

# **Centro de Tecnologia Mineral CETEM/MCT**



## **PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE**

### **VOLUME III**

**RT 46/2000 – Relatório Técnico elaborado para o SIECESC**

**Março 2001**

# **PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE**

## **Equipe Técnica:**

### **Coordenador de Projetos Especiais do CETEM**

Juliano Peres Barbosa

### **Coordenador Técnico do Projeto**

Paulo Sérgio Moreira Soares

### **CETEM - Centro de Tecnologia Mineral**

Antônio Silvio Jornada Krebs - CPRM/CETEM

Flávia Maria de Fátima Nascimento

Laura De Simone Borma

Maria Dionísia Costa dos Santos

Mario Valente Possa

Roberto de Barros Emery Trindade

Rose Mary Gondim Mendonça

Zuleica Carmem Castilhos

### **CANMET - Canada Centre for Mineral and Energy Technology**

Errol van Huyssteen

### **SIECESC - Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina**

Cleber José Baldoni Gomes

Fernando Luiz Zancan

Luiz Carlos Gomes França

**Março 2001**

# PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE – VOLUME III

## ÍNDICE

1	Introdução.....	1
2	Mapas.....	1
2.1	Localização das áreas degradadas pela mineração de carvão e sua subdivisão em Distritos e Grupos.....	1
2.2	Rede hidrográfica.....	4
2.3	Localização regional das áreas visitadas.....	4
2.4	Localização das minas/lavadores nas bacias hidrográficas.....	6
2.5	Usos do solo.....	9
2.6	Estações meteorológicas e dados disponíveis.....	16
2.7	Aspectos geológicos e estruturais e recursos hídricos.....	18
2.7.1	<i>Aspectos geológicos e estruturais.....</i>	<i>18</i>
2.7.2	<i>Recursos hídricos.....</i>	<i>20</i>
2.8	Qualidade das águas superficiais.....	25
2.9	Mapas de documentação.....	26
2.9.1	<i>Mapa de documentação - Recursos hídricos.....</i>	<i>26</i>
2.9.2	<i>Mapa de documentação - Geologia.....</i>	<i>27</i>
2.9.3	<i>Mapa de documentação - Carvão.....</i>	<i>28</i>
2.9.4	<i>Mapa de documentação - Gestão ambiental.....</i>	<i>28</i>
3	Protocolos de amostragem.....	28
3.1	Águas superficiais.....	28
3.1.1	<i>Finalidade dos parâmetros hidrogeoquímicos.....</i>	<i>29</i>
3.1.2	<i>Protocolos de amostragem de águas superficiais e efluentes líquidos.....</i>	<i>31</i>
3.2	Resíduos sólidos e solos.....	34
3.2.1	<i>Descrição dos ensaios de caracterização.....</i>	<i>34</i>
3.2.2	<i>Protocolo de amostragem de resíduos sólidos e solos.....</i>	<i>38</i>
3.3	Modelos de ficha de coleta.....	41
4	Aspectos toxicológicos ambientais na região do estudo.....	41
4.1	Aspectos toxicológicos relacionados à saúde humana por exposição ambiental aos metais pesados.....	43
5	Referências bibliográficas.....	46

ANEXO 1 - MAPAS

ANEXO 2 - FICHAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS

# 1 Introdução

O Volume III do presente Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense apresenta os seguintes tópicos:

- 23 Mapas;
- 3 Protocolos de amostragem; e
- Aspectos toxicológicos ambientais.

Os 23 Mapas exibem:

- a localização das áreas degradadas pela mineração de carvão e sua subdivisão preliminar em *Distritos* e *Grupos*;
- a localização das áreas avaliadas (minas e lavadores), pertencentes a empresas carboníferas filiadas ao SIECESC e sua situação em relação às micro e sub bacias das bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão;
- usos do solo nas micro-bacias / sub-bacias onde se localizam as áreas avaliadas.
- drenagem superficial e estações meteorológicas;
- documentação de geologia, hidrogeologia, prospecção do carvão e gestão ambiental;
- outras fontes de poluição e qualidade de águas superficiais.

Foram elaborados protocolos de amostragem para águas superficiais, efluentes líquidos, resíduos sólidos e solos. Os protocolos padronizam a metodologia e auxiliam a comparação dos resultados da caracterização das fontes poluidoras (efluentes líquidos e resíduos sólidos) e do ambiente receptor (águas superficiais e solos). São apresentadas técnicas de amostragem, de preservação de amostras, metodologia analítica, metodologia de ensaios e sugestão de ficha de coleta.

O Volume III apresenta ainda um modelo toxicológico conceitual, o qual deverá ser utilizado para avaliação de risco à saúde humana por exposição ambiental na região.

## 2 Mapas

### **2.1 *Localização das áreas degradadas pela mineração de carvão e sua subdivisão em Distritos e Grupos***

Com o início das atividades do Grupo de Meio Ambiente do SIECESC em maio de 2000, a primeira preocupação foi elaborar um mapa das atividades de mineração de carvão desenvolvidas na região sul catarinense. Esse mapa mostraria não só as áreas em operação, como aquelas inativas, explotadas ao longo do desenvolvimento da indústria.

