imersos em matriz normalmente areno-argilosa. Os arenitos são de composição arcosiana e lítica, de cores claras, sendo a matriz siltica ou constituída por lamitos cinza claros. Já os ritmitos apresentam intercalações de leitos finos de siltito cinza claro com lâminas de argilito siltico cinza escuro.

O subgrupo Itararé é transicional para a Formação Rio Bonito.

9.7.2.2 - Formação Rio Bonito

Esta formação é constituída predominantemente por sedimentos terrígenos clásticos, de ambiente fluvial.

A parte basal é constituída por arenitos quartzosos intercalados com camadas e leitos conglomeráticos. As camadas de carvão estão ligadas a depósitos paludais tais como siltitos carbonosos, lamitos ou ritmitos, sem manter muita uniformidade na sua espessura.

Na porção intermediária estão presentes arenitos e siltitos freqüentemente carbonosos. É nesta parte da formação que se encontra a principal camada de carvão da região, a denominada Camada Candiota. Acima desta ainda são encontradas algumas camadas de carvão mas com pouca expressão devido à pouca espessura e descontinuidade lateral.

A parte superior da formação é constituída por siltito de cor cinza, laminado, denominado siltito *flaser* que muitas vezes é confundido com a Formação Palermo. A passagem para esta formação é transicional. O ambiente de deposição é provavelmente o de planícies de marés.

9.7.2.3 - Formação Palermo

Esta formação é caracterizada pela presença, na parte inferior, de siltitos de coloração predominantemente cinza clara com intercalações de leitos de argilito e mais raramente arenitos de granulometria fina a média. Em alguns locais esta seqüência pode gradar lateralmente para um siltito argiloso cinza escuro a preto bastante micáceo, localmente com cimento carbonático.

A seqüência superior é constituída por siltitos de coloração predominantemente cinza-chumbo, com intercalações de leitos finos descontínuos de arenitos, de granulação muito fina, de coloração cinza claro, às vezes com cimento carbonático. Localmente o siltito é maciço e homogêneo podendo ainda aparecer intervalos com presença de arenitos finos a grosseiros com abundante cimento carbonático. Próximo da base desta seqüência são comuns pequenas camadas de calcarenitos normalmente de coloração cinza clara, com matriz argilosa.

Nesta formação é comum o aparecimento das chamadas "estruturas rompidas" provocadas pela destruição das

feições sedimentares primárias. Estas estruturas se caracterizam pela presença de leitos e lâminas quebradas e descontínuas de arenitos, siltitos e argilitos de cores claras, englobados por siltitos geralmente de coloração cinza-chumbo às vezes cinza escuro.

O contato desta formação com a Formação Irati, que lhe é sobreposta, é feito de uma maneira transicional, com interdigitamento freqüente.

9.7.2.4 - Formação Irati

O intervalo inferior desta formação é constituído por folhelhos, siltitos normalmente argilosos às vezes algo arenosos. A coloração varia do cinza claro ao cinza escuro. Podem ser maciços ou apresentarem intercalações de leitos finos e lâminas de arenitos e argilitos esbranquiçados, freqüentemente com cimento carbonático, às vezes silicoso.

Nesta seqüência é comum o aparecimento de rochas carbonáticas formadas por camadas médias a espessas de calcilutitos cinza claros e calcário cinza escuro a creme. A presença de concreções carbonáticas intraformacionais também é comum neste intervalo.

Já a parte superior desta formação se caracteriza pelo adensamento de leitos finos e médios de calcário cinza claro, argiloso, formando acamadamento lenticular.

Neste intervalo é encontrada a camada de folhelho pirobotuminoso, que apresenta uma espessura mais ou menos constante por volta de 3m. Este folhelho apresenta cores de marrom escuro a preto, textura fina e densidade relativamente baixa. Finas lascas desta rocha submetidas à chama de isqueiro, queimam com um crepitar característico e despren

dem um leve cheiro de querogênio.

O ambiente de deposição desta formação é o marinho, restrito, com pouca circulação de água e baixa salinidade.

A passagem desta formação para a Formação Estrada Nova é transicional.

9.7.2.5 - Formação Estrada Nova

A litologia desta formação é essencialmente constituída por siltitos, freqüentemente argilosos, intercalados com estratos finos a médios de arenitos. O siltito é normalmente de coloração cinza-chumbo a esverdeado, com variações locais para cinza claro e avermelhado no topo. Geralmente este siltito é micáceo, apresentando uma fratura conchoidal típica. É freqüente a intercalação deste com leitos e estratos finos de arenito cinza-claro, micáceo, argiloso e muitas vezes com cimento carbonático. O arenito normalmente é fino a médio.

Normalmente os siltitos predominam sobre os arenitos, mas às vezes esta tendência se inverte com a predominância destes. Neste caso aparecem estratos de arenitos finos a médios de cor cinza, feldspáticos, micáceos e localmente com cimento carbonático abundante. Em todo o intervalo é comum a presença de concreções nodulares de rochas silto-carbonáticas de conformações discóides e ovaladas com até 2m de diâmetro.

Na porção basal desta formação ocorre uma camada pouco espessa, descontínua, irregular, de folhelho pirobetuminoso com baixo teor de querogênio. A rocha basal desta formação é constituída por uma rocha carbonática de ampla distribuição regional que pode ser facilmente visualizada nos

perfis geofísicos.

9.7.2.6 - Formação Rio do Rasto

Esta formação é essencialmente constituída por siltitos, lamitos e mais raramente argilitos associados com leitos e camadas de arenitos e às vezes alguns leitos conglomeráticos intraformacionais. A cor predominante é o castanho-avermelhado podendo variar para tonalidades bordô e cinza-avermelhado. Esta coloração é dada pela presença de óxidos de ferro. Os sedimentos finos normalmente apresentam tonalidades mais intensas.

A parte basal desta formação é normalmente constituída por arenitos de coloração rósea, finos a muito finos, micáceos, maciços e muito consistentes. A matriz é argilosa com cimento carbonático freqüente.

É comum o aparecimento de lentes de rochas carbonáticas de formas esféricas e elipsoidais normalmente achatadas. Estas lentes apresentam-se em cores cinza-rosadas.

Em direção ao topo da seqüência torna-se cada vez mais freqüente a presença de corpos arenosos com aumento de granulometria predominando a fração do tamanho areia média. Nestes, estão subordinados corpos lenticulares de arenitos grosseiros a conglomeráticos, feldspáticos com matriz argilosa.

A interação de leitos e camadas de rochas areníticas e rochas sílticas e argilosas formam laminações do tipo plano-paralela, lenticular e esporadicamente ondulada e convoluta.

9.7.3 - Unidades Pós-Gonduânicas

9.7.3.1 - Quaternário Holoceno Aluvionar/ Coluvionar

A formação das planícies aluvionares dá-se ao longo das faixas marginais do rio Jaguarão e formadores da bacia do Candiota. Localmente estas planícies estendem-se por áreas consideráveis recebendo a denominação de banhados.

As aluviões são constituídas por sedimentação detrítica areno-argilosa, transportada pelos rios e arroios e depositadas ao longo de suas planícies de inundação.

No aspecto geral compõem-se de sedimentos predominantemente quartzosos, de granulometria variando entre areia grossa a fina.

9.8 - GEOLOGIA LOCAL

A área estudada é constituída por unidades pré-gonduânicas representadas pela Suíte Metamórfica Cambaí, unidades gonduânicas constituídas pelas formações Rio Bonito, Palermo, Irati e Estrada Nova e por sedimentos pós-gonduânicos representados por depósitos aluvionares.

O mapa geológico da área é encontrado no anexo IV.1.

9.8.1 - Unidades Pré-Gonduânicas

9.8.1.1 - Suíte Metamórfica Cambaí

Rochas desta unidade afloram na parte leste e nordeste da área, situando-se em cotas mais elevadas que as outras unidades da área.

É constituída por biotita-gnaisses, feldspáticos, predominantemente acinzentados. Estas rochas apresentam-se recortadas por rochas graníticas, de coloração rosada, constituídas predominantemente por quartzo e feldspato e subordinadamente biotita.

Localmente, na parte leste da área, aparecem algumas lentes de calcário intercaladas na seqüência metamórfica.

9.8.2 - Unidades Gonduânicas

9.8.2.1 - Formação Rio Bonito

As rochas desta unidade são as predominantes

na área, cobrindo mais de 60% da mesma.

É constituída essencialmente por arenitos quartzosos, finos a médios, de coloração cinza claro a cinza-esbranquiçada, algo feldspáticos. Localmente podem apresentar cimento carbonático. Geralmente os grãos de quartzo apresentam-se subarredondados.

Esta unidade é a portadora das camadas de carvão existentes na área.

Intercalados nos arenitos podem aparecerníveis de siltitos de coloração cinza a cinza escura, maciços e homogêneos. Estes siltitos se tornam mais abundantes junto às camadas de carvão onde se apresentam carbonosos.

São comuns concreções e disseminações piritosas nas fraturas dos arenitos, especialmente os próximos das camadas de carvão.

As rochas desta unidade pela sua composição predominantemente arenosa se constituem em excelentes aquíferos.

9.8.2.2 - Formação Palermo

Esta unidade aflora na parte sul da área estudada, além de uma pequena ocorrência no extremo norte.

É constituída por siltito de coloração cinza com intercalações milimétricas a centimétricas de arenito fino, esbranquiçado, muitas vezes com cimento carbonático. Nesta seqüência são freqüentes laminações paralelas, irregulares e lenticulares.

Localmente podem ser observadas estruturas de sobrecarga e indícios de bioturbação.

A Formação Palermo apresenta rochas com potencialidade relativamente baixa em termos de aquífero, devido à sua composição predominantemente siltica.

9.8.2.3 - Formação Irati

As rochas desta formação são encontradas no extremo sul da área, além de alguns pequenos afloramentos na parte oeste.

É constituída predominantemente por siltito argiloso, de coloração cinza a cinza escura, com esparsas intercalações milimétricas a centimétricas de argilito e/ou arenito esbranquiçado, fino, com cimento geralmente carbonático.

Intercalado nestes siltitos, é comum o aparecimento de camadas, às vezes com mais de 3 metros, de calcário microcristalino, de coloração cinza clara a esbranquiçada.

Na parte superior da seqüência aparece uma camada de 2 a 3 metros de folhelho preto às vezes marrom escuro, de textura fina e densidade relativamente baixa. Localmente podem ser observados níveis centimétricos a decimétricos de siltito argiloso, cinza a esbranquiçado com cimento carbonático.

É um aquífero extremamente pobre pela sua constituição predominantemente silto-argilosa.

9.8.2.4 - Formação Estrada Nova

As rochas desta formação só afloram em pequenas extensões na parte sudoeste da área.

É constituída predominantemente por siltitos de coloração cinza a cinza-chumbo, freqüentemente argilosos, intercalados com estrados finos a médios de arenitos esbranquiçados normalmente com cimento carbonático.

Localmente pode haver predominância dos arenitos sobre os siltitos. Estes arenitos são finos a muito finos de colorações predominantemente esbranquiçadas, com cimento carbonático.

Pela sua composição predominantemente síltica torna-se um aquífero relativamente pobre.

9.8.3 - Unidades Pós-Gonduânicas

9.8.3.1 - Aluviões

Estes sedimentos estão presentes nas planícies de inundação dos principais drenadores da área, destacando-se o arroio Candiota e o arroio Poacá.

Na parte sul da área é que se encontram as principais planícies aluvionares.

São constituídas predominantemente por uma sedimentação detrítica areno-argilosa, localmente com alguns bancos de cascalho.



CPRM

9.8.4 - Relação da Geologia com a Contaminação

Como foi citado no item correspondente descrito para a área de Siderópolis, a composição química e qualidade das águas subterrâneas estão intimamente ligadas com as diferentes litologias pertencentes às formações geológicas.

As concentrações dos teores de enxofre são variáveis de acordo com o paleoambiente deposicional, sendo que os ambientes marinhos e salobros proporcionam o maior ou menor aparecimento deste elemento nas camadas de carvão subjacentes (Horne, op.cit.).

Na área de Candiota, ocorre na Formação Rio Bonito uma litologia de espessura uniforme e persistência lateral, constituída de siltitos cinza escuro a preto, intercalados com lâminas e estratos finos, de arenito fino a médio carbonático. Esta litologia representa um facies de sedimentação em baixios de marés, protegidos por barreiras de ilhas ou de areias (Menezes Fº, 1983) e reflete uma transgressão marinha com afogamento progressivo das planícies costeiras e fluviais. O aparecimento de teores de enxofre de 1 a 2% nos carvões, valores estes raramente ultrapassados, confirmam que houveram constantes avanços e recuos das águas, com recorrências do facies fluvial, portanto sob franca influência continental (Menezes Fº, op.cit.).

Com esta definição do ambiente paleodeposicional fica constatado o menor grau de contaminação a que os aquíferos desta área estão sujeitos através da lavra das camadas de carvão que ali ocorrem. A presença de arenitos finos, carbonáticos, são elementos positivos na contenção dos avanços da contaminação por ácidos, pois existe inicialmente uma neutralização eficaz através dos carbonatos e uma precipitação dos metais pesados em dissolução pela troca iônica com cálcio.

9.9 - TECTÔNICA

A área é cortada por numerosos falhamentos agrupados em dois sistemas bem distintos, um de direção NE e outro NW.

As falhas de direção NE são as predominantes variando suas direções de $N30^{\circ}E$ a $N45^{\circ}E$ sendo as primeiras as mais numerosas. Neste sistema NE de falhamentos, uma que se destaca é a falha Vila Candiota que passa nas proximidades da vila do mesmo nome.

As falhas do sistema NW apresentam direções variando de $N30^{\circ}W$ a $N45^{\circ}W$, destacando-se entre estas a falha Passo da Conceição que passa nas proximidades da vila Dario Lassance da CRM.

Este conjunto de falhas existentes na área produzem um sistema ortogonal de falhas normais que se interceptam produzindo sucessivas estruturas em degraus formando *horsts* e *grabens*.

Os esforços atuantes na área foram os de distensão já que os falhamentos são do tipo normal e não foram evidenciados dobramentos ou falhamentos do tipo inverso que pudessem sugerir a atuação de esforços tangenciais.

9.10 - HIDROGEOLOGIA

9.10.1 - Generalidades

Na pesquisa bibliográfica sobre trabalhos de hidrogeologia realizados anteriormente na região de Candiota-RS constatou-se a falta de estudos mesmo a nível regional que abordassem o comportamento das águas subterrâneas sobre todos os aspectos. Por esse motivo este estudo é pioneiro na região.

Para efeito descritivo, as ocorrências de água subterrânea foram reunidas segundo os tipos de rochas e estruturas abertas, nas duas seguintes categorias de aquíferos:

- Aquíferos em rochas do embasamento cristalino.
- Aquíferos em rochas sedimentares.

Os primeiros, cuja capacidade de armazenamento e circulação da água está intimamente relacionada à existência de juntas e fraturas abertas bem como à intercomunicação entre as mesmas, são representados pelas rochas cristalinas da Suíte Metamórfica Cambaí e cobrem cerca de 20% da área total de estudo.

Os aquíferos em rochas sedimentares compreendem às formações Rio Bonito (que representa o melhor aquífero da seqüência sedimentar ocorrente na área de estudo),

Palermo, Irati, Estrada Nova e os sedimentos inconsolidados do Terciário-Quaternário Indiviso e Quaternário Indiviso.

Durante os trabalhos de campo foram cadastrados 64 pontos de água, dos quais 01 (1,6%) é poço tubular, 21 (32,8%) são poços escavados, 25 (39,1%) são nascentes e 17 (26,5%) são pontos em rios, cujos dados correspondentes estão indicados no Catálogo Geral de Pontos de Água (1) (anexo II.1). A densidade média é de um ponto de água para cada 3,8 km². Por litologia, para um total de 21 poços escavados, 28,6% estão nas rochas do embasamento cristalino e 71,4% nas rochas sedimentares. Quanto às nascentes, as 25 cadastradas estão localizadas 4,0% no embasamento cristalino e 96,0% nas rochas sedimentares e para os 17 pontos de rios, 29,4% estão no embasamento e 70,6% nas rochas sedimentares. Foram nivelados pela topografia 43 pontos, sendo 01 poço tubular, 20 poços escavados e 22 nascentes.

9.10.2 - Relação entre Geologia e Água Subterrânea

O relacionamento geologia/água subterrânea depende de uma série de fatores que caracterizam cada unidade geológica como provável fornecedora de água. Estes fatores são o meio físico, o modo de ocorrência, a forma dos depósitos, as condições de circulação da água e os parâmetros hidráulicos.

Na área em estudo, conforme foi referido no item 9.10.1, podem ser distinguidos dois tipos de aquíferos:

- Aquíferos em rochas cristalinas ou fraturadas.
- Aquíferos em rochas sedimentares.

Nos aquíferos fraturados as rochas são maciças, praticamente impermeáveis e não porosas. O acúmulo de



CPRM

água se dá ao longo das fraturas e diáclases. Correspondem, na área, às rochas da Suíte Metamórfica Cambaí.

Quanto aos aquíferos em rochas sedimentares, o armazenamento de água subterrânea se processa através dos poros ou interstícios da rocha. São representados na área pelas rochas sedimentares das formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova e os sedimentos inconsolidados do Terciário-Quaternário Indiviso e Quaternário Indiviso.

9.10.3 - Água Subterrânea em Rochas Fraturadas

De uma maneira geral, as rochas cristalinas são compactas e resistentes e possuem uma permeabilidade primária praticamente nula o que dificulta a infiltração e o escoamento das águas subterrâneas.

O meio aquífero das rochas fraturadas é bastante fraco no que se refere a armazenamento e produção de água, dependendo da existência de juntas, fraturas e da extensão e litologia do manto de intemperismo sobrejacente.

A formação do sistema de fraturas nas áreas cristalinas depende da sua evolução tectônica.

Os sistemas de fraturas longitudinais são afetados posteriormente por esforços de tensão que dão origem a fraturas paralelas e angulares transversais à direção dos estratos, propiciando a interconexão entre os sistemas de fraturas considerados. As do segundo tipo, mais abertas, dão origem a razoáveis depósitos de água subterrânea. No conjunto, essas fraturas constituem uma verdadeira rede de fissuras interligadas onde ocorre o armazenamento da água subterrânea. Acredita-se que a comunicação hidráulica entre as fendas se processa apenas na parte superior do aquífero, pela razão de que estas tendem a se fechar com a profundidade,

em consequência da pressão litostática. Estudos estatísticos de alguns autores comprovaram esse fato e argumentam que as possibilidades de se encontrar água em terrenos cristalinos diminuem consideravelmente a partir dos 40 metros de profundidade.

9.10.3.1 - Rochas Cristalinas

O embasamento cristalino, abrangendo cerca de 20% da área total, é constituído predominantemente por gnaisses a biotita da Suíte Metamórfica Cambaí.

Na área de ocorrência das rochas do embasamento cristalino foram cadastrados e catalogados 07 pontos de água, sendo 06 poços escavados e 01 nascente, além de 05 pontos em rios para efeito de estudo da qualidade das águas superficiais. Estes 06 poços escavados apresentam profundidades que variam de 3,40m a 10,70m e as profundidades dos níveis estáticos variam de 0,15m a 3,40m.

9.10.3.1.1 - Condições de Alimentação

Na recarga do sistema aquífero dos terrenos cristalinos, o principal agente regenerador das reservas de água subterrânea é o sistema hidrográfico superficial que atuando nas zonas de coincidência fratura-drenagem, pode assegurar uma constante realimentação através das aluviões, durante os períodos de maior intensidade de chuvas.

Na área verifica-se que a alimentação sofre algumas restrições, pois a rede hidrográfica não é muito densa, o manto de intemperismo é pouco espesso atingindo no máximo 0,50m e as aluviões são pouco expressivas ocorrendo, na área abrangida pelas rochas cristalinas, apenas no limite norte dessa área.

9.10.3.1.2 - Escoamento e Exutórios

As rochas fraturadas podem originar dois tipos de reservatório: um, resultante do fraturamento superficial e outro originado das fraturas que ocorrem em profundidade. As fraturas mais próximas da superfície originam um sistema denso que, na maioria das vezes, possui conexão direta com o manto de intemperismo, e constitui uma aquífero livre; a topografia é o principal fator que controla a circulação. O fraturamento em profundidade, apresentando fraturas individualizadas que dão origem a uma trama rarefeita, pode oferecer condições de confinamento onde as paredes das fraturas orientam e controlam a circulação.

Na área em estudo onde ocorrem as rochas cristalinas, pelo fato de só existirem poços escavados e nascentes, não permite tecer maiores considerações acerca do escoamento, pois para isso seriam necessárias informações sobre entradas de água que iriam definir o maior ou menor grau de fraturamento dessas rochas.

Os principais exutórios que atuam nos depósitos de água subterrânea no âmbito de ocorrência das rochas cristalinas são os rios, as nascentes e a evapotranspiração.

A drenagem superficial na área onde ocorrem essas rochas é pouco densa e por esse motivo a sua atuação na descarga dos depósitos de água subterrânea não é significativa.

As nascentes, que também contribuem para a perda natural de água dos aquíferos, ocorrem no contato do manto de intemperismo com as rochas do embasamento. Na área de estudo, onde ocorrem as rochas cristalinas, foi cadastrada apenas uma nascente o que impede uma explanação mais de-

talhada sobre esse exutório, pois ele é pontual e não representa toda a área.

A evapotranspiração, outro fator de descarga dos aquíferos, consiste na perda de água através da transpiração das plantas. Na área onde ocorre o embasamento cristalino, a contribuição desse exutório na perda de água dos aquíferos não pôde ser avaliada por falta de dados.