Um mapa global e completo permitiria ainda uma avaliação do impacto ambiental causado pelas atividades mineiras, além de servir de base para o acompanhamento dos trabalhos de recuperação ambiental em andamento e futuros.

Dessa forma, foram iniciadas a compilação dos dados existentes no âmbito regional. Paralelamente foram coletados e iniciados a digitalização dos mapas disponíveis nas carboníferas associadas ao SIECESC.

Em agosto de 2000 o SIECESC elaborou um mapa preliminar da região carbonífera sul catarinense, na escala 1:50.000 (Mapa 01-Volume I) abrangendo as bacias hidrográficas

dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga nas porções atingidas pela mineração de carvão. Esse mapa apresentou também os rios e estradas principais, as cidades e localidades, as áreas mineradas a céu aberto, os depósitos de rejeito, as bacias de águas ácidas, as cavas de mineração, a localização das minas e das usinas de beneficiamento.

O mapa foi obtido pela consolidação das informações apresentadas em outubro de 1997 no relatório "Interim Report for The Feasibility Study on Recuperation of Mined-out Areas in The South Region of Santa Catarina in The Federative Republic of Brazil" (JICA), elaborado pela Mitsubishi Materials Corporation e Chioda-Dames Moore CO. LTD. como produto de projeto financiado pela Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina e a Japan International Cooperation Agency – JICA, com as informações apresentadas no relatório final de dezembro de 1999, "Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Araranguá, elaborado pelo Centro Nacional de Treinamento para o Controle da Poluição pela Mineração do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM.

Os mapas apresentados pelo trabalho de outubro de 1997 foram, possivelmente, elaborados a partir de levantamento aerofotogramétrico realizado em 1996. O mapa elaborado pelo DNPM tem como base cartas do IBGE na escala 1:50.000.

A comparação das informações do relatório JICA, as quais abrangem as três bacias hidrográficas, com as informações do DNPM, que se restringem apenas à bacia do rio Araranguá, demonstrou discrepâncias na base cartográfica e na localização e extensão das áreas afetadas pela mineração. Optou-se, então, pela manutenção da base cartográfica do IBGE e pela representação das maiores áreas afetadas pela mineração entre os dois mapas. Foi mantida a nomenclatura das áreas aplicada pelo DNPM.

O mapa elaborado pelo SIECESC e apresentado neste Volume III (Mapa 2.1.1 - anexo) incorporou a subdivisão da região carbonífera em *Distritos* e *Grupos*. A Tabela 2.1 apresenta essa subdivisão e a localização das áreas em atividade, pertencentes a empresas carboníferas filiadas ao SIECESC. São propostos 31 *Grupos*, compreendidos em 16 *Distritos*.

A classificação em *Distritos* e *Grupos* é preliminar e poderá servir como estrutura para elaboração de um banco de dados georreferenciado a ser elaborado ao longo do Projeto.

Para o aprimoramento dessa estrutura, são sugeridas as seguintes etapas:

- atualização da base cartográfica - justificada pelo fato de a base IBGE ser antiga e defasada quanto à localização de estradas de rodagem, dimensão das áreas urbanas, cobertura vegetal e, principalmente, rede hidrográfica, bastante alterada pela atividade humana. É importante a realização de um novo levantamento aerofotogramétrico (vôo e foto-restituição) e geração de mapa básico na escala 1:25.000, abrangendo a totalidade das três bacias hidrográficas em uma área aproximada de 10.000 km<sup>2</sup>; e
- detalhamento, localização, determinação da extensão, quantificação e classificação das fontes de poluição causadas pela atividade de mineração, passada e presente - realizada com apoio de imagens de satélite e levantamento de campo, análise e compilação das informações disponíveis nas empresas carboníferas e órgãos fiscalizadores.

**Tabela 2.1** - Proposta de subdivisão da bacia carbonífera em *Distritos* e *Grupos*, e localização das áreas em atividade, pertencentes a empresas carboníferas filiadas ao SIECESC<sup>1</sup>.

<b><i>Distritos</i></b>	<b><i>Grupos</i></b>	<b><i>Unidades mineiras filiadas em atividade</i></b>
Rio Hipólito		
Lauro Müller	Lauro Müller Norte  Lauro Müller Sul Lauro Müller Leste	UR Rocinha Lavador 3G Mina 3G Plano 2 Mina Bonito
Barro Branco	Barro Branco Itanema	Mina Nápole
Santana	Itanema Leste  Santana Oeste Santana Leste	Lavador UBC 8 Mina Barro Branco
Forquilha	Vila Nesi  Esperança	Mina Setor Forquilha Lavador Forquilha Mina Esperança Mina Fontanella
Rio Carvão	Rio Carvão Norte Rio Carvão Sul Rio Carvão Leste	Lavador Rio América
Treviso	Rio Pio Volta Redonda Morosini	Mina Marion
Rio Deserto		
Siderópolis	Fiorita  Siderópolis Oeste Siderópolis Leste	Mina Malha II Cocalit Mina Malha II Norte Lavador Fiorita Mina do Trevo Mina Meia Encosta Fiorita
Criciúma Norte	São Marcos Rio Maina  São Simão	Lavador São Marcos Lavador Vila Colonial Rio Maina Mina Antonio de Luca
Criciúma Sul	União Santa Augusta Mina 1	Mina União Mina Santa Augusta

<sup>1</sup> A tabela continua na página seguinte....