9.10.3.1.3 - Capacidade de Produção dos Poços

Durante os trabalhos de campo constatou-se, através de informações dos usuários, que os poços escavados, cadastrados na área do embasamento cristalino, apresentam uma variação pouco acentuada do nível estático no período inverno/verão e mesmo nas estiagens mais acentuadas ainda conservam certo volume de água.

Embora os dados obtidos na área sejam relativos a poços escavados pode-se salientar que quanto à capacidade de produção dos poços a utilização diária dos mesmos mostra, segundo informações dos usuários, que são capazes de suprir as necessidades da população rural.

9.10.4 - Água Subterrânea em Rochas Sedimentares

Neste item serão abordadas as características hidrogeológicas da seqüência sedimentar que ocorre na área de Candidota, além dos sedimentos inconsolidados terciário-quaternários e quaternários.

Em razão do pequeno número de dados de que se dispõe para cada uma das formações pertencentes à seqüência, o estudo do comportamento hidrogeológico será realizado de maneira geral apenas procurando destacar as característi-

cas hidrogeológicas da Formação Rio Bonito que representa o principal aquífero da região.

9.10.4.1 - Rochas Sedimentares

Na área de ocorrência dessas rochas foram cadastrados e catalogados 40 pontos de água sendo 01 poço tubular, 15 poços escavados e 24 nascentes, além de 12 pontos em rios para efeito de estudo da qualidade das águas superficiais.

O poço tubular é surgente e os 15 poços escavados mostram profundidades variando entre 1,80m e 9,40m, sendo que os níveis estáticos variam de 0,25m a 6,45m.

9.10.4.1.1 - Condições de Alimentação

A alimentação do aquífero Rio Bonito se processa principalmente através da infiltração direta a partir das precipitações.

As condições geológicas reguladoras da recarga na área em estudo apresentam-se bastante favoráveis. Nas áreas onde aflora essa formação, que cobre mais de 60% da área total de estudo e é constituída de arenitos quartzosos finos, siltitos, folhelhos e carvão, predomina uma topografia plana constituindo as "coxilhas", cobertas por um solo arenoso de espessura mínima e com boa permeabilidade.

A alimentação por infiltração através da drenagem superficial não se verifica, pois aliado à pouca densidade de drenagem, os rios tem caráter efluente, ou seja, recebem contribuição das águas subterrâneas.

Para o aquífero Palermo a alimentação se dá pela infiltração direta das águas da chuva e também através

da contribuição do aquífero inferior por filtração vertical. Essa formação, cobrindo pequena porção no quadrante sudeste da área, pelo fato de apresentar uma alternância de siltitos e arenitos finos finamente intercalados, comporta-se como uma camada confinante do aquífero Rio Bonito em profundidade.

A Formação Irati, que ocorre na porção sul da área em estudo, constitui um sistema aquífero fraco com escassas possibilidades de armazenar e fornecer água. Sua alimentação ocorre também através de infiltração direta das águas de chuva nas áreas de afloramento.

Da mesma maneira que a Formação Irati, a Formação Estrada Nova, constituída principalmente por siltitos e folhelhos com algumas intercalações de arenitos, ocorre em pequena extensão a sudoeste da área formando o topo das "coxilhas". É um sistema aquífero também fraco e sua alimentação se processa através da infiltração direta das precipitações.

Os depósitos terciário-quaternário, ocorrendo em pequena extensão sobre o embasamento cristalino, e quaternário, principalmente ao longo do arroio Candiota no sul da área, são constituídos de areias, cascalhos, sedimentos aluvionares e síltico-argilosos ou síltico-arenosos inconsolidados, que dependendo da espessura, poderiam se constituir em sistemas aquíferos expressivos, porém não se dispõe de dados sobre as dimensões desses depósitos. Sua alimentação é feita através da infiltração direta pelas águas da chuva.

9.10.4.1.2 - Escoamento

A elaboração da superfície piezométrica, na área de Candiota-RS, foi obtida através de medidas dos níveis estáticos dos pontos cadastrados e do nivelamento topográfico-

co desses pontos.

Na área em questão, 60,5% dos pontos nivelados estão na parte onde aflora a Formação Rio Bonito e por esse motivo será dado maior destaque ao escoamento nessa formação.

Após ser elaborada a superfície piezométrica do aquífero Rio Bonito, com o traçado das linhas equipotenciais e das linhas de fluxo do aquífero freático, verificou-se que a superfície freática é controlada topograficamente com linhas de fluxo convergentes em direção aos mananciais superficiais conforme mostra o mapa piezométrico (anexo IV.3). Os gradientes hidráulicos são baixos e variam de 0,6 m/km a 32,0 m/km, situando-se a maioria abaixo de 10 m/km.

Onde a Formação Rio Bonito está confinada pelas demais formações da seqüência, a água sob pressão dá origem a poços surgentes, como pode ser constatado no único poço tubular cadastrado na área (ponto 42).

Para o restante da área de estudo, coberta pelas formações Palermo, Irati, Estrada Nova e pelos depósitos terciário-quaternários e quaternários, pelas indicações das linhas equipotenciais e das linhas de fluxo, verifica-se que o escoamento se processa em direção aos principais cursos de água que drenam a região.

9.10.4.1.3 - Exutórios

Os principais exutórios que atuam na descarga natural dos aquíferos são os rios, as nascentes e a evapotranspiração.

No caso dos rios essa descarga ocorre de maneira pouco efetiva em razão da pequena densidade de dre-

nagem na área em questão.

Na área de afloramento da Formação Rio Bonito foram cadastradas 17 nascentes (68% do total) e embora não tendo sido coletados dados acerca das vazões dessas nascentes, pode-se salientar que esses exutórios contribuem na descarga natural do aquífero.

Quanto à evapotranspiração, os dados relativos a esse exutório dizem respeito à estação climatológica de Bagé de onde foram obtidos os valores de evaporação utilizados no cálculo da ETr (evapotranspiração real). Portanto, a atuação desse exutório na área em estudo, como agente de descarga natural do aquífero, não pôde ser comprovada efetivamente pela inexistência de postos de observação dentro dessa área.

Para as demais formações pertencentes à sequência sedimentar e os depósitos terciário-quadernário e quadernário que ocorrem na área em estudo, os exutórios que poderiam atuar na descarga natural desses aquíferos seriam as nascentes e os rios, que contribuem para a descarga, pelo fato de terem caráter efluente. A evapotranspiração não foi determinada por falta de dados para calculá-la. Devido ao pequeno número de nascentes cadastradas nas formações e depósitos acima citados, não se pode concluir que esse exutório realmente atue na descarga natural desses aquíferos.

9.11 - LIXIVIAÇÃO DOS ELEMENTOS CONTAMINANTES

9.11.1 - Generalidades

O processo de queima do carvão em termoelétricas é uma fonte constante de poluentes ambientais, que afetam tanto o ar quanto o solo e água. Um dos problemas mais críticos referem-se à acidificação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com a conseqüente solubilização dos metais tóxicos presentes nas cinzas.

O objetivo deste estudo é avaliar o grau de lixiviação de metais tóxicos nas cinzas e carvões da área de Candiota. A lixiviação foi obtida em laboratório, simulando-se as condições ambientais que levam à geração de drenagens ácidas e conseqüente solubilização dos metais tóxicos.

9.11.2 - Lixiviação de Cinzas e do Carvão de Candiota

O trabalho foi estendido para envolver algumas amostras de cinzas e carvão do Rio Grande do Sul. Inicialmente foram lixiviadas cinzas volantes da Usina Termelétrica Candiota I (já extinta) e depositadas há 20 anos, cinzas volantes e residuais da U.T. Candiota II (Presidente Médici A) que estão sendo depositadas nas cavas de mineração e amostras de carvão da mina de Candiota. Os resultados da lixiviação estão apresentados no quadro 9.11.1.

Lixiviação de carvão e cinzas das termoelétricas de Candiota. Concentrações em micrograma/l/kg de cinzas

	Cinzas volantes de Candiota I	Carvão	Cinzas volantes e residuais de U.T. Pres. Médici A
teor de enxofre (%)	0,17	pirítico 0,3 orgânico 1,2	0,58
teor de cálcio (%)	0,1	0,1	0,2
pH da drenagem	4,5	4,7	3,5
Cu	1	2	22
Pb	2	3	2
Zn	430	120	2900
Cd	1	1	1
Fe	10	6	120
Mn	30	200	2200
Be	1	1	2
As	14	5,4	1

Quadro 9.11.1

Observa-se que as cinzas volantes de Candiota I possuem baixos teores de S e Ca resultando num efluente levemente ácido, mas com pequenas concentrações de metais. Estas cinzas praticamente não representam perigo para os recursos hídricos. Na prática, isto já foi constatado, pois há um bosque sobre o local do depósito.

Já as cinzas recentes da U. Presidente Médici A (volantes e residuais) possuem um teor de S um pouco mais alto do que o teor de Ca, resultando num efluente ácido. Dos metais analisados, apenas o zinco e o manganês podem prejudicar o meio ambiente. Na prática, têm sido observadas drenagens com pH de 3,8-4,0, o que confirma nosso resultado de que o potencial poluidor dos rejeitos de Candiota é muito menor do que o potencial poluidor do carvão catarinense.

A drenagem do carvão também apresenta pequeno potencial poluidor em termos de metais. O pH da drenagem situa-se acima de 4,0, devido tanto ao baixo teor de enxofre pirítico, quanto à morfologia da pirita, que é massiva sem a presença de pirita framboidal.

Conclui-se, então, que a leve acidez das águas subterrâneas observada em Candiota deve-se à disposição inadequada das cinzas residuais das termelétricas em operação. Estas cinzas provenientes do fundo das fornalhas carregam consigo toda a pirita do carvão que não volatilizou-se. Esta pirita, disposta inadequadamente no ambiente, gera a acidez que já começa a comprometer os recursos hídricos de Candiota.

9.12 - HIDROQUÍMICA

9.12.1 - Generalidades

No estudo do comportamento hidroquímico das águas subterrâneas na área de Candiota-RS procurou-se obter dados que permitissem determinar a qualidade dessas águas no que diz respeito ao consumo humano, animal e para irrigação.

Durante a etapa de campo foram coletadas 34 amostras, sendo 01 em poço tubular, 17 em poços escavados e 16 em nascentes. Segundo a litologia, foram coletadas 06 amostras em poços escavados e 01 amostra em nascente no embasamento cristalino (Suite Metamórfica Cambaí). Na área abrangida pelas rochas sedimentares (Formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Terciário-Quaternário Indiviso e Quaternário Indiviso) foram coletadas 01 amostra em poço tubular, 11 amostras em poços escavados e 15 amostras em nascentes.

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas Ltda (Porto Alegre-RS), sendo feitas as seguintes determinações: alcalinidade, acidez, resíduo seco a 110°C e constituintes principais (mg/l) Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Fe^{++} , ferro total, HCO_3^- , CO_3^{--} , Cl^- e SO_4^{--} .

O pH e a condutividade elétrica foram determinados *in loco* durante os trabalhos de campo utilizando-se o medidor de pH Metronic "ES-B2" e o condutivímetro Antar S/01. Os valores de condutividade foram corrigidos para a temperatura de 25°C, através de fatores de conversão forne-

cidos pelo manual do aparelho, para temperaturas da água medidas no momento da coleta no intervalo de 10 a 31°C.

Os resultados das análises fornecidos em miligramas por litro (mg/l) são apresentados no Catálogo Geral de Pontos de Água (2) (anexo II.2). Na interpretação desses resultados, quando necessário, esses valores foram convertidos em miliequivalentes por litro (meq/l) utilizando-se fatores de conversão (Logan, 1965), obtidos calculando-se os recíprocos dos pesos químicos equivalentes dos íons, baseados nos Pesos Atômicos Internacionais de 1957. O miliequivalente é representado pela letra "r" (Castany, 1971).

Na elaboração deste estudo foram considerados os resultados de 33 amostras que estão dentro dos limites do erro permissível (Logan, op.cit.), sendo eliminada uma amostra que ultrapassou esses limites.

9.12.2 - Características Químicas das Águas

A observação do conjunto de amostras analisadas mostra a predominância do bicarbonato (50%) sobre os demais ânions e em relação aos cátions não existe predominância de um sobre os outros.

Os resultados das análises indicam que, consideradas em conjunto, apenas 39,4% das águas amostradas possuem condutividade elétrica inferior a 100 micromhos/cm sendo o valor médio de 320,4 micromhos/cm. No mapa de condutividade (anexo IV.5) observa-se, pela disposição das curvas de isovalores, que os valores

mais elevados estão concentrados nas áreas de mineração do carvão (quadrante noroeste da área de estudo) e também em áreas onde ocorre a Formação Irati (quadrante sudeste).

O grau de salinização das águas é baixo, sendo o resíduo seco médio de 180,7 mg/l. No quadro 9.12.1, onde está representada a distribuição de frequência dos resíduos secos, verifica-se que 84,9% das amostras apresentam um valor de resíduo seco inferior a 300 mg/l, sendo que apenas 3,0% ultrapassam 500 mg/l.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS

RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	1	48,5	48,5
100 - 200	11	33,4	81,9
200 - 300	1	3,0	84,9
300 - 400	1	3,0	87,9
400 - 500	3	9,1	97,0
> 500	1	3,0	100,0

Quadro 9.12.1

A disposição das curvas de isovalores de resíduo seco (sólidos totais) no mapa homônimo (anexo IV.8) mostra que os valores mais elevados estão relacionados às áreas de mineração do carvão e de ocorrência da Formação Irati.

Quanto ao pH, as águas procedentes de poços escavados variam de ácidas a alcalinas (4,8 a 7,8), as de nascentes variam de ácidas a quase neutras (3,1 a 6,1) enquanto que a do único poço tubular amostrado é neutra (6,8). Apenas 3,0% dos valores são superiores a 7,0, sendo 7,8 o valor máximo e 3,1 o valor mínimo.

O mapa de isovalores de pH (anexo IV.4) mostra que nas áreas de mineração do carvão predominam as águas ácidas e no restante da área de estudo essas águas variam de ácidas a alcalinas.

A dureza, expressa em miligramas por litro de CaCO_3 ou em graus franceses ($^\circ\text{F}$) é calculada através da fórmula $D = (\text{Ca}/20 + \text{Mg}/12) \times 50$ (Custódio, 1976) com os valores de cálcio e magnésio em mg/l, mostra um valor médio de 82,1 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 8,2 $^\circ\text{F}$. Segundo a classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 9.12.2), 78,8% das águas são classificadas como "muito moles", 9,1% são "algo duras" e 12,1% são "muito duras".

Classificação de Dureza de Klut Olszewski

Dureza até 7 $^\circ\text{F}$	água "muito mole"
Dureza de 7 a 12 $^\circ\text{F}$	água "mole"
Dureza de 12 a 20 $^\circ\text{F}$	água "algo dura"
Dureza > 20 $^\circ\text{F}$	água "muito dura"
(1 $^\circ\text{F}$ = 10 mg/l de CaCO_3)	

Quadro 9.12.2

A acidez (expressa em mg/l de CaCO_3) apresenta um valor médio de 68,7 mg/l de CaCO_3 . Do total de amostras consideradas 54,5% apresentam valores inferiores a 50 mg/l e apenas 6,1% estão acima de 100 mg/l.

No mapa de isovalores de acidez (anexo IV.6) as curvas mostram que os valores mais elevados estão restritos às áreas da mineração de carvão.

Em relação à alcalinidade (também expressa em mg/l de CaCO_3), o valor médio é de 64,8 mg/l de CaCO_3 , 78,8% dos valores são inferiores a 50 mg/l e 18,2% ultrapassam 100 mg/l.

9.12.2.1 - Embasamento Cristalino

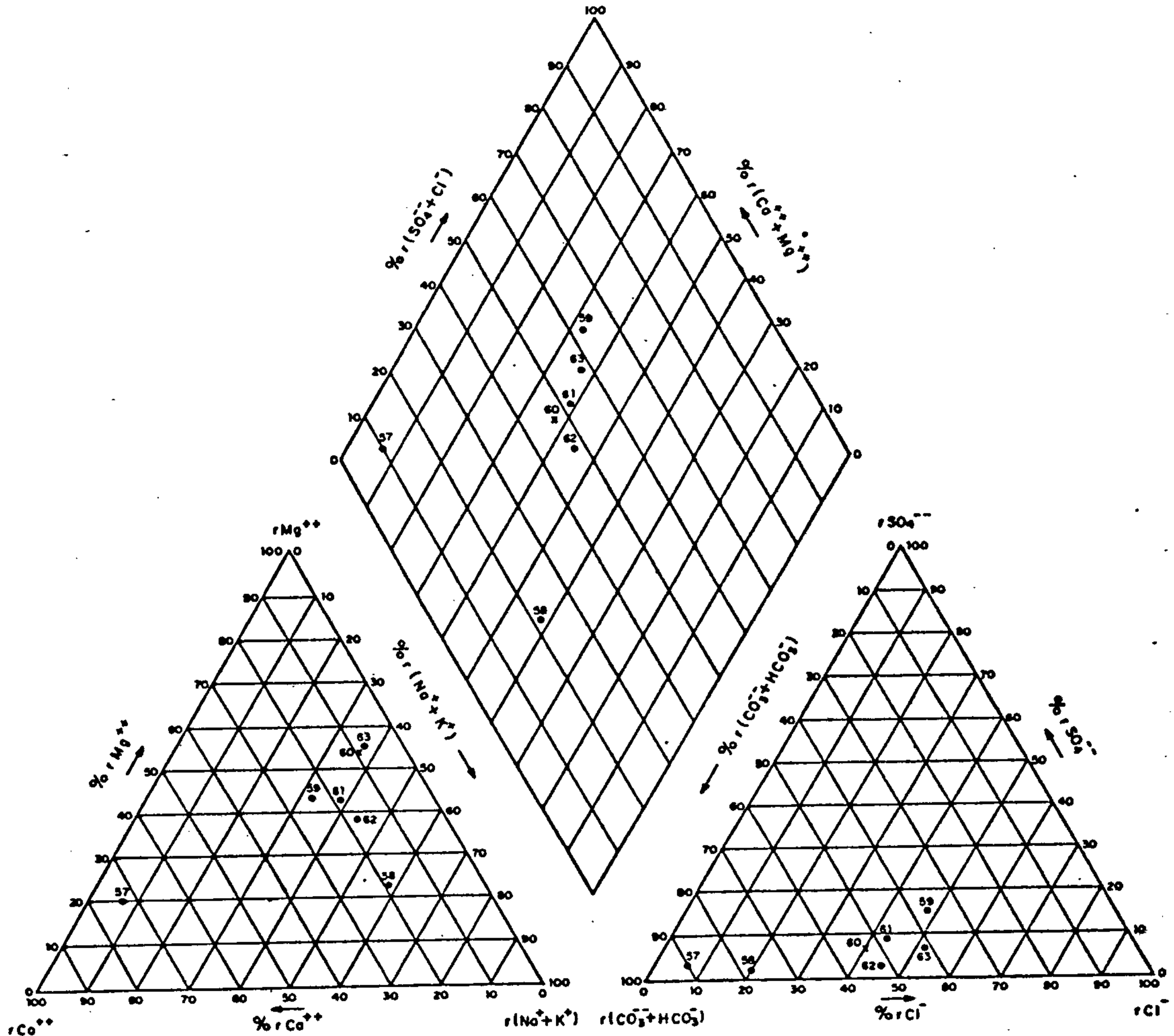
As 07 amostras coletadas na área abrangida pela Suíte Metamórfica Cambaí mostram uma condutividade elétrica média de 163,8 micromhos/cm e baixo grau de salinização com resíduo seco médio de 108,2 mg/l.

No que diz respeito ao pH, as águas amostradas variam de ácidas a neutras (4,8 a 6,8) sendo 5,9 o valor médio.

A dureza apresenta valores baixos, sendo o valor médio 44,5 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 4,4 $^\circ$ F. A classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 9.12.2) mostra que 85,7% das amostras são classificadas como "muito moles" e os restantes 14,3% são "algo duras". A acidez média, na área abrangida pelas rochas do embasamento, é de 48,1 mg/l de CaCO_3 e para a alcalinidade o valor médio é de 49,1 mg/l de CaCO_3 .

9.12.2.1.1 - Composição Química das Águas

Na determinação dos tipos químicos (grupos e subgrupos) das águas amostradas foi utilizado o diagrama de Piper (Custódio, op.cit.) (figura 9.12.1), plotando-se os percentuais dos miliequivalentes de cátions e ânions. No quadro 9.12.3 estão relacionados os grupos e subgrupos deter



LEGENDA

- Nascente
- Poço escavado

DNPM
DEPARTAMENTO NACIONAL
DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE
À CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS
DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

DIAGRAMA DE PIPER
EMBASAMENTO CRISTALINO
ÁREA DE CANDIOTA

minados, além do número de amostras de cada subgrupo e a frequência relativa.

TIPOS QUÍMICOS DE ÁGUAS

GRUPOS E SUBGRUPOS	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA %
ÁGUAS BICARBONATADAS		
Bicarbonatada cálcica	1	14,3
Bicarbonatada magnesiana	1	14,3
Bicarbonatada sódica	1	14,3
Bicarbonatada sódio-magnesiana	1	14,3
ÁGUAS BICARBONATADAS CLORETADAS		
Bicarbonatada cloretada magneso-sódica	1	14,3
ÁGUAS CLORETADAS		
Cloretada magnesiana	1	14,3
ÁGUAS CLORETADAS BICARBONATADAS		
Cloretada bicarbonatada magneso-sódica	1	14,3
T O T A I S	7	100,0

Quadro 9.12.3

9.12.2.2 - Rochas Sedimentares

No âmbito de ocorrência das rochas sedimentares (incluindo-se aqui os sedimentos terciário-quaternários e quaternário) foram coletadas 27 amostras, sendo consideradas para esse estudo apenas 26 pelo fato de uma amostra estar acima do erro permissível (item 9.12.1).

Os valores de condutividade elétrica indicam que apenas 30,7% das águas amostradas apresentam valores inferiores a 100 micromhos/cm sendo o valor médio de 362,5 micromhos/cm. A salinidade dessas águas é baixa com um resíduo seco médio de 200,2 mg/l. No quadro 9.12.4, onde está representada a distribuição de frequência dos resíduos secos,

nota-se que 80,8% das amostras estão abaixo de 300 mg/l e apenas 3,8% ultrapassam 500 mg/l.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS RESÍDUOS SECOS

RESÍDUO SECO (mg/l)	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA	
		RELATIVA (%)	ACUMULADA (%)
0 - 100	11	42,3	42,3
100 - 200	10	38,5	80,8
200 - 300	0	0,0	80,8
300 - 400	1	3,8	84,6
400 - 500	3	11,6	96,2
> 500	1	3,8	100,0

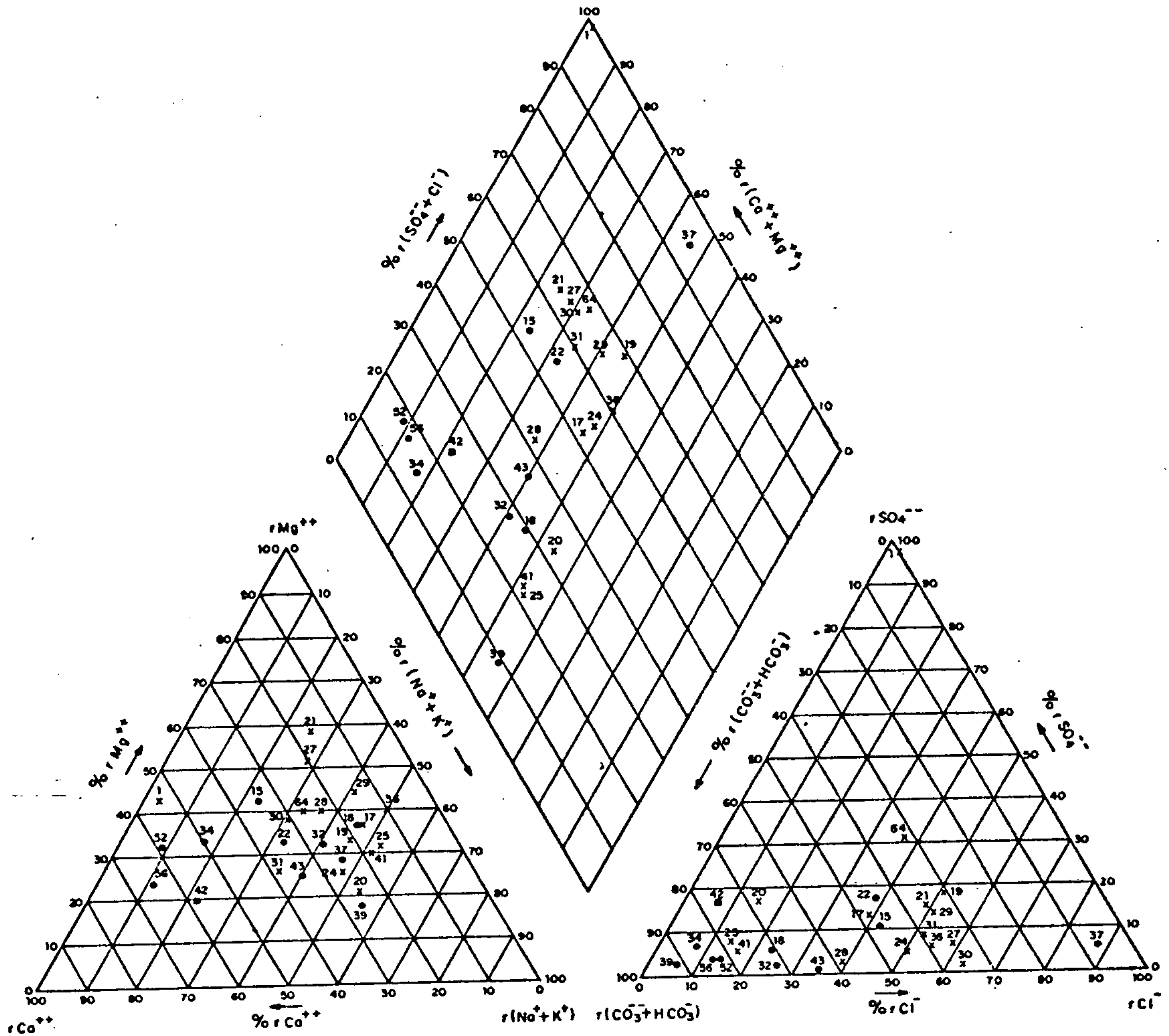
Quadro 9.12.4

Em relação ao pH as águas amostradas variam de ácidas a alcalinas (3,1 a 7,8) sendo 5,7 o valor médio. Apenas 3,7% dos valores são superiores a 7,0.

A dureza apresenta um valor médio de 92,2 mg/l de CaCO_3 , ou seja, 9,2°F. De acordo com a classificação de dureza de Klut Olszewski (quadro 9.12.2, item 9.12.2), 76,9% das águas são classificadas como "muito moles", 7,7% são "algo duras" e 15,4% são "muito duras".

A acidez média das amostras provenientes das rochas sedimentares é de 74,2 mg/l de CaCO_3 . Nota-se que 53,8% das amostras são inferiores a 50 mg/l e apenas 7,7% estão acima de 100 mg/l.

Para a alcalinidade a média dos valores é de 69,1 mg/l de CaCO_3 . Verifica-se que 80,8% das amostras são inferiores a 50 mg/l, estando o restante acima de 100 mg/l.



LEGENDA

- x Nascente
- o Poço escavado
- Poço tubular

DNPM
DEPARTAMENTO NACIONAL
DA PRODUÇÃO MINERAL

PROJETO ESTUDO DA VULNERABILIDADE
A CONTAMINAÇÃO DOS MANANCIAIS SUBTERRÂNEOS
DECORRENTE DA EXTRAÇÃO DO CARVÃO MINERAL

DIAGRAMA DE PIPER
ROCHAS SEDIMENTARES
ÁREA DE CANDIOTA

9.12.2.2.1 - Composição Química das Águas

Utilizando-se o diagrama de Piper (Custódio, op.cit.) (fig.9.12.2), foram determinados os tipos químicos (grupos e subgrupos) das águas amostradas plotando-se os percentuais dos miliequivalentes de cátions e ânions. No quadro 9.12.5 estão relacionados os grupos e subgrupos determinados, além do número de amostras de cada subgrupo e a frequência relativa.

TIPOS QUÍMICOS DE ÁGUAS

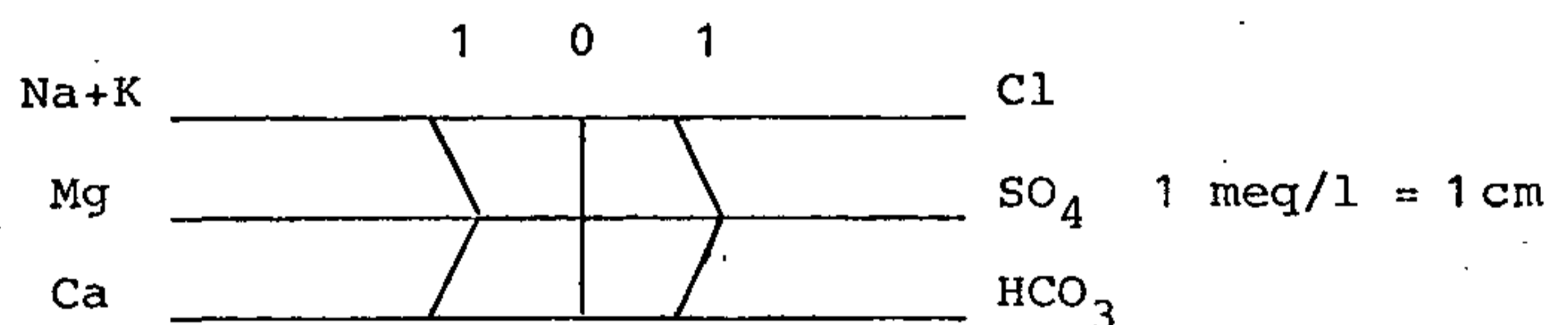
GRUPOS E SUBGRUPOS	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA RELATIVA (%)
ÁGUAS BICARBONATADAS		
Bicarbonatada sódica	4	15,6
Bicarbonatada cálcica	3	11,6
Bicarbonatada sódio-magnésiana	2	7,8
Bicarbonatada sódio-cálcica	1	3,8
Bicarbonatada calco-magnésiana	1	3,8
Bicarbonatada magneso-sódica	1	3,8
ÁGUAS BICARBONATADAS CLORETADAS		
Bicarbonatada cloretada mista	1	3,8
Bicarbonatada cloretada sódio-magnésiana	1	3,8
Bicarbonatada cloretada magneso-cálcica	1	3,8
ÁGUAS CLORETADAS		
Cloretada sódio-magnésiana	3	11,6
Cloretada magnésiana	2	7,8
Cloretada calco-sódica	1	3,8
Cloretada mista	1	3,8
ÁGUAS CLORETADAS BICARBONATADAS		
Cloretada bicarbonatada magnésiana	1	3,8
Cloretada bicarbonatada magneso-sódica	1	3,8
ÁGUAS SULFATADAS		
Sulfatada cálcica	1	3,8
ÁGUAS MISTAS		
Mista sódio-cálcica	1	3,8
T O T A I S	26	100,0

Quadro 9.12.5

9.12.3 - Diagramas de Stiff

Segundo Custódio (op.cit.) os diagramas de Stiff permitem uma representação plana das características químicas e dos diferentes tipos de água.

Este diagrama é obtido utilizando-se valores de miliequivalentes por litro dos cátions Ca, Mg, Na + K e ânions Cl, SO₄ e HCO₃. Esses valores são plotados em três eixos horizontais e unindo-se os pontos obtém-se uma figura conforme mostrada abaixo:



Na área de Candiota - RS os diagramas plotados no mapa hidroquímico (anexo IV.9) mostram visivelmente os tipos químicos de água intimamente relacionados à litologia. Isto pode ser verificado nos pontos 34, 42, 52 e 56 que representam águas bicarbonatadas e estão relacionados à Formação Irati, o ponto 57 que também representa uma água bicarbonatada está relacionado às lentes carbonáticas que ocorrem na Suíte Metamórfica Cambaí. O ponto 01, situado próximo à área de mineração do carvão, identifica uma água sulfatada que mostra um grande aporte de sulfatos provenientes da alteração da pirita existente no carvão.

9.12.4 - Relações Iônicas e Índice de Troca de Bases

As relações entre os íons dissolvidos numa água podem guardar certa relação com o terreno de onde provém, indicar a ação de fenômenos modificadores ou salien-

tar uma característica específica da água considerada. Essas relações são obtidas com os valores em miliequivalentes por litro identificados pela letra r.

Neste estudo serão abordadas as relações r Mg/ r Ca, r K/r Na, r Cl/r HCO₃, r SO₄/r Cl e o índice de troca de bases (itb) definido pela expressão:

$$\text{itb} = \frac{r \text{ Cl} - r(\text{Na}+\text{K})}{r \text{ Cl}}$$

cujos valores são mostrados no quadro 9.12.6.

Analisando essas relações e o "itb" para a área de Candiota-RS conclui-se o seguinte:

- A relação r Mg/r Ca, cujos valores mais freqüentes estão entre 0,3 e 1,5, mostra que 70,6% dos valores obtidos estão entre esses limites mais freqüentes e representam águas continentais.
- Para a relação r K/r Na os valores podem variar de 0,001 a 1 e no caso presente para um total de 34 valores apenas 01 está fora desses limites.
- A relação r Cl/r HCO₃ para as águas continentais varia de 0,1 a 5 e na área em estudo apenas um valor está fora desse intervalo. Esta relação é de grande utilidade quando se necessita conhecer o mecanismo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo.
- No caso da relação r SO₄/r Cl os valores mais comuns variam de 0,1 a 5 e para a área em questão apenas um valor está fora desses limites.

RELAÇÕES IÔNICAS
ÁREA DE CANDIOTA

PONTO	rMg / rCo	rK / rNa	rCl / rHCO ₃	rSO ₄ /rCl	$\frac{rCl - r(Na + K)}{rCl}$ i. t. b.
01	0,8	0,1	0,2	82,4	-2,2
15	1,2	0,1	0,8	0,2	+0,3
17	0,2	0,1	0,8	0,3	-0,3
18	1,5	0,1	0,3	0,3	-0,9
19	1,5	0,2	1,6	0,3	0
20	0,5	0,1	0,2	1,1	-2,8
21	2,8	3,1	1,4	0,3	+0,1
22	0,8	0,3	0,8	0,4	+0,1
24	0,7	0,1	1,1	0,1	-0,1
25	1,2	0,1	0,2	0,6	-4,0
27	1,9	0,1	1,7	0,1	+0,4
28	3,5	0,1	1,4	0,1	-0,1
29	2,5	0,3	1,2	0,6	-0,1
30	1,2	0,2	1,8	0	+0,4
31	0,5	0,8	1,2	0,2	+0,3
32	0,7	0,2	0,4	0,1	-0,8
33	0,9	0,3	0,3	0,8	-0,7
34	0,6	0,3	0,1	1,1	-1,7
36	3,5	0,1	1,4	0,1	-0,1
37	1,2	0,4	14,5	0,1	+0,3
39	0,7	0	0,1	0,4	-7,8
41	1,2	0,1	0,2	0,4	-2,5
42	0,4	0,2	0,1	2,6	-2,1
43	0,7	0	0,5	0	-0,3
52	0,5	0,1	0,2	0,3	+0,3
56	0,4	0,2	0,2	0,3	+0,1
57	0,3	0,1	0,1	0,4	0
58	1,2	0	0,2	0,1	-1,9
59	1,7	0,2	1,3	0,3	+0,3
60	4,7	0,1	0,7	0,2	+0,1
61	1,7	0,1	0,8	0,2	-0,1
62	1,9	0,2	0,8	0,1	+0,2
63	5,9	0,3	1,2	0,1	+0,2
64	1,4	0,6	1,1	0,8	0

- O índice de troca de bases (itb) para a área em apreço varia de + 0,4 a - 7,8 que é indicativo de águas pouco salinas. Os baixos valores apresentados são indícios da existência de troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ com o conseqüente abrandamento da água.

9.12.5 - Avaliação dos Elementos Maiores e Menores na Água Subterrânea e Superficial

Os depósitos de carvão normalmente contém uma série de metais, inclusive metais pesados, que estão associados à pirita e quando ela se transforma por oxidação esses metais são liberados juntamente com o ferro.

Para investigar a contaminação das águas subterrâneas e superficiais através desses metais foram analisadas 45 amostras coletadas na área sendo 01 em poço tubular, 17 em poços escavados, 16 em nascentes e 06 em rios. Foram analisados os seguintes elementos e metais pesados: ferro, cobre, chumbo, zinco, cobalto, cádmio, manganês, cromo, vanádio, alumínio, estrôncio e níquel. Os resultados de análises são mostrados na tabela 9.12.1.

O cálcio, cujos valores também são apresentados na tabela 9.12.1, apresenta a característica de agir como inibidor da dissolução dos metais por meio de troca iônica e precipitação, o que minimiza a ação contaminante desses metais. Verifica-se, de um modo geral, que aos teores mais elevados de cálcio correspondem valores menores dos metais.

9.12.5.1 - Avaliação na Água Subterrânea

Os valores apresentados pelas amostras coletadas na área de Candiota, em poço tubular, poços escavados e nascentes segundo os tipos de aquíferos definidos na área, permitiram as seguintes considerações:

VALORES CRÍTICOS DOS ELEMENTOS MAIORES E MENORES - METAIS PESADOS

PONTO	01	03	06	08	09	10	15	17	18	19	20	21	22	24	25	27	28	29	30	31
TIPO	N	R	R	R	R	R	P	N	P	N	N	N	P	N	N	N	N	N	N	N
FERRO																				
COBRE																				
CHUMBO																				
ZINCO																				
COBALTO																				
CÁDMIO																				
MANGANÊS																				
CROMO																				
VANÁDIO																				
ALUMÍNIO																				
ESTRÔNCIO																				
NÍQUEL																				

PONTO	32	34	36	37	39	41	42	43	44	50	52	56	57	58	59	60	61	62	63	64	
TIPO	P	P	N	P	P	N	P	P	P	R	P	P	P	P	P	N	P	P	P	N	
FERRO																					
COBRE																					
CHUMBO																					
ZINCO																					
COBALTO																					
CÁDMIO																					
MANGANÊS																					
CROMO																					
VANÁDIO																					
ALUMÍNIO																					
ESTRÔNCIO																					
NÍQUEL																					

N = NASCENTE

P = POÇO

R = RIO

ÁREA DE CANDIOTA

FIG. 9.12.3

- No aquífero das rochas fraturadas foram coletadas 06 amostras em poços escavados e 01 amostra em nascente.

A tabela 9.12.1 apresenta os resultados de análise, cujos valores mínimos e máximos para cada elemento são os seguintes: ferro 0,3 e 2,3 mg/l, cobre < 0,003 e 0,012 mg/l, chumbo < 0,005 e 0,013 mg/l, zinco < 0,01 e 0,06 mg/l, cobalto todos os valores < 0,004 mg/l, cádmio todos os valores < 0,001 mg/l, manganês 0,001 e 0,003 mg/l, cromo todos os valores < 0,005 mg/l, vanádio todos os valores < 0,02 mg/l, alumínio 0,07 a 0,44 mg/l, estrôncio 0,014 e 0,08 mg/l e níquel < 0,004 e 0,01 mg/l.

Comparando os valores apresentados na citada tabela com os limites máximos recomendáveis mostrados no quadro 7.1, que aponta os fatores indicativos de contaminação, observa-se que apenas o ferro e o zinco apresentam valores acima desses limites para 57,1% das amostras cada um. A figura 9.12.3 mostra uma representação gráfica dos valores críticos ocorrentes na área.

- Na área abrangida pela seqüência sedimentar, que engloba os aquíferos de rochas sedimentares, foram coletadas 27 amostras sendo 01 em poço tubular, 11 em poços escavados e 15 em nascentes. A tabela 9.12.1, onde são mostrados os resultados de análise, permite obter os valores mínimos e máximos de cada elemento que são: ferro 0,05 a 2,5 mg/l, cobre < 0,002 e 0,03, chumbo < 0,005 e 0,018 mg/l, zinco < 0,01 e 1,8 mg/l, cobalto < 0,004 e 0,64 mg/l, cádmio < 0,001 e 0,004 mg/l, manganês < 0,001 e 6,1 mg/l, cromo < 0,005 e 0,02 mg/l, vanádio todos valores < 0,02, alumínio 0,02 e 36,0 mg/l, estrôncio 0,01 e 1,5 mg/l e níquel < 0,004 e 0,80 mg/l.

Comparando os valores mostrados nessa tabela com os limites máximos recomendáveis apresentados no quadro 7.1, que reúne os fatores indicativos de contaminação, nota-se que o chumbo, o cádmio, o cromo e o vanádio apresentam valores que estão dentro dos limites recomendáveis. O ferro apresenta 62,9% das amostras contaminadas, o cobre, o cobalto, o manganês, o alumínio, o estrôncio e o níquel apresentam, cada um, 3,7% das amostras contaminadas, e finalmente o zinco com 7,4%. Na figura 9.12.3 é feita uma representação gráfica dos valores críticos.

9.12.5.2 - Avaliação na Água Superficial

Na área de Candiota foram coletadas 06 amostras em rios na área abrangida pelas rochas sedimentares e sedimentos inconsolidados.

Na tabela 9.12.1 onde são apresentados os resultados de análise, os valores mínimos e máximos para cada elemento são os seguintes: ferro 0,7 e 8,8 mg/l, cobre 0,003 e 0,011 mg/l, chumbo < 0,005 e 0,005 mg/l, zinco 0,01 e 0,20 mg/l, cobalto < 0,004 e 0,092 mg/l, cádmio todos os valores menores que 0,001, manganês 0,001 e 1,8 mg/l, cromo e vanádio com todos os valores < 0,02, alumínio 0,06 e 6,3 mg/l, estrôncio 0,016 e 0,053 mg/l e níquel < 0,004 e 0,12 mg/l.

De acordo com os limites máximos recomendáveis apresentados no quadro 7.1, que mostra os fatores indicativos de contaminação, todas as amostras estão contaminadas em relação ao ferro, 50,0% estão contaminadas em relação ao manganês, 33,3% estão contaminadas em relação ao cobalto e 33,3% estão contaminadas em relação ao zinco. Os demais elementos não apresentam contaminação para as águas. Uma representação gráfica desses elementos é mostrada na figura 9.12.3.

9.12.6 - Qualidade das Águas para Consumo Humano

Na determinação da qualidade das águas para consumo humano procura-se analisar suas características físicas, químicas e bacteriológicas. No presente estudo, foram analisadas apenas as características físicas e químicas. O conhecimento das características químicas possibilita determinar a potabilidade que indica se uma água é ou não adequada para consumo da população.