Linha Batista	Linha Batista Norte Linha Batista Sul	
Mina 4	Mina 4 Norte Mina 4 Sul	
Sangão	Sangão Oeste Sangão Leste	Mina 2 Lavador São Roque
Verdinho		Unidade Mineira II Verdinho
Içara		Unidade Poço 8

## 2.2 Rede Hidrográfica

O mapa 2.2.1 foi confeccionado a partir da extração da rede de drenagens das cartas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e estatística), 1970, escala 1:50.000:

**Tabela 2.2.1** – Referência das cartas topográficas.

<b>Bom Jardim da Serra</b> Folha: SH.22-X-A-III-4 Projeção: Córrego Alegre	<b>Orleães</b> Folha: SH.22-X-B-I-3 Projeção: SAD-69	<b>Tubarão</b> Folha: SH.22-X-B-I-4 Projeção: SAD-69
<b>São Bento de Baixo</b> Folha: SH.22-X-A-VI-2 Projeção: Córrego Alegre	<b>Criciúma</b> Folha: SH.22-X-B-IV-1 Projeção: SAD-69	<b>Jaguaruna</b> Folha: SH.22-X-B-IV-2 Projeção: SAD-69
<b>Turvo</b> Folha: SH.22-X-A-VI-4 Projeção: Córrego Alegre	<b>Araranguá</b> Folha: SH.22-X-B-IV-3 Projeção: SAD-69	<b>Rincão</b> Folha: SH.22-X-B-IV-4 Projeção: SAD-69

Com este mapa foi possível separar as principais bacias existentes na área: Araranguá, Urussanga e Tubarão, além de constituir-se em uma etapa básica para posteriores estudos das unidades lito-estruturais, pedológicos e dos recursos hídricos da região.

## 2.3 Localização Regional das Áreas Visitadas

Durante o período de 16 a 25 de novembro de 2000, foram visitadas 29 áreas referentes às Minas/Lavadores, 2 grandes depósitos de rejeitos e 1 lagoa de decantação, as quais estão representadas no mapa 2.3.1, escala 1:100.000. Estas áreas compreendem 9 pertencentes à Carbonífera Belluno, 3 da Cooperminas, 4 da COMIN e Cia. Ltda., 3 da Carbonífera

Metropolitana, 4 da Indústria Carbonífera Rio Deserto, 1 da Coque Catarinense Ltda. (COCALIT), 4 da Mineração Castelo Branco Ltda., 1 da Mineração Santa Augusta (Minageo) e 2 da Mineração São Domingos. Embora algumas áreas apresentem a palavra mina no nome, na verdade são usinas de beneficiamento e/ou rebeneficiamento.

**Tabela 2.3.1 – Áreas visitadas pertencentes às empresas filiadas ao SIECESC.**

Áreas Visitadas	Leste (X)	Norte (Y)	Empresa	Área	Atividade de mineração
1	653100	6813500	Carb. Criciúma S.A.	Unidade Mineira II - Verdinho	Lavra Subterrânea e beneficiamento
2	652788	6814752	Cooperminas	Mina 3	Lavra subterrânea
3	653807	6819973	Cooperminas	Mina 2	Beneficiamento e rebeneficiamento
3.1	653710	6818800	Cooperminas	Depósito de Rejeitos	
4	652470	6838154	Cocalit – Coque Catarinense Ltda.	Cocalit	Rebeneficiamento
5	650692	6847843	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Esperança e Mina Fontanella	Lavra subterrânea e beneficiamento
6	653730	6853407	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Nápole	Lavra a céu aberto
7	651476	6824375	Carb. Metropolitana S.A.	Mina União	Rebeneficiamento
8	655087	6824420	MinaGeo – Mineração Santa Augusta	Mina Santa Augusta	Lavra subterrânea
9	651254	6843232	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Marion	Lavra a céu aberto
10	652980	6838134	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II	Lavra a céu aberto
11	654492	6837881	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Meia Enc. Fiorita	Lavra subterrânea
12	654893	6837862	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II - Norte	Lavra subterrânea
13	652585	6836805	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador do Rio Fiorita	Beneficiamento e rebeneficiamento
14	654335	6831317	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Marcos	Rebeneficiamento
15	653044	6830058	Carbonífera Belluno Ltda.	Depósito de Rejeitos	
16	652149	6829247	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador da Vila Colonial	Rebeneficiamento
17	652675	6819731	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Roque	Rebeneficiamento
18	652472	6836101	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina do Trevo	Lavra subterrânea e beneficiamento
18.1	652020	683619.4	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Bacia de Decantação	
19	656190	6853755	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina Barro Branco	Lavra subterrânea
20	659831	6853094	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Lavador UBC 8	Beneficiamento
21	653794	6857977	Mineração São Domingos	Lavador Un. Rocinha	Rebeneficiamento
22	665572	6815350	Mineração São Domingos	Unidade Poço 8	Rebeneficiamento
23	650227	6858278	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador Novo Horizonte (3G)	Beneficiamento
24	650150	6858282	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina 3G Plano 2	Lavra subterrânea
25	654320	6858854	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina Bonito	Lavra subterrânea
26	654592	6827526	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador do Rio Maina	Beneficiamento e rebeneficiamento
27	659276	6830285	COMIN e Cia Ltda	Mina Antônio de Luca	Rebeneficiamento
28	650147	6849468	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor Forquilha	Beneficiamento e rebeneficiamento
29	650960	6849753	COMIN e Cia Ltda	Mina Setor Forquilha	Lavra subterrânea
30	658278	6846492	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor América	Rebeneficiamento