A potabilidade foi determinada através dos padrões estipulados por Schoeller (1955) (quadro 9.12.7). Neste método são considerados os constituintes principais das águas (teores em miligramas por litro) Ca, Mg, Na, Cl e SO_4 associados ao resíduo seco e à dureza (grau hidrométrico) em graus franceses ($^{\circ}F$). Utilizou-se também o diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff que além de Ca, Mg, Na, Cl, SO_4 e dureza ($^{\circ}F$), considera também K, HCO_3 e pH (figura 9.12.4).

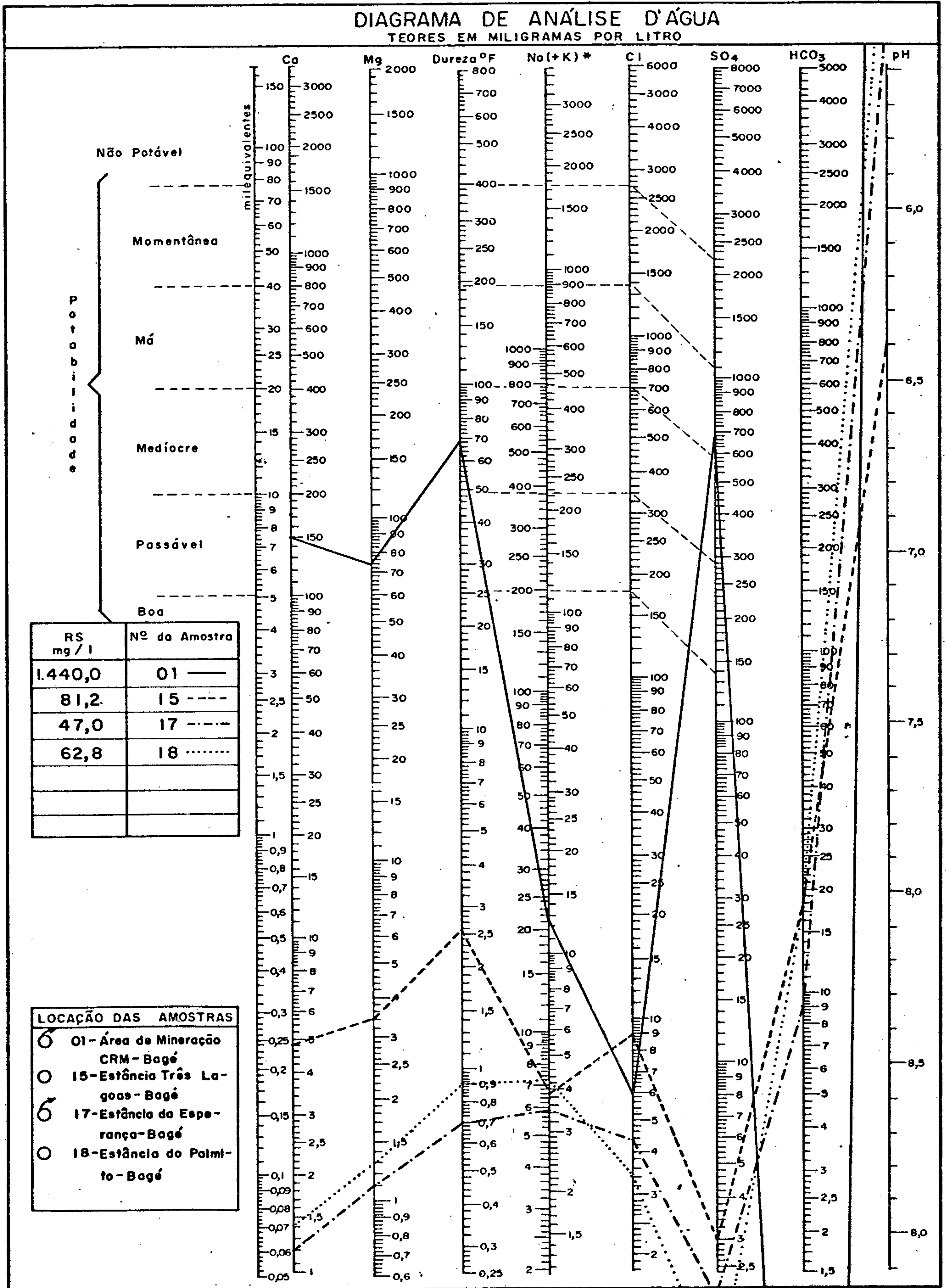
PADRÕES DE POTABILIDADE SEGUNDO SCHOELLER

	POTABILIDADE PERMANENTE				POTABILIDADE MOMENTÂNEA
	BOA	PASSÁVEL	MEDÍOCRE	MÁ	
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
EM GRAU HIDROMÉTRICO (DUREZA)	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

Quadro 9.12.7

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE CANDIOTA



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF

ÁREA DE CANDIOTA

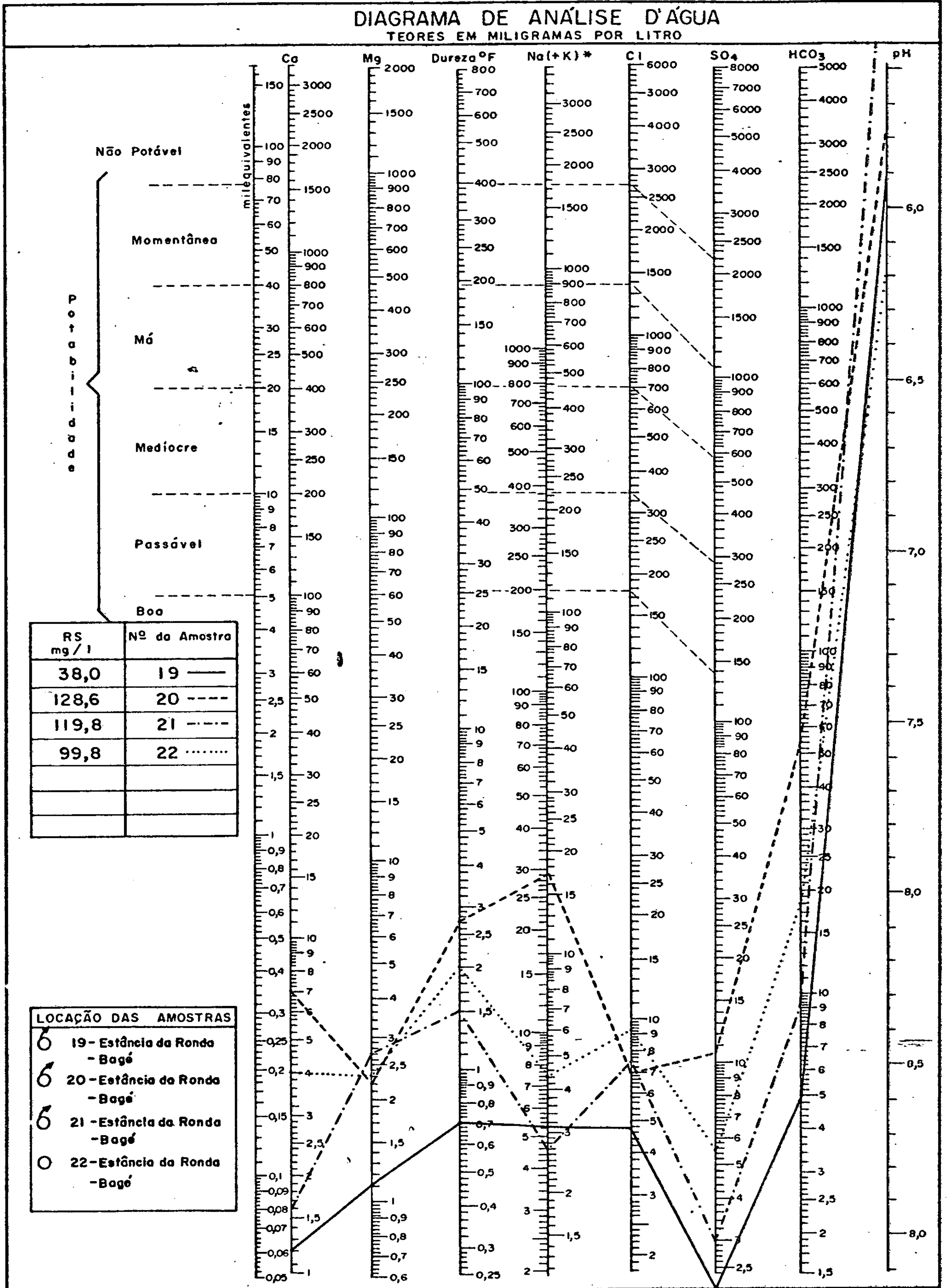
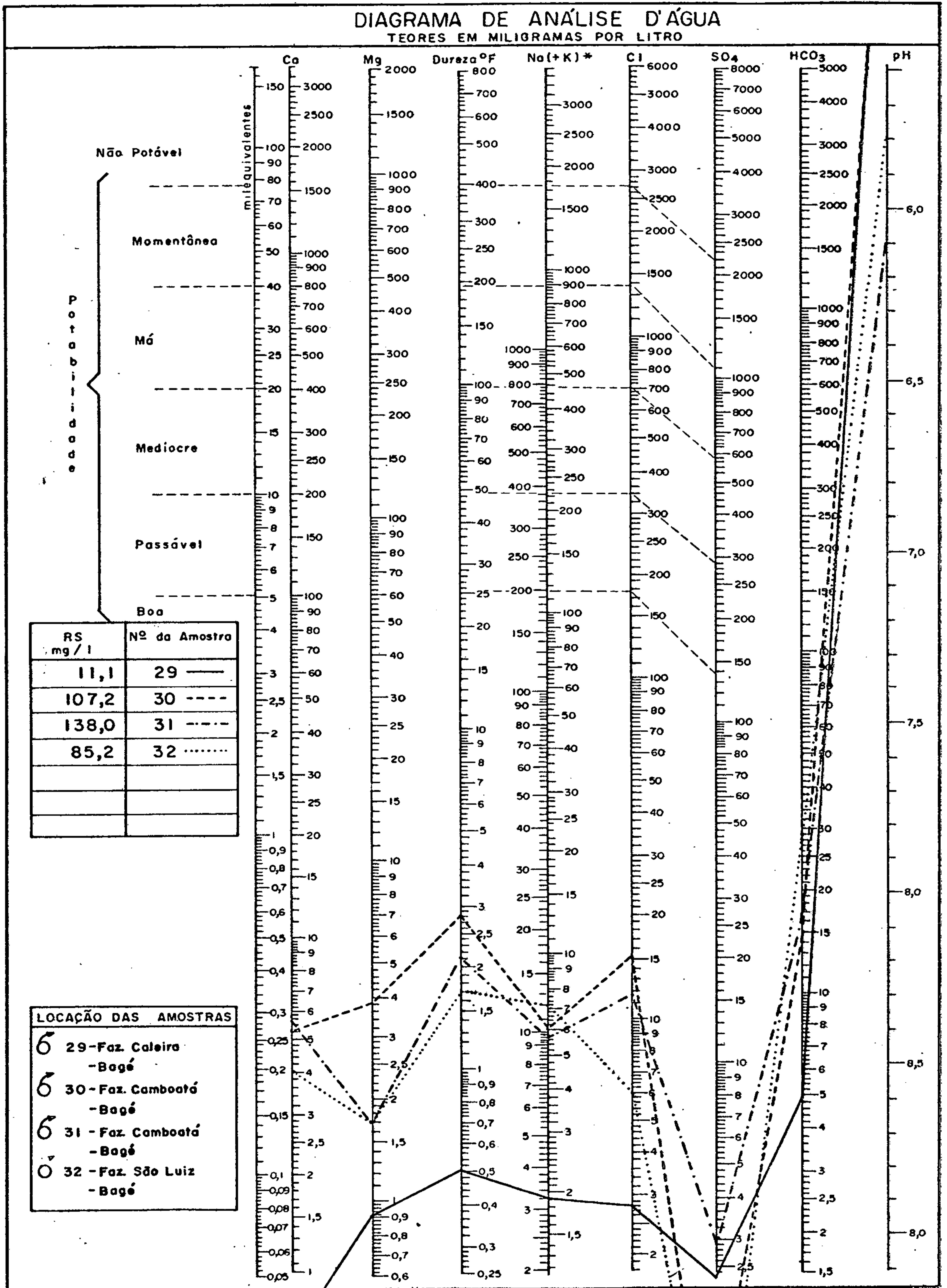
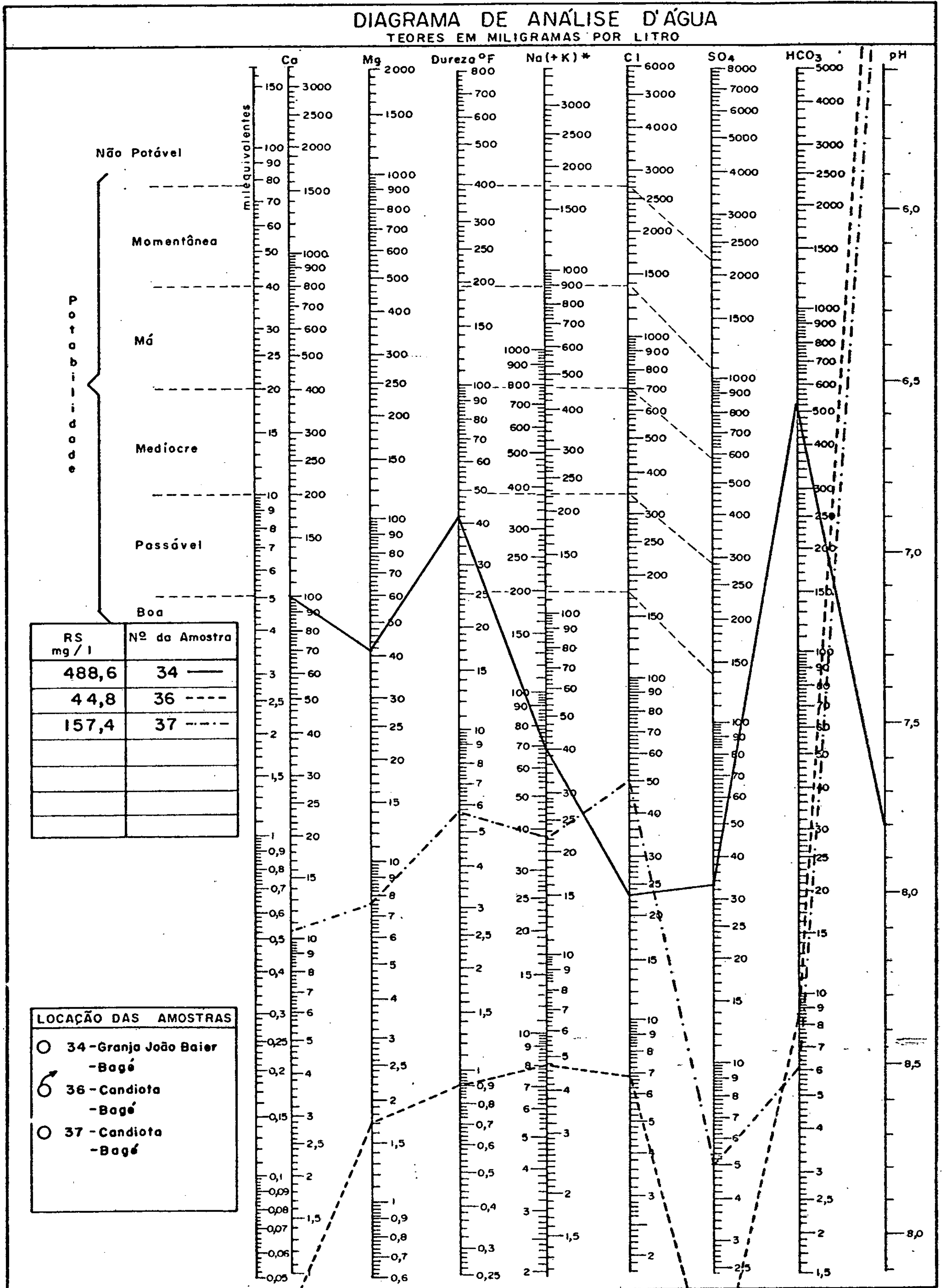


Fig. 9.12.4



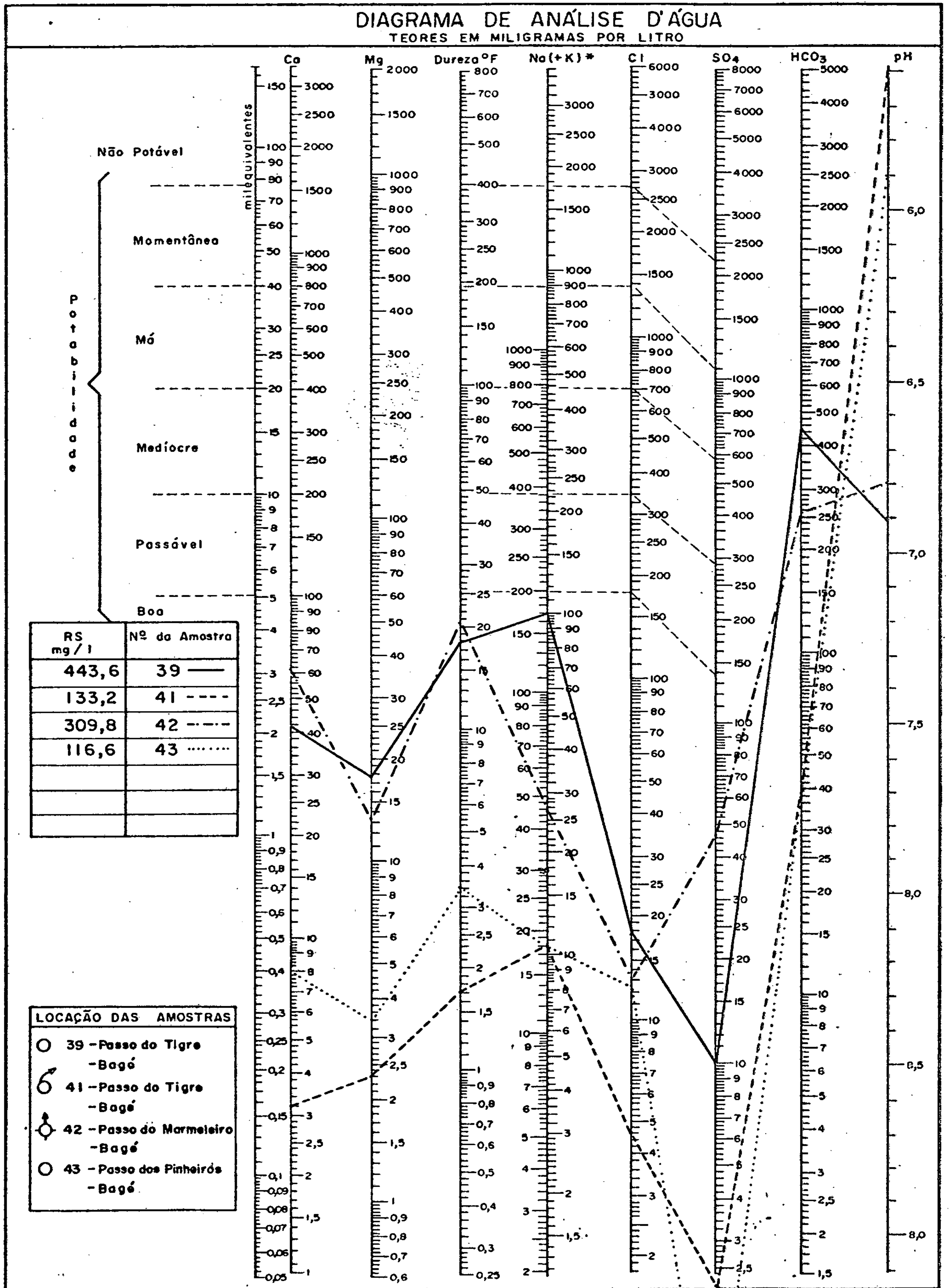
* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4