## **2.4 Localização das minas/lavadores nas bacias hidrográficas**

Foram visitadas 29 áreas abrangendo 31 pontos, 23 na bacia do rio Araranguá (minas/lavadores), compreendendo 9 da Carbonífera Belluno, 3 da Cooperminas, 3 da COMIN e Cia. Ltda., 2 da Carbonífera Metropolitana, 2 da Indústria Carbonífera Rio Deserto, 1 da Coque Catarinense Ltda. (COCALIT), 1 da Mineração Castelo Branco Ltda., 1 da Mineração Santa Augusta (Minageo) e 1 da Mineração São Domingos.

Na Bacia do rio Tubarão foram visitados 7 áreas, sendo 3 da Mineração Castelo Branco Ltda.; 2 da Indústria Carbonífera Rio Deserto, 1 da Carbonífera Metropolitana e 1 da Mineração São Domingos.

Na bacia do rio Urussanga foi visitado 1 área da COMIN e Cia. Ltda.

As áreas visitadas foram representadas em 8 Mapas (2.4.1 a 2.4.8). Estes mapas situam as áreas dentro das micro/sub-bacias considerando como bacias principais a do Araranguá, Tubarão e Urussanga. Os mapas se encontram em anexo neste Volume.

Na Tabela 2.4.1 são apresentados os mapas de referência, áreas visitadas, suas coordenadas, as micro/sub-bacias às quais eles pertencem e atividade mineral.

As drenagens representadas nos mapas (2.4.1 a 2.4.8 e 2.5.1 a 2.5.8), cedidas em formato digital pelo SIECESC, foram elaboradas pelo DNPM (1999), e em alguns casos complementadas manualmente. As distorções cartográficas, que são visualizadas com a sobreposição dos mapas, possivelmente são devido ao processo de digitalização, somado às distorções das próprias cartas topográficas, como é o caso principalmente observado na folha Criciúma (Folha SH.22-X-B-IV-1).

**Tabela 2.4.1 – Distribuição das Minas/Lavadores visitados nas micro e sub-bacias, coordenadas e mapas de referência.**

Mapa	Bacia Principal	Local	Pontos Visitados	Leste (X)	Norte (Y)	Empresa	Área	Atividade de Mineração
2.4.1	Araranguá	Nascentes do Rio Mãe Luzia	5	650692	6847843	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Esperança e Mina Fontanella	Lavra subterrânea e beneficiamento
			28	650147	6849468	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor Forquilha	Beneficiamento e rebeneficiamento
			29	650960	6849753	COMIN e Cia Ltda	Mina Setor Forquilha	Lavra subterrânea
2.4.1	Araranguá	Micro Bacia do Rio Morosini	9	651254	6843232	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Marion	Lavra a céu aberto
2.4.2	Araranguá	Fiorita	4	652470	6838154	Cocalit – Coque Catarinense Ltda.	Cocalit	Rebeneficiamento
			10	652980	6838134	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II	Lavra a céu aberto
			11	654492	6837881	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Meia Enc. Fiorita	Lavra subterrânea
			12	654893	6837862	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II - Norte	Lavra subterrânea
			13	652585	6836805	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador do Rio Fiorita	Beneficiamento e rebeneficiamento
			18	652472	6836101	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina do Trevo	Lavra subterrânea e beneficiamento
			18.1	652020	683619.4	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Bacia de Decantação	-
2.4.3	Araranguá	Rio Sangão/Maina	14	654335	6831317	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Marcos	Rebeneficiamento
			15	653044	6830058	Carbonífera Belluno Ltda.	Depósito de Rejeitos	-
			16	652149	6829247	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador da Vila Colonial	Rebeneficiamento
			26	654592	6827526	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador do Rio Maina	Beneficiamento e rebeneficiamento
			27	659276	6830285	COMIN e Cia Ltda	Mina Antônio de Luca	Rebeneficiamento
2.4.3	Araranguá	Rio Sangão/Maina (Afluente Esquerdo)	7	651476	6824375	Carb. Metropolitana S.A.	Mina União	Rebeneficiamento
2.4.3	Araranguá	Rio Sangão/Maina (Afluente Direito)	8	655087	6824420	MinaGeo – Mineração Santa Augusta	Mina Santa Augusta	Lavra subterrânea
2.4.4	Araranguá	Sub-Bacia do Rio Sangão (sul)	17	652675	6819731	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Roque	Rebeneficiamento
			3	653807	6819973	Cooperminas	Mina 2	Beneficiamento e rebeneficiamento
			3.1	653710	6818800	Cooperminas	Depósito de Rejeitos	-
2.4.4	Araranguá	Afluente do Rio Sangão próximo ao divisor com o Rio Mãe Luzia	2	652788	6814752	Cooperminas	Mina 3	Lavra subterrânea
2.4.4	Araranguá	Afluente do Rio Sangão próximo ao exutório da bacia	1	653100	6813500	Carb. Criciúma S.A.	Unidade Mineira II - Verdinho	Lavra subterrânea e beneficiamento

Continua...