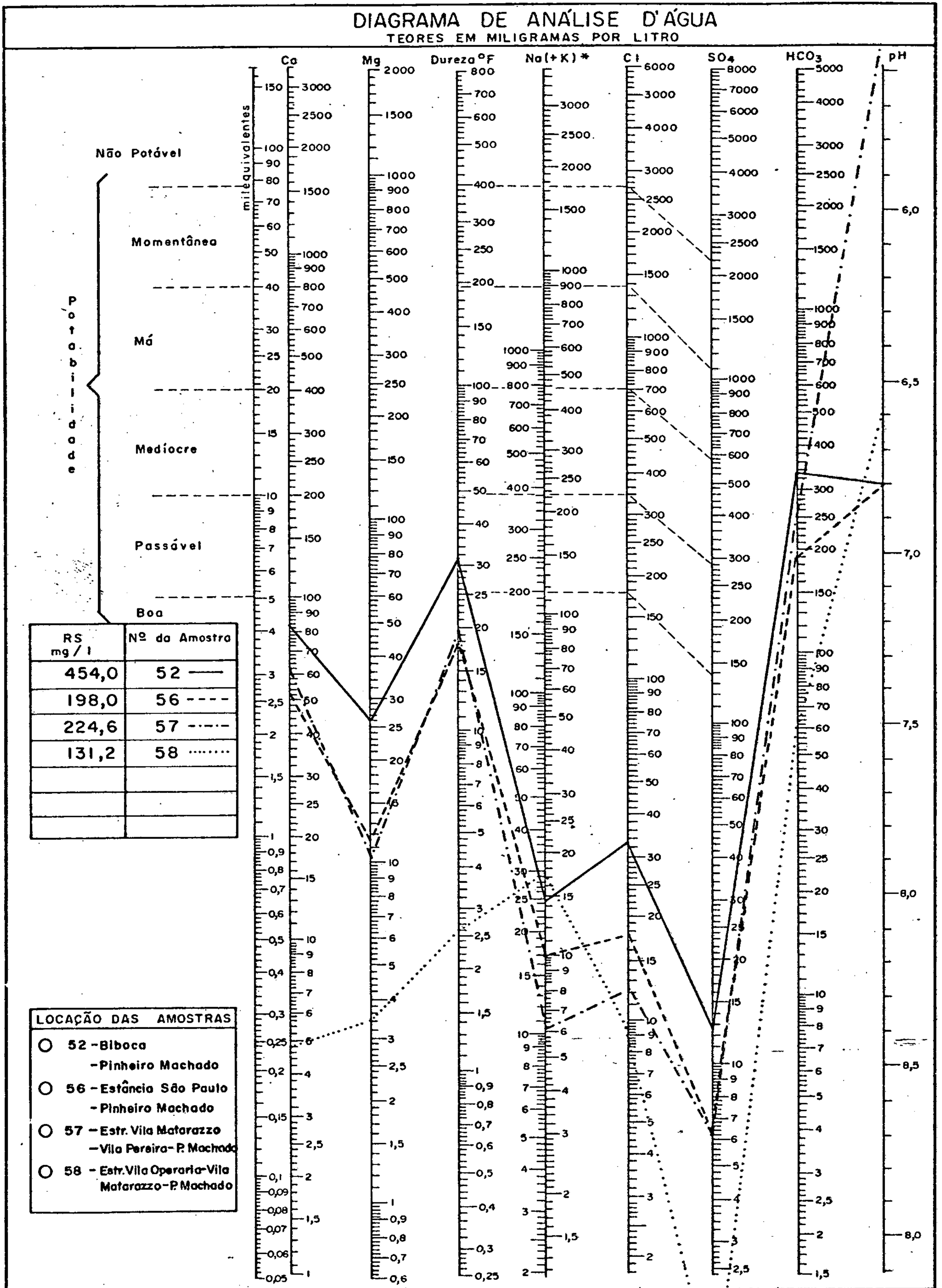
* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

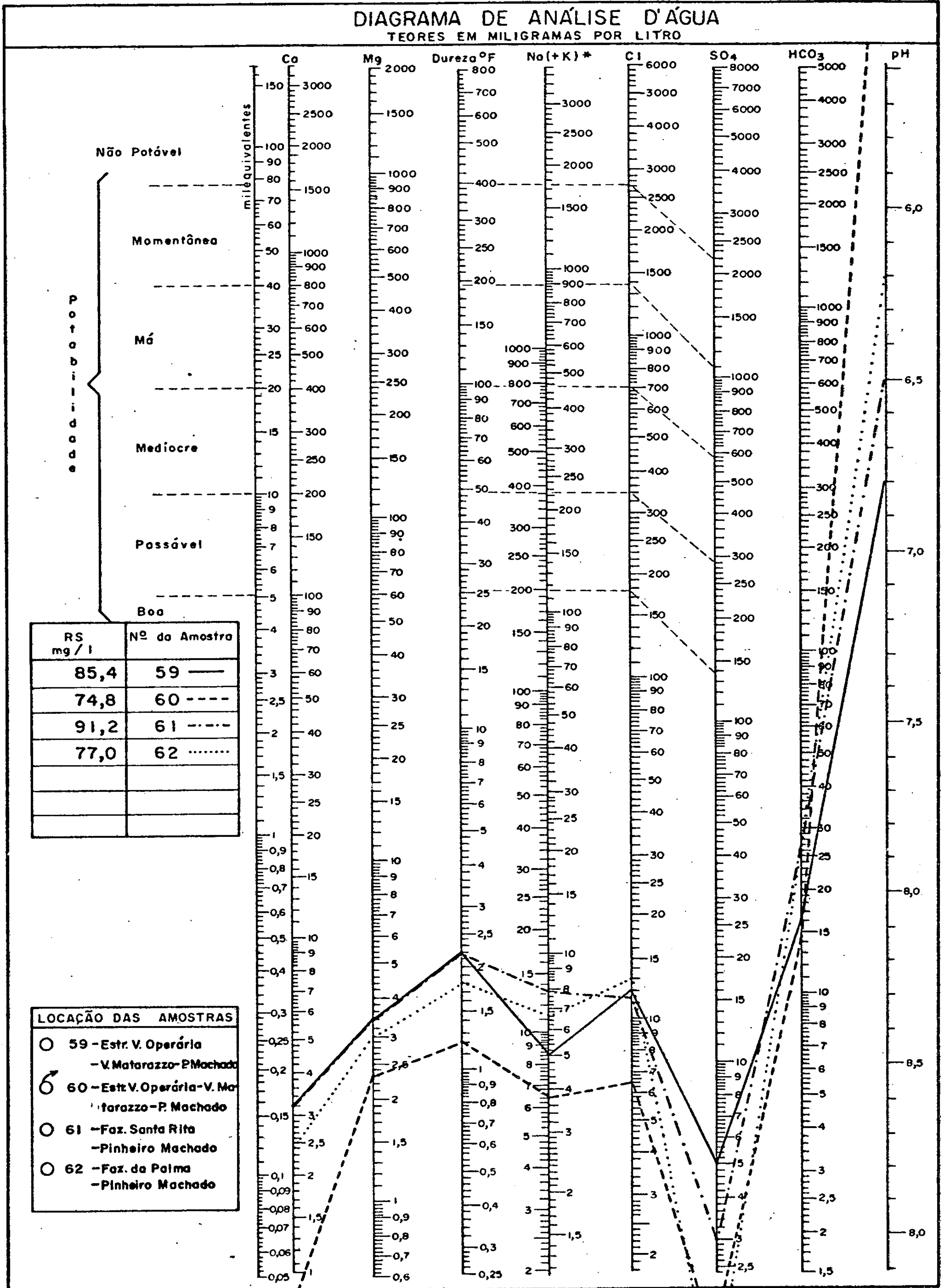
Fig.9.12.4



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4

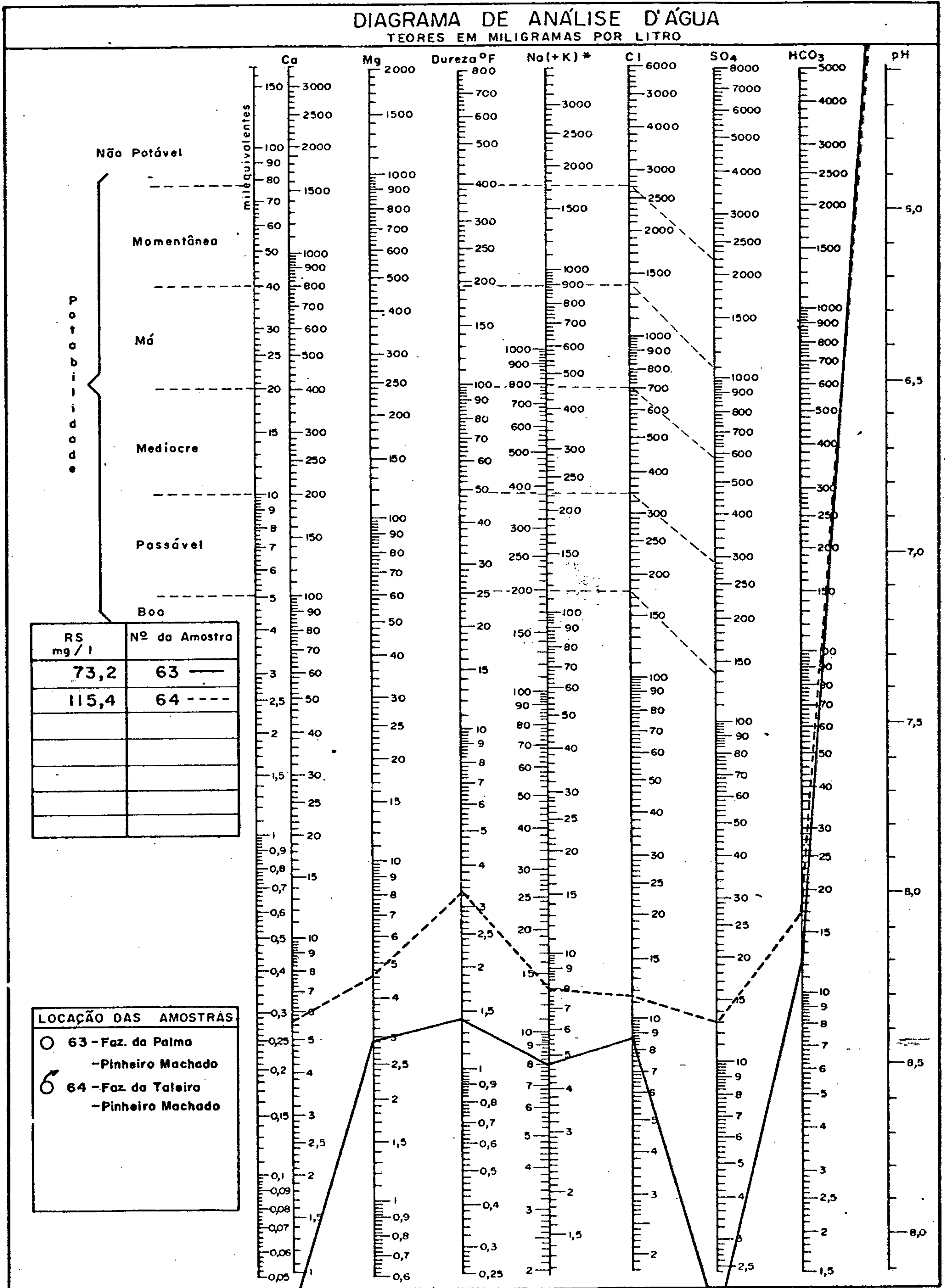
DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF
ÁREA DE CANDIOTA



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4

DIAGRAMA LOGARÍTMICO DE SCHOELLER-BERKALOFF
ÁREA DE CANDIOTA



* Na(+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 9.12.4

9.12.6.1 - Embasamento Cristalino

Para as 07 amostras coletadas na área abrangida pelas rochas do embasamento cristalino, não existem restrições no que se refere à potabilidade, pois todas as amostras estão dentro dos limites estabelecidos por Schoeller (op. cit.) (quadro 9.12.7) para potabilidade permanente boa.

Analisando essas mesmas amostras frente ao diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff (fig. 9.12.4) verifica-se que para todas elas não existem restrições quanto a potabilidade em relação aos parâmetros Ca, Mg, dureza, Na, K, Cl, SO_4 e HCO_3 , pois estão dentro dos limites de potabilidade boa. Em relação ao pH as amostras de números 60 (pH 4,9) e 63 (pH 4,8) estão fora dos limites propostos para esse parâmetro que no caso de águas subterrâneas pode estar na faixa de 6,5 a 8,5 (Custódio, op. cit.), embora alguns autores considerem essa variação entre 5 e 9.

9.12.6.2 - Rochas Sedimentares

Os resultados das análises das 26 amostras coletadas na área onde ocorrem as rochas sedimentares, face aos critérios de potabilidade estabelecidos por Schoeller (op. cit.) (quadro 9.12.7), mostram que em relação ao sódio e ao cloreto as amostras apresentam potabilidade permanente boa.

Em relação ao resíduo seco verifica-se que 96,2% das amostras possuem potabilidade permanente boa enquanto que os 3,8% restantes apresentam potabilidade permanente medíocre.

Quanto à relação $Mg/12 + Ca/20$ observa-se que 88,5% das amostras possuem potabilidade permanente boa, 7,7% situam-se na classe de potabilidade permanente passável e 3,8% estão na categoria de potabilidade permanente medíocre.

No que diz respeito à dureza, a classificação das amostras quanto à potabilidade mostra que 88,5% são de potabilidade permanente boa, 7,7% possuem potabilidade passável e 3,8% estão situadas na classe de potabilidade permanente medíocre.

Para o sulfato verifica-se que 96,2% das amostras apresentam potabilidade permanente boa e os 3,8% restantes possuem potabilidade permanente má.

No caso do diagrama logarítmico de Schoeller-Berkaloff (figura 9.12.4), verifica-se que em relação ao sódio e ao cloreto as águas apresentam potabilidade boa.

Para o cálcio apenas 3,8% das amostras apresentam potabilidade passável, o mesmo acontecendo com o magnésio. A dureza contribui para que 7,7% das águas sejam passáveis e 3,8% medíocres. O sulfato mostra apenas 3,8% das águas com potabilidade medíocre e no caso do bicarbonato 11,5% das águas são passáveis e 11,5% medíocres.

Em relação ao pH apenas 15,4% das amostras estão fora da faixa de potabilidade.

Os resultados das análises mostraram valores de ferro total superiores aos limites estabelecidos pela O.M.S. (Custódio, op. cit.), que considera como valor conveniente 0,3 mg/l e valor admissível 1,0 mg/l para a potabilidade no que diz respeito ao consumo humano.

Nas rochas do embasamento cristalino verifica-se que 42,8% das amostras não ultrapassam o limite mínimo, 14,4% estão entre os limites considerados e 42,8% são superiores ao valor admissível, sendo essas últimas impróprias para o consumo humano.

Para as rochas sedimentares observa-se que 34,6% das amostras são inferiores ao limite mínimo, 38,5% estão entre os limites considerados e 26,9% são superiores ao limite superior e não se prestam ao consumo humano.

9.12.7 - Qualidade das Águas para Consumo Animal

Em se tratando de animais, os limites de potabilidade são mais amplos e se baseiam somente nos valores de resíduo seco. No quadro 9.12.8 são apresentados esses limites que são utilizados na Austrália Ocidental (Leal in: Lima, 1980).

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	12.900

Quadro 9.12.8

Os resultados das análises comparados aos limites apresentados mostram que as águas amostradas não apresentam restrições para os animais.

9.12.8 - Qualidade das Águas para Irrigação

A determinação da qualidade das águas para fins de irrigação foi baseada na classificação americana do "U.S. Salinity Laboratory" (1954). Essa classificação é feita através de um gráfico semi-logarítmico onde são plotados em abcissas os valores da condutividade elétrica em micromhos/cm

a 25°C e em ordenadas a razão de adsorção de sódio (SAR) que é calculada, conhecidos os teores em mili-equivalentes por litro de sódio, cálcio e magnésio, pela seguinte expressão:

$$\text{SAR} = \frac{r \text{ Na}}{\sqrt{\frac{1}{2} (r \text{ Ca} + r \text{ Mg})}}$$

Os tipos de água são definidos para os determinados tipos de solo e culturas que se pretende irrigar.

9.12.8.1 - Classificação das Águas para Irrigação

Para a área estudada, os tipos definidos em função da condutividade elétrica e da razão de adsorção de sódio, são os seguintes:

a) $C_0 - S_1$ - Compreende águas de salinidade fraquíssima cuja condutividade é inferior a 100 micromhos/cm a 25°C, pobres em sódio e podem ser utilizadas sem restrição para a irrigação. Riscos de aparecimento de teores de sódio passíveis de troca são mínimos.

b) $C_1 - S_1$ - Abrange as águas de salinidade que possuem condutividade entre 100 e 250 micromhos/cm a 25°C e são fracamente sódicas. Pode ser usada para irrigação na maioria das culturas em quase todo tipo de solo com poucas possibilidades de incidentes de sanilização exceto no caso de ser um solo de permeabilidade muito fraca. Riscos de aparição de teores nocivos de sódio susceptível de troca são mínimos.

c) $C_2 - S_1$ - Reúne as águas de salinidade média, condutividade entre 250 e 750 micromhos/cm a 25°C e também fracamente

sódicas. Seu uso na irrigação está condicionado à lixiviação moderada do solo, podendo ser empregada mesmo para o caso de plantas de fraca tolerância salina. Riscos de sódio são mínimos.

d) $C_3 - S_1$ - Define águas de alta salinidade, condutividade entre 750 e 2.250 micromhos/cm a 25°C e fracamente sódicas. Sua utilização se restringe aos solos com bom sistema de drenagem; ainda 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 passível de troca é bastante remoto.

As 33 amostras plotadas em 02 gráficos do SAR, sendo 01 relativa às rochas do embasamento cristalino (fig. 9.12.5) e 01 às rochas sedimentares (fig. 9.12.6), não apresentam restrições quanto à sua utilização na irrigação, exceto para 15,2% das águas das rochas sedimentares classificadas como pertencentes ao tipo $C_3 - S_1$. No quadro 9.12.9 estão relacionados os tipos de água para irrigação ocorrentes na área, com os respectivos números de amostras e percentuais para cada litologia.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS TIPOS DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LITOLOGIA TIPOS	EMBASAMENTO CRISTALINO		ROCHAS SEDIMENTARES	
	Nº DE AMOSTRAS	%	Nº DE AMOSTRAS	%
$C_0 - S_1$	4	12,1	9	27,3
$C_1 - S_1$	2	6,1	10	30,3
$C_2 - S_1$	1	3,0	2	6,1
$C_3 - S_1$	-	-	5	15,1