2.4.5	Araranguá	Micro Bacia do Rio dos Porcos	22	665572	6815350	Mineração São Domingos	Unidade Poço 8	Rebeneficiamento
<b>TOTAL BACIA DO RIO ARARANGUÁ</b>			<b>24</b>					
2.4.6	Urussanga	Rio Carvão	30	658278	6846492	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor América	Rebeneficiamento
<b>TOTAL BACIA URUÇANGA</b>			<b>01</b>					
2.4.7	Tubarão	Palmeira (Rio Salame)	6	653730	6853407	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Nápole	Lavra a céu aberto
			19	656190	6853755	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina Barro Branco	Lavra subterrânea
2.4.7	Tubarão	Palmeira (Rio Lajeado)	20	659831	6853094	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Lavador UBC 8	Beneficiamento
2.4.7	Tubarão	Palmeira (entre Salame e Lajeado)						
2.4.7	Tubarão	Palmeira (afluente entre Lajeado e Malha)						
2.4.7	Tubarão	Palmeira (Rio Malha)						
2.4.8	Tubarão	Rocinha	21	653794	6857977	Mineração São Domingos	Lavador Un. Rocinha	Rebeneficiamento
			23	650227	6858278	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador 3G	Beneficiamento
			24	650150	6858282	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina 3G Plano 2	Lavra subterrânea
			25	654320	6858854	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina Bonito	Lavra subterrânea
<b>TOTAL BACIA DO RIO TUBARÃO</b>			<b>07</b>					

## 2.5 Usos do solo

Os mapas de Usos do Solo foram elaborados para identificar e quantificar a distribuição espacial dos vários tipos de ocupação nas micro/sub-bacias que abrangem as áreas visitadas. Essa informação constitui uma das etapas básicas nos trabalhos de gestão dos recursos hídricos.

A metodologia empregada para a elaboração dos mapas de usos do solo baseia-se no processo de Classificação Supervisionada por Regiões, disponível no programa SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas). Essa técnica utiliza, além da informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos.

O processo de classificação procura simular o comportamento de um foto-intérprete, ao reconhecer áreas homogêneas nas imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens.

O processo de classificação pode ser resumido nas seguintes etapas:

- a) Seleção das bandas 3, 4 e 5 da imagem do satélite Landsat-5;
- b) Seleção da composição colorida, para melhor visualização das áreas carboníferas, assim, optou-se por selecionar a banda 3 no verde, banda 4 no vermelho e banda 5 no azul;
- c) Registro das Imagens - consiste em georreferenciar a imagem com base na carta topográfica;
- d) Segmentação das imagens – neste processo, a imagem é dividida em regiões ou seja, um conjunto de "pixels" contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. A divisão em porções consiste basicamente em um cálculo realizado através de um critério de similaridade para cada par de região adjacente espacialmente. O critério de similaridade baseia-se em um teste de hipótese estatístico que testa a média entre as regiões. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido. Neste trabalho foi estabelecido um limiar de 2 pixels e considerado apenas as áreas maiores de 10 pixels (0,9 ha);
- e) Seleção dos temas a serem agrupados, no caso as 7 classes de usos do solo; e
- f) Aplicação do Classificador MAXVER (Máxima Verossimilhança), o qual considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes utilizando parâmetros estatísticos.

Cabe salientar, que o processo utilizado foi fotointerpretativo. Embora esse processo indique um alto grau de credibilidade, para uma maior confiabilidade dos resultados, torna-se necessário a realização de trabalhos de campo mais detalhados em cada micro/sub-bacia.

A ocupação do solo foi dividida em 7 classes:

### *Bacias de Decantação e Lagos*

Foram representados nesta classe os lagos e as bacias de decantação. Não foi feita distinção quanto ao aspecto qualitativo das águas. Os "pixels" apresentam baixos níveis digitais indicados pela cor preta. Em alguns casos há um aumento da reflectância com

alteração da cor para azul marinho e/ou cinza escuro, em razão da presença de rejeitos na água.

#### *Área de Rejeitos*

Essas áreas foram representadas pelos pixels de baixa reflectância. Aparecem na cor cinza escuro.

#### *Rejeitos/Estéreis com Cobertura Vegetal*

A cobertura vegetal na área apresenta espécies de gramíneas e eucaliptos, os quais são utilizados pelas mineradoras na cobertura vegetal. Além disso existe avanço natural da vegetação secundária e eucaliptos sobre as pilhas de rejeito/estéril. Na composição colorida das bandas, as áreas de cobertura apresentam-se com níveis digitais superiores aos do rejeito, e são representadas pela cor cinza-marrom e marrom esverdeado.