Quadro 9.12.9

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Área de Candiota

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

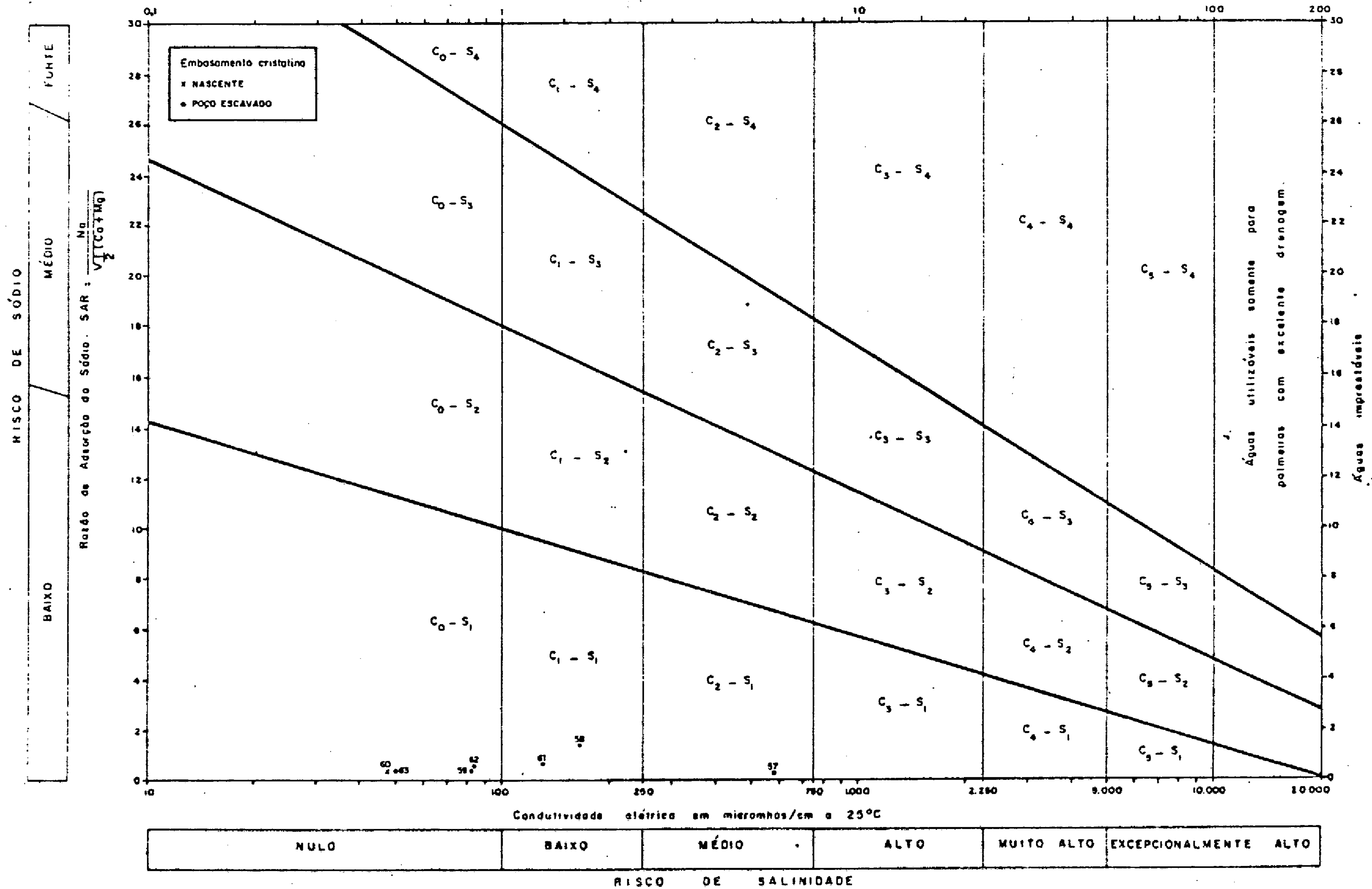


FIG 9 12.5

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Área de Candiota

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

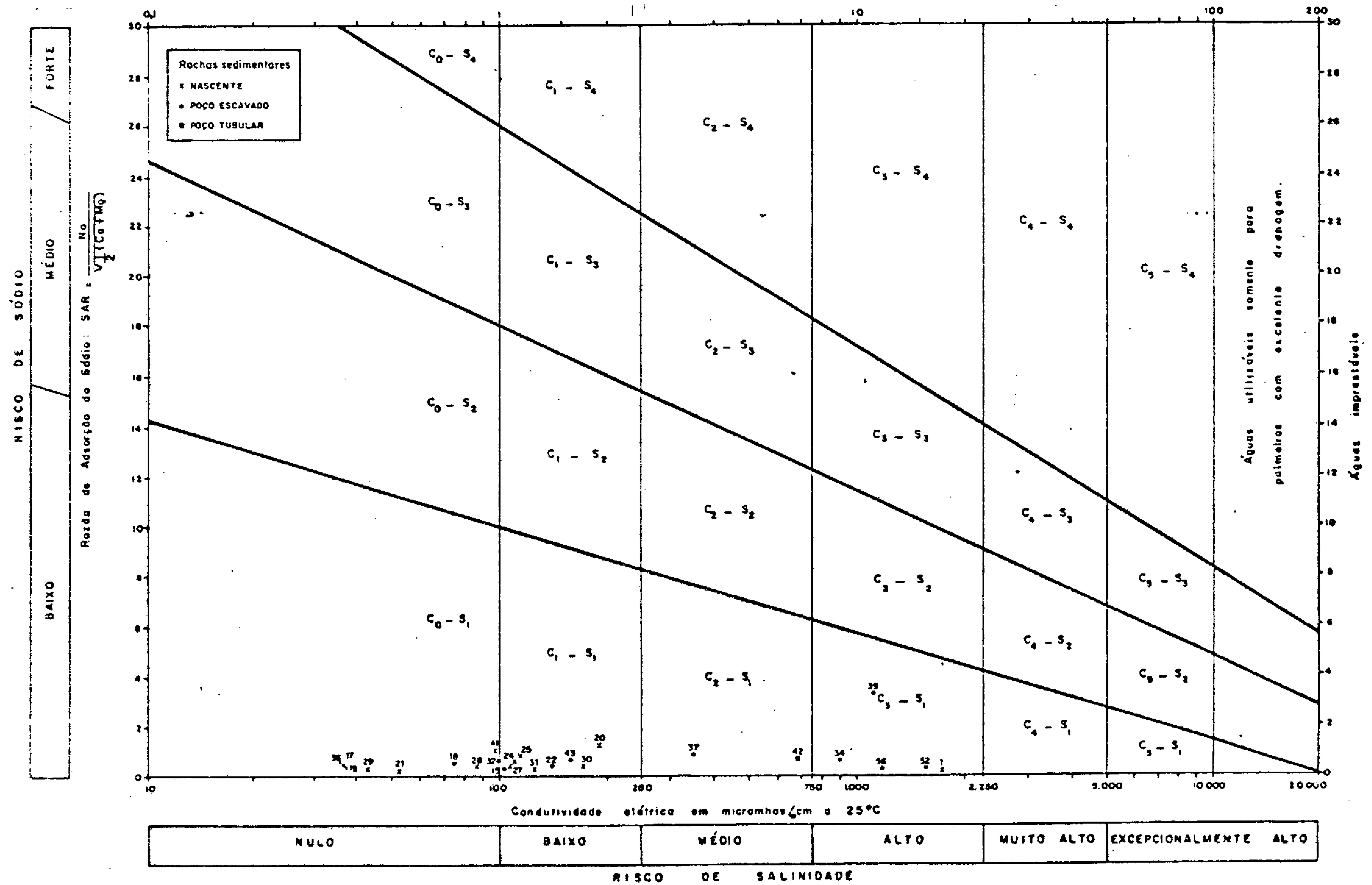


FIG 9 12 6

No embasamento cristalino predominam as águas do tipo $C_0 - S_1$ e nas rochas sedimentares são mais frequentes as águas dos tipos $C_1 - S_1$ e $C_0 - S_1$.

9.12.9 - Qualidade da Água Superficial

Para o estudo das águas superficiais na área em questão foram coletadas 06 amostras de água de rio e as mesmas considerações emitidas para as amostras de águas subterrâneas (item 9.12.1) quanto às análises químicas são válidas também para essas amostras.

Neste item serão abordados os aspectos químicos fornecidos pelas análises das amostras consideradas, embora essas amostras não sejam representativas dos pontos onde foram coletadas e sim das áreas de drenagem situadas a montante dos mesmos.

9.12.9.1 - Características Químicas das Águas

Das 06 amostras analisadas verifica-se que, em 03 predomina o ânion sulfato e em 03 o ânion bicarbonato.

A condutividade elétrica mostra valores que variam de 75 a 1.387 micromhos/cm, sendo que o valor mais elevado é na drenagem que banha as áreas de mineração de carvão.

O resíduo seco, que varia de 57,0 a 329,6 mg/l, da mesma maneira que a condutividade, apresenta os valores mais elevados na citada drenagem.

As águas amostradas, em relação ao pH, variam de ácidas a alcalinas com valores que vão de 2,9 a 7,3.

Para a dureza os valores variam de 11,0 a 156,0 mg/l de CaCO_3 , ou seja, de 1,1 a 15,6°F.

No caso da acidez os resultados obtidos fornecem valores que variam de 4,0 a 119,0 mg/l de CaCO_3 e para a alcalinidade os valores obtidos (10,0, 16,0 e 19,0 mg/l de CaCO_3) se referem às amostras cujo teor em bicarbonato predomina sobre os demais.

9.12.9.2 - Composição Química e Qualidade da Água

Os resultados das análises das amostras de águas superficiais mostram que nos tipos químicos predominam tanto águas sulfatadas quanto bicarbonatadas com 50% cada, ocorrendo maior presença de cátion magnésio (magnésiana, calcio-magnésiana e magneso-sódica).

A qualidade da água superficial foi determinada tomando por base os parâmetros indicativos de rios não contaminados que são os seguintes (FATMA, 1982):

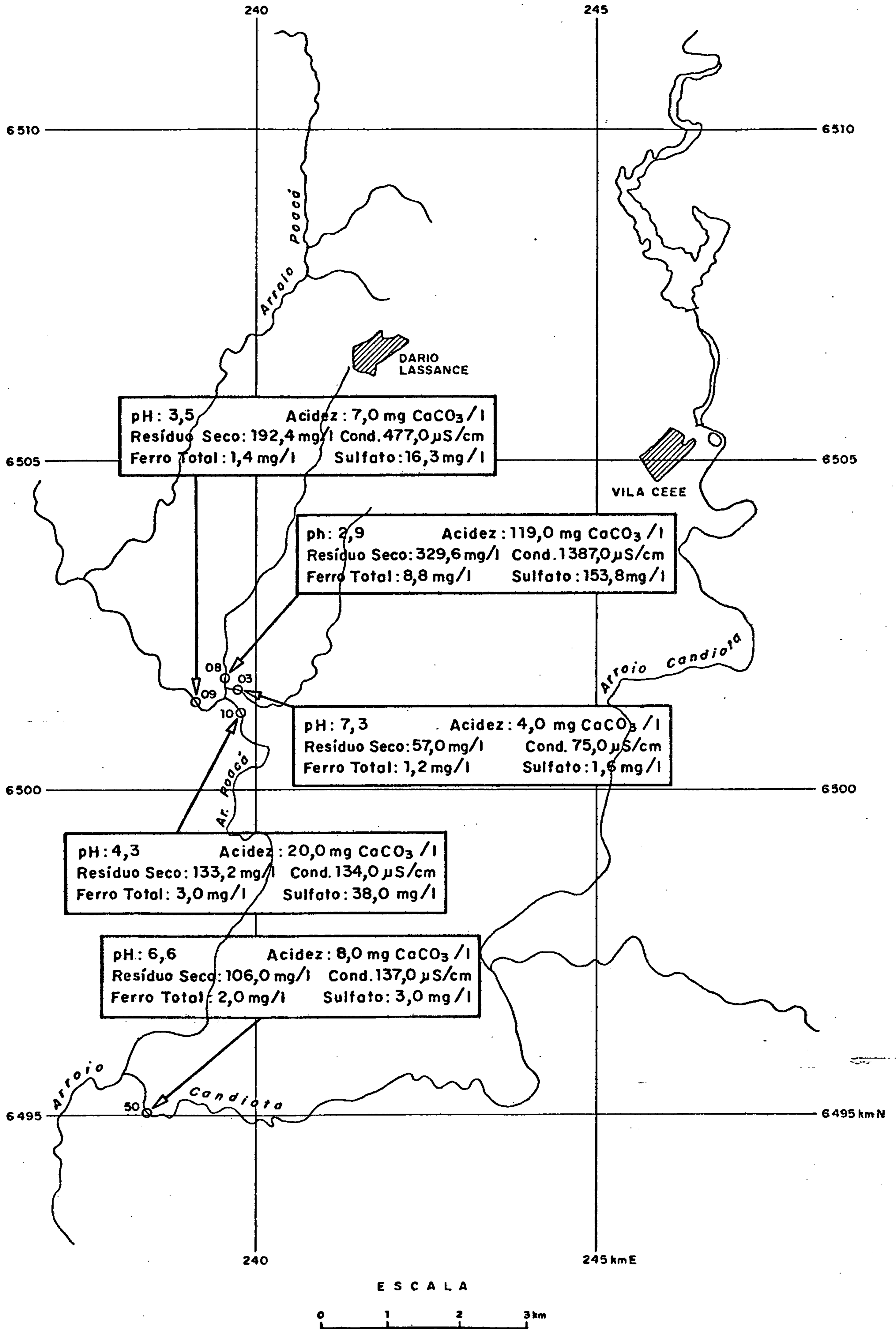
- pH entre 5,0 e 7,0
- acidez abaixo de 15 mg/l de CaCO_3
- sulfatos abaixo de 6 mg/l
- ferro total menor que 2 mg/l
- sólidos totais menor que 100 mg/l
- condutividade elétrica menor que 100 micromhos/cm

De acordo com esses limites, em relação ao pH, 03 amostras apresentam valores inferiores ao mínimo considerado, 02 amostras estão dentro dos limites propostos e 01 amostra ultrapassa o limite superior. A acidez apresenta apenas um valor fora do limite proposto.

Para os sulfatos, 03 amostras estão abaixo do limite previsto e 03 ultrapassam esse limite. O ferro total apresenta 02 amostras com valores inferiores ao limite proposto e 04 estão acima desse limite.

No caso dos sólidos totais (resíduo seco) apenas 01 amostra não ultrapassa o valor limite e para a condutividade a situação é idêntica, ou seja, apenas 01 amostra não ultrapassa o limite proposto.

Na figura 9.12.7 é apresentado um mapa de qualidade da água superficial com os parâmetros indicativos de contaminação em cada ponto amostrado.



QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL
ÁREA DE CANDIOTA

9.13 - VULNERABILIDADE DOS AQUÍFEROS

O conceito de vulnerabilidade que se pretende abordar neste estudo está relacionado à maior ou menor resistência oferecida por determinada unidade litológica à contaminação de seus aquíferos, provocando assim uma provável alteração física ou química das águas.

Para a área de Candiota-RS, como já foi dito no capítulo referente à hidrogeologia, foram definidos dois tipos de aquíferos que se referem às rochas do embasamento cristalino e às rochas sedimentares.

No embasamento cristalino a vulnerabilidade dos aquíferos está diretamente relacionada ao sistema de rupturas, representadas pelas falhas e fraturas.

Para as rochas sedimentares a vulnerabilidade está condicionada ao tempo de recarga (aquíferos livres) e à velocidade de escoamento das águas (aquíferos confinados).

Com a finalidade de averiguar a possível contaminação dos aquíferos realizou-se um estudo químico da qualidade das águas subterrâneas, procurando analisar a contaminação provocada pelo ferro, sulfatos e ácidos resultantes da oxidação da pirita, subproduto da mineração de carvão, além da contaminação oriunda dos elementos maiores e menores (metais pesados).

9.13.1 - Contaminação Atual dos Aquíferos

Na área de Candiota-RS o principal foco de contaminação está representado pelas áreas de mineração de carvão situadas ao norte (paralisada) e sudoeste da vila da

CRM (Dario Lassance) conforme pode ser visto no mapa geológico (anexo IV.1).

Conforme foi descrito em capítulos anteriores durante a lavra e o beneficiamento do carvão, os rejeitos piritosos e de cobertura são depositados em áreas livres utilizadas para despejo desses rejeitos, sem levar em conta os problemas que a alteração da pirita pode ocasionar aos aquíferos e à drenagem superficial. Os elementos contaminantes, principalmente durante as chuvas, são carregados para os aquíferos através da infiltração e levados aos mananciais de superfície pelo escoamento superficial.

Outro foco de contaminação são as cinzas volantes resultantes da queima do carvão pela Usina Termoelétrica Candiota II, principalmente através da chaminé que lança partículas sólidas no ar.

Com os resultados das análises químicas das águas subterrâneas foram elaborados mapas temáticos dos principais fatores indicativos de contaminação que são pH, condutividade, acidez, sulfatos e sólidos totais que são representados respectivamente pelos anexos IV.4, IV.5, IV.6, IV.7 e IV.8.

A análise desses mapas mostra que realmente existe contaminação das águas subterrâneas, principalmente nas áreas diretamente afetadas pela mineração de carvão.

Estes dados obtidos de análises químicas da água estão no anexo II.2 e das análises de elementos maiores e menores na tabela 9.12.1. O exame dos valores obtidos e descritos abaixo confirmam a identificação de apenas uma área contaminada em Dario Lassance junto à mineração de carvão.

Os valores de pH e acidez atingem respectivamente valores de 3,0 e 720,0 mg CaCO₃/l. Os dados relativos a sulfatos, condutividade e sólidos totais também apresentam-se acima dos limites recomendáveis para potabilidade com valores críticos respectivamente de 670,0 mg/l, 1.747,0 micro-mhos/cm e 1.440,0 mg/l.

Também os valores de ferro total comprovam essa contaminação, pois para um total de 33 amostras analisadas, segundo os padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS), verifica-se que apenas 34,6% apresentam valores inferiores ao limite conveniente (0,3 mg/l), 38,5% estão entre os limites conveniente e admissível (0,3 e 1,0 mg/l) e 26,9% são superiores ao limite admissível (1,0 mg/l).

Na área de Candiota, as análises de metais pesados na água, indicam que o cobre, zinco, cobalto, manganês, alumínio, estrôncio e níquel apresentam valores considerados críticos em relação aos padrões limites para abastecimento público, vida aquática e irrigação.

Para o embasamento cristalino, pelo fato de não existirem minerações na área abrangida pelo mesmo os riscos de contaminação do aquífero fraturado são provenientes das cinzas expelidas pela chaminé da Usina Termoelétrica Candiota II que está localizada na citada área. Estas cinzas contêm elementos traços que, transportados pelo vento, precipitam-se e concentram-se ao nível do solo, contaminando as águas subterrâneas e as águas superficiais.

O principal aquífero da seqüência sedimentar é representado pela Formação Rio Bonito que cobre cerca de 60% da área total e é a mais permeável das formações que compõem esta seqüência.

MECANISMO DE CONTAMINAÇÃO
ÁREA DE CANDIOTA

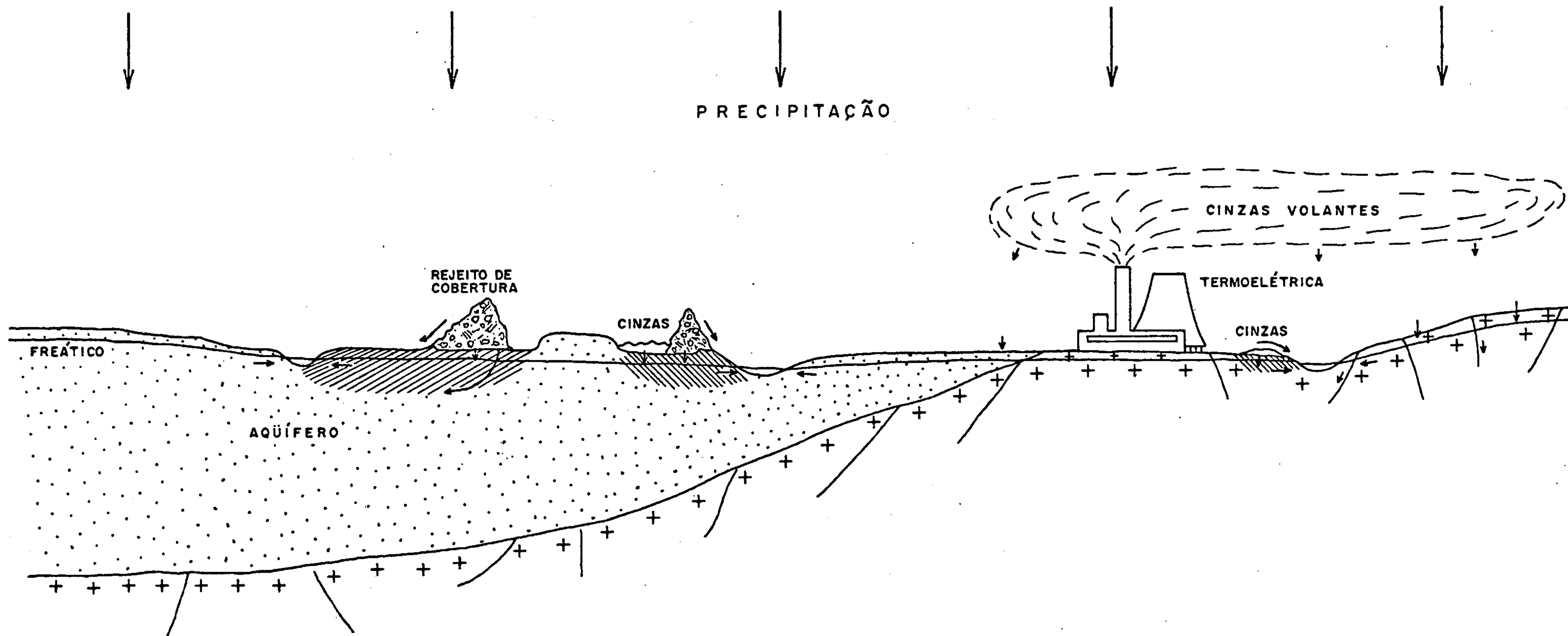


Fig. 9.13.1

As minerações de carvão existentes na área de Candiota estão situadas ao redor da vila Dario Lassance (CRM), sendo que a área ao norte está paralisada e a área situada a sudoeste está em atividade.

O mecanismo de contaminação é acionado a partir do momento em que os rejeitos piritosos e de cobertura são depositados, como já foi dito, em áreas livres utilizadas para esse fim e a pirita em contato com o ar entra em processo de oxidação. Além destes fatores, entram em consideração ainda a presença de cinzas volantes e residuárias da termoelétrica, que apresentam grande quantidade de elementos tóxicos. Tomando por base a ocorrência destes fatores contaminantes e sua relação com os aquíferos, podem ser visualizados os mecanismos de contaminação conforme está indicado na figura 9.13.1.

9.13.2 - Vulnerabilidade

A vulnerabilidade dos aquíferos na área de Candiota-RS está relacionada às rupturas (falhas e fraturas) para a área do embasamento cristalino e ao tempo de recarga para os aquíferos livres e à velocidade das águas dentro do aquífero confinado no caso da seqüência sedimentar.

Para indicar a vulnerabilidade dos aquíferos elaborou-se uma escala de vulnerabilidade (baixa, média e elevada) em função de fatores que influenciam na recarga tais como características litológicas, permeabilidade, área de ocorrência e topografia para os aquíferos nas rochas sedimentares e rupturas para o aquífero do embasamento cristalino, além da presença ou não de focos de contaminação nas proximidades. A partir do mapa geológico (anexo IV.1) foi confeccionado o mapa de vulnerabilidade (anexo IV.10) dos aquíferos, levando em conta os critérios estabelecidos.

Assim, para a área de Candiota, a aplicação desses critérios resultou no seguinte:

- Aquífero fraturado (embasamento cristalino) - nesse aquífero as falhas e fraturas que condicionam a alimentação, a circulação e o armazenamento de água, também contribuem para a contaminação do mesmo quando estão presentes os focos ou fatores responsáveis por isto. Na área de Candiota, pela posição topográfica um pouco mais elevada, por ser afetada principalmente pela contaminação provocada pelas cinzas volantes da termoelétrica e ainda pelo fato de existirem lentes carbonáticas na área, onde o cálcio fixa os elementos contaminantes presentes nessas cinzas, o embasamento cristalino apresenta baixa vulnerabilidade à contaminação.

- Aquífero Rio Bonito - para esse aquífero as condições de alimentação, de circulação e de armazenamento são regidas pela permeabilidade da formação, pela topografia plana e solo arenoso pouco espesso que facilitam a infiltração. A contaminação do aquífero é causada pelos rejeitos da mineração do carvão e pelas cinzas volantes expelidas pela chaminé da termoelétrica.

Os mapas temáticos (anexos IV.4 a IV.8) elaborados para os principais fatores indicativos de contaminação mostram os efeitos contaminantes causados pelos rejeitos da mineração do carvão através dos valores apresentados pelas análises químicas das águas e também pela disposição das curvas de isovalores desses fatores. Desta maneira, pelas suas características litológicas (arenitos finos a médios predominantes), por apresentar boa permeabilidade, pela topografia plana, pela extensa área de ocorrência e pela presença dos focos de contaminação (mineração e cinzas da usina termoelétrica), o aquífero Rio Bonito apresenta um grau de vulnerabilidade à contaminação que varia de baixo a elevado.

- Aquífero Palermo - a Formação Palermo ocorre em pequena extensão na porção sul da área de estudo e apresenta condições de alimentação, de circulação e armazenamento na porção basal semelhantes à Formação Rio Bonito, porém é menos permeável que esta formação.

A Formação Palermo, pelo fato de apresentar menor permeabilidade, por ocorrer numa área afastada dos focos de contaminação e ainda pela disposição das curvas de isovalores dos fatores indicativos de contaminação, mostra que a vulnerabilidade do aquífero representado por ela é baixa.

- Os aquíferos representados pelas formações Irati e Estrada Nova pelas suas características litológicas são praticamente impermeáveis e pelo fato de estarem distantes dos focos de contaminação a vulnerabilidade desses aquíferos é baixa.

- Os sedimentos inconsolidados do Terciário-Quaternário (sudeste da vila Candiota) e Quaternário (porção sul da área de estudo) constituídos principalmente por sedimentos arenosos, são alimentados principalmente pelas chuvas através da infiltração. É pouco provável que ocorra a contaminação desse aquífero, pois a sua área de ocorrência está afastada dos focos contaminantes e a disposição das curvas de isovalores dos fatores indicativos de contaminação não mostram evidências de que ela ocorra. Portanto a vulnerabilidade desse aquífero é baixa.

10. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os objetivos pretendidos por este estudo podem ser considerados atingidos em razão dos resultados obtidos que são apresentados nas conclusões a seguir:

- Área de Siderópolis

Com relação aos testes de lixiviação executados nesta área, concluiu-se que a contaminação dos recursos hídricos em zonas de mineração de carvão depende da relação enxofre/cálcio no carvão, da composição química do enxofre e da morfologia da pirita presente no carvão.

Os testes de lixiviação acelerada em carvões e rejeitos mostraram que todas as amostras produzem drenagem altamente acidificada, por vezes com pH de 1,5 ou menos.

Estes mesmos testes indicam para esta área, além de acidez elevada, a contaminação por ferro, manganês e zinco em todas as amostras. No caso da mina Morozini, foi detectada contaminação por cádmio. Embora não tenha sido analisado especificamente na drenagem, é de esperar que as águas da região também contenham teores razoáveis de arsênio.

Em termos de hidrogeologia destacam-se, na área de estudo, a Formação Rio Bonito e a Formação Serra Geral como os principais reservatórios de água subterrânea. Secundariamente a Formação Palermo, notadamente na sua porção basal que é mais arenosa, também se constitui num reservatório razoável. Conseqüentemente essas formações são os principais aquíferos da área de estudo.

Quando dos trabalhos de lavra, a superfície freática é seccionada, ocasionando um rebaixamento da mesma, o que foi constatado em vários locais no campo junto às áreas de mineração. Isto reflete numa diminuição das reservas de água subterrânea, gerando problemas graves de falta de água, visto a degradação dos recursos superficiais, obrigando a população a retirar a mesma de fontes distantes.

Quanto à qualidade química, predomina o ânion cloreto e o cátion sódio. A condutividade elétrica média é de 425,6 micromhos/cm com maior número de valores acima de 100 micromhos/cm, sendo que o resíduo seco médio é de 412,8 mg/l estando a maioria dos valores abaixo de 300 mg/l. Em relação ao pH para os poços tubulares as águas variam de ácidas a neutras, para os poços escavados variam de ácidas a alcalinas e para as nascentes de ácidas a quase neutras. A dureza apresenta um valor relativamente baixo (média 89,1 mg/l de CaCO_3 ou 8,9°F) sendo classificadas a maioria das águas como "muito moles", ou seja, águas doces. No caso da acidez o valor médio é de 97,5 mg/l de CaCO_3 e cerca de 56,8% dos valores são inferiores a 50 mg/l.

O mapa hidroquímico, onde estão plotados os diagramas de stiff, mostra que as amostras coletadas em pontos próximos ou em áreas de mineração de carvão evidenciam a maior presença de sulfatos nas águas, sugerindo a contaminação dos mananciais subterrâneos.

As relações iônicas mostram que as águas, de um modo geral, estão coerentes com as litologias de onde provêm. Os valores do índice de troca de bases (itb) indicam águas não muito salinas e os baixos valores apresentados sugerem troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ com abrandamento da água.

Na avaliação dos elementos maiores e menores na água subterrânea verifica-se que na Formação Serra Geral existe contaminação apenas em relação ao ferro e ao manganês, embora esses teores elevados de ferro possam estar relacionados também aos minerais ferromagnesianos constituintes dos diabásios dessa formação. Para a seqüência sedimentar foi constatada a contaminação das águas em relação ao ferro, cobre, chumbo, zinco, cobalto, manganês (maior percentual), cromo (menor percentual), alumínio e níquel.

A avaliação dos citados elementos para a água superficial comprova a contaminação dos mananciais de superfície através de ferro, zinco, cobalto, manganês e níquel com os maiores percentuais além de alumínio e cobre (menor percentual).

Em se tratando de potabilidade, segundo os critérios de Schoeller, as águas da Formação Serra Geral apresentam potabilidade permanente boa o mesmo acontecendo com a maioria das águas das rochas sedimentares. A ocorrência de valores de ferro total acima do limite admissível (1,0 mg/l) segundo a O.M.S. tornam impróprias para o consumo humano cerca de 14,3% das amostras da Formação Serra Geral e 20,0% das amostras da seqüência sedimentar. De um modo geral, para o consumo animal a maioria das amostras não apresentam restrições.

No caso da qualidade das águas para irrigação são feitas restrições apenas para as águas das rochas sedimentares onde 2,70% das amostras pertencem ao grupo $C_3 - S_1$ e 5,41% pertencem ao grupo $C_1 - S_1$, que exigem cuidados especiais quanto à salinidade. As águas pertencentes a este último grupo, de um modo geral, não se prestam para irrigação, devido ao fato de apresentarem salinidade muito alta.

Nas águas superficiais predominam os íons sulfato e magnésio. Segundo os parâmetros indicativos de rios não contaminados a contaminação dos rios na área é flagrante como se pode ver através dos valores de pH onde 72,7% das amostras estão abaixo do limite inferior, sendo portanto águas ácidas. Para a acidez 90,9% das amostras estão acima do limite proposto, bem como os sulfatos com o mesmo percentual. O ferro total apresenta 81,8% das amostras fora do padrão previsto e no caso dos sólidos totais (resíduo seco) todos os valores ultrapassam o valor limite. No caso da condutividade elétrica cerca de 81,8% das amostras apresentam valores superiores ao valor limite.

A análise dos resultados expostos mostra que realmente existe contaminação da água superficial quanto da água subterrânea e a comprovação da contaminação dos aquíferos é mostrada no item que aborda a vulnerabilidade desses aquíferos.

Através dos mapas temáticos dos principais fatores indicativos de contaminação, verifica-se que na área de Siderópolis existem três focos de contaminação que correspondem a Siderópolis, Treviso e Forquilha, sendo que nessas áreas as curvas de isovalores desses fatores tendem a se concentrar em torno das mesmas. Os valores apresentados por esses fatores nessas áreas estão, de modo geral, fora dos limites toleráveis estabelecidos para potabilidade, o que caracteriza a contaminação.

A vulnerabilidade dos aquíferos na área de Siderópolis está condicionada às rupturas (falhas e fraturas) para o aquífero Serra Geral e ao tempo de recarga para os aquíferos livres e à velocidade das águas dentro do aquífero confinado no caso dos aquíferos da seqüência sedimentar. Analisando os aquíferos em função das características litológicas, permeabilidade, área de ocorrência, topografia e ruptu-



ras, além da proximidade ou não de focos de contaminação, concluiu-se que quanto à vulnerabilidade esta varia de baixa a elevada para a Formação Serra Geral, também de baixa a elevada para a Formação Rio Bonito, de baixa a média para a Formação Palermo e baixa para as formações Irati, Estrada Nova e Rio do Rasto. A vulnerabilidade do aquífero dos sedimentos inconsolidados do Quaternário, pela sua posição em relação aos focos de contaminação (a montante), varia de média a elevada.

Os problemas decorrentes da contaminação da água subterrânea nesta área são graves, devido principalmente às grandes velocidades relativas de percolação, além do que não sendo a mesma visível como nos casos de água superficial, seu estudo foi relegado a um segundo plano, resultando num quadro em que existe um avanço da contaminação e ao mesmo tempo um grau de comprometimento que impedirá o uso futuro destas águas.

As recomendações julgadas necessárias, devido ao grau de contaminação a que estão sujeitos os aquíferos da área de Siderópolis, serão abordadas a seguir:

- A recomposição das áreas de mineração a céu aberto deve ser feita concomitantemente com a lavra para não propiciar a formação de lagoas ácidas. As crateras, resultantes da mineração, com o tempo passam a represar as águas da chuva que em contato com os rejeitos piritosos vão se acidificando, como se pode comprovar através de valores de pH de até 2,3. Por outro lado, com o passar do tempo há maior liberação de materiais contaminantes e os riscos de contaminação tendem a aumentar.

- Escolha de áreas para deposição dos rejeitos de lavra e beneficiamento do carvão fora das áreas de afloramento da For-

mação Rio Bonito que se constitui no principal aquífero da seqüência sedimentar. As características litológicas, a permeabilidade, o solo arenoso que a recobre e a topografia pouco acidentada na área de afloramento dessa formação facilitam a contaminação das águas do aquífero definido por ela.

Das três regiões mineradas, a de Forquilha apresenta a menor contaminação tanto das águas subterrâneas quanto superficiais. Qualquer depósito de rejeito nas cavas deve ser evitado. Como exemplo do que não deve ser feito, a Carbonífera Metropolitana S.A. projeta colocar os rejeitos de beneficiamento nas áreas mineradas a céu aberto pela Carbonífera Treviso S.A. e, portanto, em rochas pertencentes a Formação Rio Bonito altamente vulneráveis à contaminação.

- Caso a hipótese acima se torne economicamente inviável, devido à distância, deverá ser colocada uma camada de material argiloso sobre as rochas da Formação Rio Bonito com o objetivo de evitar um contato direto desta formação com o rejeito da mineração. Sobre esta camada de material argiloso, que funcionará como impermeabilizante, serão depositados os rejeitos da mineração.

- Procurar isolar os depósitos de rejeito do contato com o ar, pois esse procedimento irá impedir a alteração da pirita com a conseqüente liberação de sulfatos, ácidos e metais pesados responsáveis pela contaminação das águas. A preparação das áreas para deposição dos rejeitos deverá ser feita procedendo-se ao isolamento do solo com uma capa de argila e posterior recobrimento do depósito com nova camada argilosa e assim sucessivamente, sempre procurando eliminar o contato do rejeito com o ar.

- As medidas saneadoras da poluição da região carbonífera devem levar em consideração as condições hidrogeológicas para

uma avaliação mais confiável dos parâmetros contaminantes que ocorrem na região. O controle ambiental visto apenas da ótica de impacto nas águas superficiais, leva a soluções ineficientes como bacias de decantação mal construídas, disposição de rejeitos sem a devida proteção do freático contra infiltrações, além de outros inconvenientes.

- Área de Candiota

Os testes de lixiviação nesta área, devido aos baixos teores de enxofre, resultaram em drenagens pouco ácidas.

As cinzas residuais das termoeletricas de Candiota mostraram um pequeno potencial poluidor nos testes de lixiviação. Isto se deve à presença de pirita que não é volatilizada na queima do carvão. Ao contrário do que acontece em Santa Catarina, a drenagem das cinzas residuais não apresentou altos teores de ferro, mas apenas de zinco e manganês.

A hidrogeologia na área em apreço foi abordada através do estudo dos aquíferos das rochas sedimentares e dos aquíferos fraturados do embasamento cristalino.

O principal aquífero da área é a Formação Rio Bonito que representa o melhor reservatório de água subterrânea. Em segundo plano, a Formação Palermo se constitui num reservatório razoável. O embasamento cristalino, representado pela Suíte Metamórfica Cambaí, apresenta fracas possibilidades hídricas no que diz respeito à quantidade de água que pode armazenar, embora os poços escavados existentes na sua área de ocorrência, captando água do manto de intemperismo, possam suprir as necessidades da população rural.

Em relação à qualidade química, predomina o

ânion bicarbonato sem haver predominância de alguns dos cátions. A condutividade elétrica média é de 320,4 micromhos/cm situando-se a maioria dos valores acima de 100 micromhos/cm. O resíduo seco médio é de 180,7 mg/l com maior número de valores inferiores a 300 mg/l. Quanto ao pH a água do único poço tubular é neutra, dos poços escavados varia de ácida a alcalina e para as nascentes varia de ácida a quase neutra. A dureza média é de 82,1 mg/l de CaCO_3 ou 8,2°F, sendo classificadas a maioria das águas como "muito moles", ou seja, águas doces. Para a acidez o valor médio é de 68,7 mg/l de CaCO_3 , sendo que 54,5% dos valores são inferiores a 50 mg/l.

O mapa hidroquímico, onde são mostrados os diagramas de Stiff, identifica visivelmente o relacionamento dos tipos químicos com a litologia. A amostra coletada próximo à área de mineração de carvão (água sulfatada) indica um grande aporte de sulfatos resultantes da alteração da pirita presente no carvão, que irão contribuir para a contaminação das águas subterrâneas.

Quanto às relações iônicas, as águas representam bem os terrenos dos quais provem. Os valores do índice de troca de bases (itb) sugerem águas pouco salinas, sendo que o aparecimento de valores baixos indica troca de Ca^{++} e Mg^{++} por Na^+ com abrandamento da água.

A avaliação dos elementos maiores e menores na água subterrânea mostra que na área abrangida pela Suíte Metamórfica Cambaí apenas o ferro e o zinco apresentam valores que indicam contaminação das águas. Na seqüência sedimentar a contaminação é devida aos elementos ferro (maior percentual), cobre, cobalto, manganês, alumínio, estrôncio, níquel (todos com menores percentuais) e zinco.

Para a água superficial, a avaliação desses

mesmos elementos mostra que existe contaminação em relação ao ferro (maior percentual), manganês, cobalto e zinco.

No caso da potabilidade, segundo os critérios de Schoeller, as águas da Suíte Metamórfica Cambaí apresentam potabilidade permanente boa, sendo que a maior parte das amostras da seqüência sedimentar também apresentam essa mesma potabilidade. Devido à incidência de valores de ferro total acima do limite admissível (1,0 mg/l) de acordo com a O. M.S., cerca de 42,8% das amostras coletadas na Suíte Metamórfica Cambaí e 26,9% da seqüência sedimentar apresentam valores inviáveis para o consumo humano. Para os animais não existem restrições, uma vez que todas as águas estão dentro dos limites previstos.

A qualidade das águas para irrigação não apresentam restrições no caso da Suíte Metamórfica Cambaí. Porém para a seqüência sedimentar cerca de 15,2% das águas são classificadas como do tipo $C_3 - S_1$, exigindo pois cuidados especiais quanto à salinidade.

Na água superficial os ânions bicarbonatado e sulfatado ocorrem na mesma proporção.

Os parâmetros indicativos de rios não contaminados mostram que na área de Candiota, ao contrário da área de Siderópolis, a contaminação das águas superficiais ainda não atingiu níveis alarmantes. Isto pode ser visto através dos valores de pH, onde apenas uma amostra excede o limite superior, acidez que mostra apenas um valor fora do limite proposto, sulfatos que apresentam 03 valores acima do limite estipulado, e sólidos totais e condutividade que apresentam um valor acima do limite proposto. Somente o ferro indica certa contaminação, mostrada por 04 amostras fora do limite previsto.

A análise dos resultados obtidos, apresentados nas conclusões para a área de Candiota, mostra a contaminação das águas superficiais e subterrâneas localizada em torno da mineração de carvão, sendo esta confirmada no item que trata da vulnerabilidade.

Os mapas temáticos dos principais fatores indicativos de contaminação mostram que o principal foco é representado pelas áreas de mineração do carvão ao norte (paralisada) e a sudoeste da vila da CRM (Dario Lassance). A observação das curvas de isovalores desses fatores permite visualizar esse foco de contaminação, pois se concentram sobre essas áreas. Os parâmetros para essas áreas, pelo fato de apresentarem valores fora dos limites toleráveis para potabilidade, indicam e caracterizam a contaminação, porém em grau bem inferior à área de Siderópolis.

As cinzas volantes, resultantes da queima do carvão pela Usina Termoelétrica Candiota II, representam outro foco de contaminação. Elas contribuem também na contaminação dos mananciais de superfície e subterrâneos através de elementos-traço conforme está dito no item 9.13.1.

A vulnerabilidade dos aquíferos na área de Candiota depende das rupturas (falhas e fraturas) para o aquífero fraturado da Suíte Metamórfica Cambaí, ao tempo de recarga para os aquíferos livres e à velocidade das águas dentro do aquífero confinado para os aquíferos da seqüência sedimentar.

Pelas características litológicas, permeabilidade, área de ocorrência, topografia e rupturas, além da distância dos focos de contaminação, conclui-se que o aquífero fraturado apresenta baixa vulnerabilidade. Na seqüência sedimentar, o aquífero Rio Bonito apresenta uma vulnerabili-



CPRM

dade que varia de baixa a elevada, o aquífero Palermo é de baixa vulnerabilidade, bem como os aquíferos representados pelas Formações Irati e Estrada Nova e sedimentos inconsolidados do Terciário-Quaternário e Quaternário.

As recomendações para a área de Candiota, visando controlar e minimizar a contaminação dos aquíferos que ainda não atingiu níveis críticos, porém já foi detectada através dos estudos desenvolvidos no projeto que ora se conclui, são apontadas a seguir:

- A recomposição das áreas de mineração devem ser realizadas num intervalo de tempo não muito longo entre a lavra e esse trabalho, para evitar a lixiviação dos elementos contaminantes. A Companhia Riograndense de Mineração (CRM), que atua na área, já possui um projeto de recomposição das áreas mineradas, porém ainda não foi efetivamente implantado.

- Na deposição dos rejeitos da mineração do carvão, procurar recobrir esses depósitos com material argiloso a fim de não facilitar o carreamento dos materiais contaminantes para os aquíferos ou mananciais de superfície. Essas mesmas considerações são válidas para as cinzas residuárias pelo fato de conterem apreciáveis quantidades de materiais tóxicos, que são agentes contaminantes em potencial.

- Embora ao nível atual de estudo não se tenha comprovado efetivamente a contaminação em larga escala provocada pelas cinzas volantes, sugere-se um permanente controle das emissões de partículas através da chaminé da Usina Termoelétrica Presidente Médici para minimizar o aporte de materiais tóxicos nos mananciais subterrâneos e de superfície na área em questão.

Pelos estudos desenvolvidos e pelos resulta-

dos obtidos nas duas áreas-piloto (Siderópolis - SC e Candiota - RS), é de fundamental importância a aplicação dos parâmetros obtidos nas demais áreas carboníferas no sul do País, para um controle ambiental mais efetivo e conseqüente minimização dos efeitos altamente nocivos produzidos por esta atividade mineira.

11. BIBLIOGRAFIA

- AOKI, P.E. Metodologia das determinações da velocidade, direção e sentido do fluxo da água subterrânea, com utilização de traçadores radioativos. São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica, USP. 1983. 128 p.
- AZAMBUJA, D.S. - Estudo da associação de elementos-traços com a fração orgânica e inorgânica do carvão do Leão. Porto Alegre, Departamento de Metalurgia, UFRGS. 1978. 117 p.
- CARUCCIO, F.T. & GEIDEL, G. - Geochemical Factors Affecting Coal Mine Drainage Quality. In: Reclamation of Drastically Disturbed Lands. 1978.
- CARUCCIO, F.T. et alii - Ocurrence and Prediction of Acid Drainages. In.: Journal of the Energy Division, ASCE, nº 107. 1981. 167 p.
- CASTANY, G. - Tratado Práctico de las Águas Subterráneas. Barcelona, Omega, 1971.
- CEEE-DT-DEP - Elementos Meteorológicos para a Central Termoeleétrica Candiota II. 1967. 52 p.
- CETESB - Água; qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo. 1969. 298 p.
- CETESB - Poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo. Estudo Preliminar. Secretaria de Obras e do Meio Ambiente/CETESB. 1977. 88 p.

- CETESB - Curso sobre Poluição das Águas. Gerência de Treinamento e Divulgação Científica da CETESB. 1982.
- CONCARBO - Subsídios a uma Política Carboquímica Estadual. Conselho Estadual do Carvão. Rio Grande do Sul. 1981.
- CPRM - CARVÃO: Definição, propriedades físicas e químicas. Equipe de Carvão. Rio de Janeiro. V.3. 1978. 142 p.
- CPRM - Projeto Grande Candiota - Bloco Sul de Candiota. Relatório Final de Pesquisa - Porto Alegre. Brasil - 1983. 104 p.
- CPRM - Programa Nacional de Prospecção para Carvão, Linhito e Turfa - Projeto Carvão na Área da Malha II - SC. Relatório Final de Pesquisa. Porto Alegre. Brasil. 1983. 64 p.
- CPRM - Programa Nacional de Prospecção para Carvão, Linhito e Turfa - Projeto Carvão nas Áreas da Mina Esperança e da Mina Fontanella - SC. Relatório Final de Pesquisa. Porto Alegre. Brasil. 1983. 79 p.
- CPRM - Alguns aspectos conceituais do projeto Estudo da Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrente da extração do carvão mineral. CPRM, 1984. 8 p. Inédito.
- CRM - Barragem do Arroio Poacá - Mina de Candiota. Relatório de hidrologia básica. Porto Alegre. 168 p.
- CRM - Síntese do condicionamento da mina de Candiota. CRM/Secretaria de Energia, Minas e Comunicações/Governo do Estado do Rio Grande do Sul. 1979. 20 p.
- CRM - Mina de Candiota. Preservação do Meio Ambiente. Divisão de Projetos e Obras. Porto Alegre. 1982. 53 p.