#### *Vegetação/Cultivos*

Essas áreas apresentam maior reflectância na banda 4. Aparecem na imagem de composição colorida na cor marrom.

#### *Área Urbana*

Aparecem nos tons azuis mais claros, principalmente em razão da reflectância do solo nas banda 3 e umidade do solo na banda 5.

#### *Solo Exposto/Campos*

Essas áreas aparecem na composição colorida na cor bege. Essas áreas embora tenham sido representadas como solo exposto ou campos há que se considerar que podem significar as camadas de material compostas por estéril e/ou solo utilizadas como cobertura de áreas de rejeito.

#### *Cultivos em Áreas Alagadas*

Essas áreas ocorrem na porção sul, entre as bacias do rio Sangão e do Rio Mãe Luzia. Normalmente a água possui baixa reflectância e aparece na cor preta. Entretanto, a presença dos cultivos e do solo tende a aumentar a reflectância, apresentando nessa composição colorida em tons violeta.

No presente trabalho são apresentados sete mapas de uso do solo (2.5.1 a 2.5.7) das micro/sub-bacias que abrangem as minas/lavadores visitados, como indicado na Tabela 2.5.1, e apresentados no anexo neste Volume.

Na tabela 2.5.1 são apresentadas informações referentes aos mapas, áreas visitadas, micro bacias/sub-bacias e suas classes, e ao cálculo das áreas.

**Tabela 2.5.1 - Informações referentes aos mapas, áreas visitadas, micro bacias, sub-bacias e suas classes, e ao cálculo das áreas.**

Mapa de Referência	Local	Ponto	Empresa	Área	Ativid.	Área Total Classes (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (m <sup>2</sup> )	Rejeitos c/Recom. Vegetal (m <sup>2</sup> )	Solo/Campos (m <sup>2</sup> )	Área Urbana (m <sup>2</sup> )	Vegetação/Cultivos (m <sup>2</sup> )	Bacias/lagos	Áreas Alagadas (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (%)	Rej. c/ Rec. Vegetal (%)	Solo/Camp.(%)	Área Urbana (%)	Vegetação/Cultivos (%)	Bac./Lagos (%)	ÁreaA lag. (%)
2.5.1	Nascentes do Rio Mãe Luzia	5	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Esperança e Mina Fontanella	LS,B	80559000	1948500	0	17924400	3859200	55610100	1216800	-	2,4	0,0	22,3	4,8	69,0	1,5	-
2.5.1	"	28	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor Forquilha	B,R															
2.5.1	"	29	COMIN e Cia Ltda	Mina Setor Forquilha	LS															
2.5.1	Micro Bacia do Rio Morosini	9	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Marion	LCA	11467800	322200	3611700	2003400	503100	4752000	275400	-	2,8	31,5	17,5	4,4	41,4	2,4	-
2.5.2	Fiorita	4	Cocalit – Coque Catarinense Ltda.	Cocalit	R	56987100	1935000	20818800	11598300	3276000	17640900	1718100	-	3,4	36,5	20,4	5,7	31,0	3,0	-
2.5.2	"	10	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II	LCA															
2.5.2	"	11	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Meia Enc. Fiorita	LS															
2.5.2	"	12	Carbonífera Belluno Ltda.	Mina Malha II - Norte	LS															
2.5.2	"	13	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador do Rio Fiorita	B,R															
2.5.2	"	18	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina do Trevo	LS,B															
2.5.2	"	18.1	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Bacia de Decant.	BD															
2.5.3	Rio Sangão-Maina/Principal	14	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Marcos	R	59883398	5326498	0	8320645	13458684	31696560	1081012	-	8,9	0,0	13,9	22,5	52,9	1,8	-
2.5.3	"	15	Carbonífera Belluno Ltda.	Depósito de Rejeitos	DR															
2.5.3	"	16	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador da Vila Colonial	R															

LCA - Lavra a céu aberto, LS - Lavra subterrânea, DR - Depósito de rejeitos, BD - bacia de decantação, B – Beneficiamento, R – Rebeneficiamento.

**Tabela 2.5.1 - Informações referentes aos mapas, áreas visitadas, micro bacias, sub-bacias e suas classes, e ao cálculo das áreas. (contin.)**

Mapa de Referência	Local	Ponto	Empresa	Área	Ativ.	Área Total Classes (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (m <sup>2</sup> )	Rejeitos c/Recom.Vegetal (m <sup>2</sup> )	Solo/Campos (m <sup>2</sup> )	Área Urbana (m <sup>2</sup> )	Vegetação/Cultivos (m <sup>2</sup> )	Bacias/Lagos	Áreas Alagadas (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (%)	Rej. c/ Rec. Vegetal (%)	Solo/Camp.(%)	Área Urbana (%)	Vegetação/Culti-vos (%)	Bac./Lagos (%)	Áreas Alag. (%)
2.5.3	"	26	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador do Rio Maina	B,R															
2.5.3	"	27	COMIN e Cia Ltda	Mina Antônio de Luca	R															
2.5.3	Rio Sangão/Maina (Afluente Esquerdo)	7	Carb. Metropolitana S.A.	Mina União	R	7630200	1031400	-	724500	3106800	2547900	219600	-	13,5	-	9,5	40,7	33,4	2,9	-
2.5.3	Rio Sangão/Maina (Afluente Direito)	8	MinaGeo – Mineração Santa Augusta	Mina Santa Augusta	LS	2271524	100272	-	562815	792336	816101	-	-	4,4	-	24,8	34,9	35,9	-	-
2.5.4	Sub Bacia do Rio Sangão Sul (Principal)	3.1	Cooperminas	Depósito de Rejeitos		51422400	3593700	4606200	10034100	11932200	18517500	1296000	1442700	7,0	9,0	19,5	23,2	36,0	2,5	2,8
2.5.4	"	17	Carbonífera Belluno Ltda.	Lavador São Roque	R															
2.5.4	"	3	Cooperminas	Mina 2	B,R															
2.5.4	Afluente do Rio Sangão próximo ao divisor com o Rio Mãe Luzia	2	Cooperminas	Mina 3	LS	4282285	397288	510786	387800	322700	1528294	277954	857463	9,3	11,9	9,1	7,5	35,7	6,5	20,0
2.5.4	Afluente do Rio Sangão próximo ao exutório da bacia	1	Carb. Criciúma S.A.	Unidade Mineira II - Verdinho	LS,B	1078905	84834	112015	299836	54984	492500	34736	-	7,9	10,4	27,8	5,1	45,6	3,2	-
2.5.5	Micro bacia do Rio dos Porcos	22	Mineração São Domingos	Unidade Poço 8	R	8486775	961988	-	4843931	437034	2243823	-	-	11,3	-	57,1	5,2	26,4	-	-
<b>TOTAL BACIA DO RIO ARARANGUÁ</b>						<b>284069387</b>	<b>15701680</b>	<b>29659501</b>	<b>56699727</b>	<b>37743038</b>	<b>135845678</b>	<b>6119602</b>	<b>2300163</b>	<b>5,5</b>	<b>10,4</b>	<b>20</b>	<b>13,3</b>	<b>47,8</b>	<b>2,2</b>	<b>0,8</b>
2.5.6	Rio Carvão	30	COMIN e Cia Ltda	Lavador Setor América	R	40644900	769500	8867700	8730000	2125800	19738800	413100	-	1,9	21,8	21,5	5,2	48,6	1,0	-
<b>TOTAL BACIA URUSSANGA</b>						<b>40644900</b>	<b>769500</b>	<b>8867700</b>	<b>8730000</b>	<b>2125800</b>	<b>19738800</b>	<b>413100</b>	<b>-</b>	<b>1,9</b>	<b>21,8</b>	<b>21,5</b>	<b>5,2</b>	<b>48,6</b>	<b>1,0</b>	<b>-</b>
2.5.7	Palmeira (Rio Salame)	6	Carb. Metropolitana S.A.	Mina Nápole	LCA	21039300	76500	1310400	5698800	5224500	8712900	16200	-	0,4	6,2	27,1	24,8	41,4	0,1	-

LCA - Lavra a céu aberto, LS - Lavra subterrânea, DR - Depósito de rejeitos, BD - bacia de decantação, B – Beneficiamento, R – Rebeneficiamento.

**Tabela 2.5.1 - Informações referentes aos mapas, áreas visitadas, micro bacias, sub-bacias e suas classes, e ao cálculo das áreas. (contin.)**

Mapa de Referência	Local	Ponto	Empresa	Área	Ativ.	Área Total Classes (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (m <sup>2</sup> )	Rejeitos c/Recom.Vegetal (m <sup>2</sup> )	Solo/Campos (m <sup>2</sup> )	Área Urbana (m <sup>2</sup> )	Vegetação/Cultivos (m <sup>2</sup> )	Bacias/lagos	Áreas Alagadas (m <sup>2</sup> )	Área de Rejeitos (%)	Rej. c/ Rec. Vegetal (%)	Solo/Campos (%)	Área Urbana (%)	Vegetação/Cultivos (%)	Bac./Lagos (%)	Áreas Alag. (%)	
2.5.7	"	19	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Mina Barro Branco	LS																
2.5.7	Palmeira (Rio Lajeado)	20	Ind. Carbonífera Rio Deserto	Lavador UBC8	B	20124000	414000	1333800	6984900	3285000	8031600	74700	-	2,1	6,6	34,7	16,3	39,9	0,4	-	
2.5.7	Palmeira (entre Salame e Lajeado)					12761100	197100	766800	3900600	2339100	5557500	-	-	1,5	6,0	30,6	18,3	43,6	-	-	
2.5.7	Palmeira (afluente entre Lajeado e Malha)					15314400	247500	2061000	1935000	2377800	8693100	-	-	1,6	13,5	12,6	15,5	56,8	-	-	
2.5.7	Palmeira (Rio Malha)					5243400	0	213300	887400	744300	3398400	-	-	-	4,1	16,9	14,2	64,8	-	-	
2.5.8	Rocinha	21	Mineração São Domingos	Lavador Un. Rocinha	R	72863100	945000	7947900	7875900	11540700	42921000	1632600	-	1,3	10,9	10,8	15,8	58,9	2,2	-	
2.5.8	"	23	Mineração Castelo Branco Ltda.	Lavador Novo Horizonte (3G)	B																
2.5.8	"	24	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina 3G Plano 2	LS																
2.5.8	"	25	Mineração Castelo Branco Ltda.	Mina Bonito	LS																
<b>TOTAL BACIA DO RIO TUBARÃO</b>						<b>126306000</b>	<b>1803600</b>	<b>12322800</b>	<b>21583800</b>	<b>20286900</b>	<b>68601600</b>	<b>1707300</b>	<b>-</b>	<b>1,4</b>	<b>9,8</b>	<b>17,1</b>	<b>16,1</b>	<b>54,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,0</b>	