CUNHA, I.J. - Programa de Conservação ambiental do sul de Santa Catarina (PAS) "Controle da poluição das atividades mineradoras e processadoras do carvão. In.: II Seminário Brasileiro sobre técnicas exploratórias em geologia. p. 689-695. 1980.

CRUZ, W.B. & FRANÇA, H.P.M. - Inventário Hidrogeológico do Nordeste - Folha 14 - Jaguaribe - SO. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 31). Recife. SUDENE. 1970. 222 p.

CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M.R. - Hidrología subterránea. Barcelona, Omega, 1976.

DIRECTION GÉNÉRALE DES TERRES - Mining, land use and the environment. Land use in Canadá séries, nº 22, p. 11-152.

DNAEE - Normas e Recomendações hidrológicas. Anexo V - Qualidade da Água. Ministério das Minas e Energia. 1967. 110 p.

ELETROSUL - Termoelétricas e Meio Ambiente. O impacto ambiental da ação do homem sobre a natureza. Florianópolis. 1978. 45 p.

EPA - Paleoenvironment of Coal and its Relation to Drainage Quality. Environmental Protection Agency. USA. 1977.

EPA - Mine Drainage Management and Monitoring. Environmental Protection Agency. USA. 1981.

EPA - Trace Element Characterization of Coal Wastes. Environmental Protection Agency. USA. 1982.

- EPSTEIN, M. - Queima de Carvão no III Pólo Petroquímico: Impacto ambiental dos elementos menores. Análise preliminar. Centro de Controle da Poluição - Fundatec. Porto Alegre. 1979. 90 p.
- EVERETT, L.G. - A structured groundwater quality monitoring methodology for developing countries. Water Quality Bulletin, V.6, nº 1, p. 1-6. 1981.
- FABRÍCIO, J.A.C. et alii - Projeto Carvão no Estado de Santa Catarina - Relatório Integrado. Convênio DNPM/CPRM. 1973. 5 v. Relatório Inédito.
- FATMA - Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente. Projeto C: Avaliação e controle de fontes de poluição. Minuta do relatório final, V.1. Santa Catarina, FATMA. 1978. 134 p.
- FATMA; SEMA; SUDESUL - Projeto Prevenção e Controle da poluição no sul do Estado de Santa Catarina. Diagnóstico e dimensionamento da problemática da mineração e uso do carvão no sul do Estado de Santa Catarina - relatório geral. FATMA/SEMA/SUDESUL. 1978. 107 p.
- FATMA - Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente. Projeto E: Recuperação ambiental de áreas de disposição de rejeitos da mineração. Minuta do relatório final, V.1. Santa Catarina, FATMA, 1981. 251 p.
- FATMA - Fundação de Amparo à Tecnologia e Meio Ambiente. Projeto G: Siderópolis/Fiorita. Minuta do relatório final, V.1 e 2. Santa Catarina, FATMA. 1982. 286 p.
- FELICÍSSIMO, Jr.; J. - Aproveitamento do resíduo piritoso da lavagem de carvão para sulfurização de cerrados e pastagens. In.: XXII Congresso Brasileiro de Geologia. Sociedade Brasileira de Geologia, Belo Horizonte. p. 271-277. 1968.

FERREIRA, C.S. et alii - Ocorrência da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) na Bacia de Barreirinhas, Maranhão. Revista Brasileira de Geociências. São Paulo. V.3., nº 1. p. 60-67. 1973.

FUNDACENTRO - Inventário preliminar das fontes poluidoras atmosféricas e hídricas nas coqueiras de Criciúma, Lauro Müller e Urussanga - SC. In.: "IESA - Preservação do Meio Ambiente - Relatório Conceitual". 1983. 60 p.

GREHS, S.A. - Geologia Ambiental na Mineração. In.: II Seminário Brasileiro sobre técnicas exploratórias em geologia. p. 679-685. 1980.

GROENEWOLD, G.H. et alii. - Depositional setting and groundwater quality in coal-bearing sediments and spoils in western North Dakota. SEPM Special Publication, nº 31, p. 157-137. 1981.

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL - Conclusões dos estudos realizados sobre as regiões atingidas pela poluição. Relatório Final. Brasília. 1981. 36 p.

GUAZELLI, W. & FEIJÓ, F.J. - Geologia de Semi-Detalhe do Centro-Leste e Sudeste de Santa Catarina. Petrobrás/Desul/ Seges. 1970.

HAUSMAN, A. - Esboço hidrogeológico do Rio Grande do Sul. In.: Semana de debates geológicos. Porto Alegre, CAEG. UFRGS. p. 33-71. 1965.

HOEKS, J. - Analytical solutions for transport of conservative and nonconservative contaminants in groundwater systems. Water, Air and Soil Pollution 16, p. 339-350. 1981.

- HORNE, J.C. et alii - Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian region. (Trad. de Arialto F. de Andrade). Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 62, nº 12, p. 2379-2411. 1978.
- IESA - Preservação do Meio Ambiente - Relatório Conceitual. Rio de Janeiro. 1983. 190 p.
- JOHNSON DIVISION/CETESB - Água Subterrânea e Poços Tubulares. Trad. CETESB. 3ª ed. rev. 1978.
- KIHARA, Y. - Estudo mineralógico das cinzas volantes brasileiras: origem, características e qualidade. Inst. de Geociências - USP. São Paulo. 1983.
- KLEINMANN, R. & ERICKSON, P. - Control of Acid Drainage from Coal Refuse using Anionic Surfactants. Bureau of Mines Report of Investigations. U.S. Department of the Interior. 1983. 19 p.
- LEITE, C.A.G et alii - Geologia aplicada a rejeitos de mineração: uma proposta metodológica. In.: XXXI Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, Balneário de Camboriú, Sociedade Brasileira de Geologia, V.2., p. 968-975. 1980.
- 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., 1967. 81 p. (Relatório Inédito USAID).

- MARTINS Jr., P.M. - Estudo para uma estratégia regional de avaliação de metais dissolvidos em águas subterrâneas. In.: XXXII Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, V.4., p. 1696-1709. 1982.
- MENEZES FILHO, N.R. & BRITO, P.C. - Estratigrafia da sequência gonduânica na região de Candiota, RS. In.: Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Anais do... Salvador, 1982. Sociedade Brasileira de Geologia, Salvador. p. 1392-1405. 1982.
- MENEZES FILHO, N.R. & RODRIGUES, T.L.N. - Faciologia e Análise Ambiental preliminar da Formação Rio Bonito na região de Grande Candiota, Rio Grande do Sul, Brasil: Uma proposta de modelo deposicional. In.: Atas do Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia. Porto Alegre, 1983. p. 371-391.
- MUHLMANN, H. et alii - Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. In.: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, V.1. 1974. p. 41-65.
- REITZ, R. et alii - Projeto madeira de Santa Catarina. Brasil, s. ed. 1978. s.p.
- SÁNCHEZ, J.C.D. et alii - Alguns elementos-traço nos carvões de Candiota, RS. Áreas de Hulha Negra e Seival. In.: XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Anais, Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, V.3., p. 1170-1182. 1982.
- SÁNCHEZ, J.C.D. & PINTAÚDE, D.A. - Arsênio, selênio e mercúrio em carvões sul-riograndenses. Carvão, Informação e Pesquisa. Porto Alegre. V.6., nº 16. 1983.

- SANTA CATARINA - Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Números de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1983.
- SCHNEIDER, R.L. et alii - Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In.: Congresso Brasileiro de Geologia, XXVIII. Anais do... Porto Alegre, 1974. Sociedade Brasileira de Geologia, Porto Alegre. V.1., p. 41-65. 1974.
- SCHOELLER, H. - Les eaux souterraines, Paris. Masson 1962. 611 p.
- SCHOELLER, H. - Essai sur la qualité chimique de l'eau destinée à l'alimentation de l'homme dans le pays arides. Terres et Eaux. Paris, 24: 4-11, 1955.
- SECRETARIA DA INDÚSTRIA E COMÉRCIO - Aspectos Sócio-Econômicos dos Municípios do Rio Grande do Sul. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. 1983. 276 p.
- SEMA - I Seminário sobre poluição por metais pesados. Brasília, SEMA/SACT. 1979. 184 p.
- SILVA, L.M. - Água Subterrânea em Içara: Construção do poço tubular mais produtivo do Estado de Santa Catarina. 3º Encontro Nacional dos Perfuradores de Poços - ABAS. Curitiba. 1983. 30 p.
- SILVA, A.B. - Evolução química das águas subterrâneas. Revista Águas Subterrâneas. São Paulo, nº 7, p. 05-12. 1984.
- SILVA, L.C. - Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais - Folha SG-22-Z-D (Florianópolis). DNPM/CPRM, Porto Alegre. 1983. Relatório Inédito.

- SINELLI, O. - Vulnerabilidade dos aquíferos subterrâneos na região NNE do Estado de São Paulo. In.: XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre - Anais, Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Geologia, p. 89-98. 1974.
- SUDENE (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 13). Elementos de hidrogeologia prática. Recife. 1967. 372 p.
- TESSARI, R.I. & GIFFONI, L.E. - Geologia da Região de Piratini - Pinheiro Machado - DNPM. Bol. 246 - Rio de Janeiro, Brasil - 1970. 122 p.
- THIESSEN, G. - Forms of sulfur in coal. In.: Chemistry of Coal Utilization. John Wiley and Sons, Inc - New York and Chapman and Hall, Limited - London. V.1. p. 425-450. 1945.
- UFRGS; IPH - Impacto da mineração do carvão sobre os recursos hídricos da bacia carbonífera de Santa Catarina. Projeto Prevenção e Controle da poluição no sul do Estado de Santa Catarina. Governo do Estado de Santa Catarina /SUDESUL/FATMA/SEMA. Relatório Final. 1978. 133 p.
- UFRGS; Instituto de Biociências - NIDECO; FATMA. Estudos sobre o impacto ecológico da mineração e do beneficiamento do carvão na região sul do Estado de Santa Catarina. Porto Alegre, UFRGS "Curso de Pós-Graduação em Ecologia". 1978. 337 p.
- UFRGS; IPH - Estudo da qualidade das águas e principais atividades poluidoras na Bacia do Alto Rio Mãe Luzia. Porto Alegre, UFRGS/FATMA. 1981. 180 p.

URDININEA, J.S.A. & PINTAÚDE, D.A. - Elementos menores nos carvões das jazidas das Bacias Carboníferas de Leão-Butiá e Candidota. Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro. 55 (331): 10-5. 1972.

U.S. SALINITY LABORATORY - Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. Handbook 60, U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C. 1954. 80 p.

RESULTADOS DE ANÁLISE

TABELA 8.13.1

ÁREA DE SIDERÓPOLIS

1/2

PONTO	TIPO	ELEMENTOS MAIORES E MENORES - METAIS PESADOS (mg/l)												
		Ca	Fe	Cu	Pb	Zn	Co	Cd	Mn	Cr	V	Al	Sr	Ni
001	NC	2,0	N.D.	<0,003	<0,005	0,03	< 0,003	0,001	<0,001	< 0,005	< 0,02	0,08	0,004	<0,003
003	PE	6,4	N.D.	0,005	<0,005	0,02	< 0,003	< 0,001	0,004	0,005	< 0,02	0,61	0,030	<0,003
007	Rio	74,5	28,0	0,015	0,013	0,55	0,114	0,001	7,0	0,005	< 0,02	18,0	0,220	0,130
013	Rio	4,0	0,1	<0,003	0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,002	< 0,005	< 0,02	0,06	0,022	<0,003
017	PE	4,0	0,3	0,007	<0,005	0,10	0,060	0,004	0,275	< 0,005	< 0,02	0,32	0,110	0,017
018	PT	60,0	3,8	<0,003	0,008	0,07	0,006	<0,001	0,390	0,005	< 0,02	0,03	0,825	0,008
026	NC	10,4	N.D.	0,006	<0,005	0,11	0,042	0,002	1,72	< 0,005	< 0,02	15,40	0,075	0,022
027	NC	8,0	50,0	0,050	0,015	0,68	0,092	0,002	4,3	0,010	<0,02	100,0	0,038	0,102
035	NC	2,0	0,5	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	0,001	0,019	0,005	< 0,02	0,20	0,007	<0,003
040	PT	3,1	23,4	<0,003	0,005	0,489	< 0,003	< 0,001	0,195	< 0,005	< 0,02	0,06	0,050	<0,003
041	PE	2,4	0,15	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	0,002	0,002	< 0,005	< 0,02	0,45	0,007	<0,003
047	PE	7,6	0,5	0,003	<0,005	0,05	< 0,003	< 0,001	0,090	0,010	< 0,02	3,25	0,033	0,003
050	PE	1,2	0,2	<0,003	0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,004	< 0,005	< 0,02	0,17	0,007	<0,003
054	Rio	76,1	26,0	0,013	0,015	0,56	0,215	0,001	15,4	0,005	< 0,02	42,0	0,180	0,295
058	PE	6,8	0,3	<0,003	<0,005	0,05	< 0,003	< 0,001	0,180	0,008	< 0,02	2,30	0,030	<0,003
059	PT	42,5	700,0	0,016	0,020	6,0	0,750	ND	51,0	0,025	0,03	165,0	0,150	0,625
063	PT	475,0	240,0	0,014	0,018	2,4	0,125	ND	24,0	0,018	0,02	19,0	0,525	0,125
064	PT	21,6	N.D.	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,250	< 0,005	< 0,02	0,03	0,280	<0,003
066	Rio	40,1	32,0	0,047	<0,005	0,50	0,168	0,002	6,0	0,008	< 0,02	42,0	0,125	0,200
068	Rio	260,5	120,0	0,040	0,015	1,82	0,360	0,001	26,0	0,010	0,02	63,0	0,670	0,460
071	NC	2,8	N.D.	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	0,002	0,001	< 0,005	< 0,02	0,03	0,013	<0,003
072	NC	4,0	0,3	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	<0,001	0,003	< 0,005	< 0,02	0,15	0,013	<0,003
073	PE	6,4	13,0	<0,003	<0,005	0,01	< 0,003	< 0,001	0,008	< 0,005	< 0,02	2,0	0,034	<0,003
075	PE	2,4	0,1	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,02	0,07	0,014	<0,003
076	Rio	16,0	5,5	0,005	0,008	0,07	0,024	< 0,001	1,4	< 0,005	< 0,02	5,7	0,053	0,024
073	Rio	13,6	0,7	0,016	0,005	0,20	0,040	0,001	1,2	< 0,005	< 0,02	7,6	0,060	0,048
083	Rio	17,0	4,5	0,018	0,008	0,31	0,054	0,001	1,6	< 0,005	< 0,02	10,0	0,064	0,062
086	NC	-	2.200,0	0,196	0,090	2,20	0,248	0,004	3,7	0,120	0,26	530,0	0,038	0,316
087	Rio	11,2	4,0	0,007	<0,005	0,11	0,030	< 0,001	0,850	< 0,005	< 0,02	6,2	0,040	0,026
088	PE	5,6	0,1	0,011	0,008	0,20	0,020	0,001	0,140	< 0,005	< 0,02	6,7	0,036	0,014
089	PE	16,0	0,1	<0,003	<0,005	0,02	< 0,003	0,001	< 0,001	< 0,005	< 0,02	0,06	0,100	<0,003
091	PE	3,6	0,3	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,004	< 0,005	< 0,02	0,09	0,017	<0,003
093	PE	16,0	0,2	0,007	0,025	0,03	0,054	< 0,001	1,4	< 0,005	< 0,02	3,3	0,070	0,004
094	PE	8,8	0,1	<0,003	<0,005	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,003	< 0,005	< 0,02	0,30	0,061	<0,003
096	Rio	15,2	12,5	0,008	0,010	0,23	0,038	0,001	1,1	< 0,005	< 0,02	17,0	0,040	0,060
099	PE	4,0	1,2	0,015	0,016	< 0,01	< 0,003	< 0,001	0,015	< 0,005	< 0,02	1,55	0,017	<0,003
100	PE	24,0	0,1	<0,003	0,016	0,09	0,004	0,001	0,255	0,005	< 0,02	4,80	0,070	0,003

NC - FONTE, NASCENTE

PE - POÇO ESCAVADO

PT - POÇO TUBULAR

ND - NÃO DETECTADO

RESULTADOS DE ANÁLISE

TABELA 9.12.1

ÁREA DE CANDIOTA

1/2

PONTO	TIPO	ELEMENTOS MAIORES E MENORES - METAIS PESADOS (mg/l)												
		Co	Fe	Cu	Pb	Zn	Co	Cd	Mn	Cr	V	Al	Sr	Ni
01	NC	152,3	0,6	0,030	0,020	1,8	0,64	0,004	6,1	0,02	<0,02	36	1,5	0,80
03	Rio	1,6	1,2	0,004	<0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,001	<0,02	<0,02	0,06	0,016	<0,004
06	Rio	4,8	2,8	0,004	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,44	0,036	<0,004
08	Rio	37,7	8,8	0,011	0,008	0,20	0,092	0,002	1,8	<0,02	<0,02	6,3	0,22	0,12
09	Rio	5,6	0,7	0,003	<0,005	0,02	0,010	<0,001	0,32	<0,02	<0,02	0,17	0,035	0,006
10	Rio	6,4	3,0	0,004	<0,005	0,05	0,020	<0,001	0,48	<0,02	<0,02	1,0	0,053	0,022
15	PE	4,8	0,3	0,003	<0,005	0,03	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,08	0,032	<0,004
17	NC	1,2	0,6	0,004	0,010	0,03	<0,004	<0,001	<0,001	<0,02	<0,02	0,06	0,017	<0,004
18	PE	1,4	0,9	0,004	0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,010	<0,02	<0,02	0,10	0,019	<0,004
19	NC	1,2	0,2	<0,002	<0,005	<0,01	<0,004	<0,001	0,009	<0,02	<0,02	0,05	0,016	<0,004
20	NC	7,0	2,5	0,008	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,02	0,035	<0,004
21	NC	1,6	1,9	0,008	0,018	<0,01	<0,004	<0,001	0,008	<0,005	<0,02	0,62	0,024	0,008
22	PE	4,0	1,0	0,008	0,013	0,01	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,26	0,029	0,008
24	NC	2,4	0,7	0,005	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,023	<0,02	<0,02	0,13	0,030	0,006
25	NC	2,4	2,3	0,006	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,72	0,057	<0,004
27	NC	2,4	1,6	0,003	<0,005	<0,01	<0,004	<0,001	<0,001	<0,005	<0,02	0,04	0,027	<0,004
28	NC	3,2	0,9	0,005	0,008	0,02	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,07	0,035	0,004
29	NC	0,6	0,3	<0,003	0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,011	<0,02	<0,02	0,07	0,010	<0,004
30	NC	5,2	0,2	0,014	0,015	0,01	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,10	0,070	0,018
31	NC	5,6	0,9	0,006	0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,16	0,048	<0,004
32	PE	4,0	2,4	0,007	<0,005	0,04	<0,004	<0,001	0,001	<0,02	<0,02	0,04	0,035	<0,004
34	PE	103,1	0,15	0,005	0,008	0,01	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,03	0,49	<0,004
36	NC	0,8	0,5	0,003	<0,005	<0,01	<0,004	<0,001	0,001	<0,005	<0,02	0,22	0,012	<0,004
37	PE	10,4	N.D.	0,011	<0,005	0,03	<0,004	<0,001	0,024	<0,005	<0,02	0,03	0,11	<0,004
39	PE	41,7	0,5	0,005	0,010	<0,01	<0,004	<0,001	0,003	<0,005	<0,02	0,04	0,55	0,004
41	NC	3,2	2,4	0,003	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,001	<0,02	<0,02	0,12	0,028	<0,004
42	PT	60,9	0,2	0,003	0,013	<0,01	<0,004	<0,001	0,046	<0,005	<0,02	0,04	0,36	<0,004
43	PE	8,0	0,1	0,012	<0,005	0,03	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,02	0,045	<0,004
44	PE	5,6	0,1	0,005	<0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,017	<0,02	<0,02	0,05	0,046	<0,004
50	Rio	3,2	2,0	0,007	0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,27	0,028	<0,004
52	PE	82,6	1,2	0,003	0,008	0,03	<0,004	<0,001	0,002	<0,02	<0,02	0,02	0,15	<0,004
56	PE	52,1	0,05	0,005	0,010	0,01	<0,004	<0,001	0,003	<0,02	<0,02	0,03	0,17	<0,004
57	PE	61,7	N.D.	0,012	0,013	<0,01	<0,004	<0,001	0,003	<0,005	<0,02	0,07	0,080	<0,004
58	PE	4,8	0,5	0,005	0,005	0,04	<0,004	<0,001	0,001	<0,005	<0,02	0,23	0,038	0,004
59	PE	3,2	0,3	0,004	<0,005	0,01	<0,004	<0,001	0,001	<0,005	<0,02	0,20	0,035	<0,004
60	NC	0,8	1,3	<0,003	<0,005	0,02	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,35	0,015	<0,004
61	PE	3,2	2,3	0,003	<0,005	0,06	<0,004	<0,001	0,002	<0,005	<0,02	0,44	0,065	<0,004

NC - FONTE, NASCENTE PE - POÇO ESCAVADO PT - POÇO TUBULAR ND - NÃO DETECTADO