LCA - Lavra a céu aberto, LS - Lavra subterrânea, DR - Depósito de rejeitos, BD - bacia de decantação, B – Beneficiamento, R – Rebeneficiamento.



Os resultados obtidos baseiam-se na análise da Tabela 2.5.1 referem-se, portanto, às microbacias/sub-bacias onde se encontram as áreas visitadas. Nessas microbacias/sub-bacias define-se como superfície ocupada pelas atividades de mineração avaliadas a soma das superfícies das bacias de decantação e lagos, áreas de rejeitos e áreas de rejeito/estéril com cobertura vegetal.

#### *Bacia do Rio Araranguá*

Com relação à bacia do Rio Araranguá, as micro e sub-bacias visitadas apresentam uma superfície de 284 km<sup>2</sup>. A superfície ocupada pelas minerações/lavadores nesta bacia, ou seja, aquela que compreende as bacias de decantação, lagos, áreas de rejeito e rejeito/estéril com cobertura vegetal, representa 18,1% da área da bacia. A área urbana ocupa 13,3%, a de vegetação/cultivos 47,8%, solo exposto/campos 20% e áreas alagadas 0,8%. Esta última classe foi observada apenas na porção sul da bacia do rio Sangão.

Nas áreas correspondentes à sub-bacia do rio Mãe Luzia (Mapa 2.5.1), micro bacia do rio Maina (Mapa 2.5.3) e micro bacia do rio dos Porcos optou-se por não diferenciar a classe vegetação/cultivos da classe rejeitos/estéril com cobertura vegetal. Essas áreas apresentam grande similaridade e requerem um estudo em escalas maiores para individualização.

As bacias com áreas superiores a 50 km<sup>2</sup> são as formadas pelas nascentes dos rio Mãe Luzia, pelo rio Sangão (área principal), micro bacias dos rio Fiorita e rio Maina. A bacia do rio Maina, com 6,4 km<sup>2</sup>, ou 10,8% do total da área da bacia do rio Maina é a que está mais ocupada com rejeitos e bacias de decantação e lagos. Neste local encontram-se a Carbonífera Belluno, Mineração Castelo Branco e COMIN e Cia. Ltda.

A bacia do rio Sangão (Mapa 2.5.4) possui uma área de 4,9 km<sup>2</sup> ou 9,5% do total com rejeitos e bacias de decantação e lagos. Neste local encontram-se a Carbonífera Belluno e a Cooperminas.

A micro bacia do rio Fiorita (Mapa 2.5.2) possui uma área de 3,6 km<sup>2</sup> ou 6,4% do total com rejeitos e bacias de decantação e lagos. Neste local estão a Coque Catarinense Ltda., a Carbonífera Belluno e a Indústria Carbonífera Rio Deserto.

A bacia das nascentes do rio Mãe Luzia possui uma área de 3,1 km<sup>2</sup> ou 3,9% do total com rejeitos e bacias de decantação e lagos. Neste local situam-se a Carbonífera Metropolitana e COMIN e Cia. Ltda

Em relação aos afluentes menores, as superfícies entre 1 e 11 km<sup>2</sup>, ou seja micros bacias do rio Morosini (Mapa 2.5.1), dos afluentes do rio Sangão (Mapas 2.5.3 e 2.5.4) e afluente do rio dos Porcos, a que apresenta maior superfície com rejeitos e bacias de decantação, dentre aquelas visitadas, situa-se entre o rio Mãe Luzia e o rio Sangão (Mapa 2.5.4). Os rejeitos e bacias de decantação ocupam 15,8% desta micro bacia ou 0,6 km<sup>2</sup>. Em segundo lugar aparece a micro bacia do rio dos porcos (Mapa 2.5.5) com 11,3% de sua área ocupada por rejeitos ou 0,9 km<sup>2</sup> onde encontra-se a usina de rebeneficiamento da Mineração São Domingos.

A micro bacia do rio Morosini possui uma área de 0,3 km<sup>2</sup> ou 5,2% ocupada com rejeitos e bacias de decantação. Neste local está a Carbonífera Belluno Ltda. A micro bacia de um afluente do rio Sangão, abaixo da bacia do rio Maina, possui 0,1 km<sup>2</sup> ou 4,4% com rejeitos e bacias de decantação, onde se localiza a Cia. Metropolitana S.A.

A bacia do rio Fiorita (Mapa 2.5.2) apresenta 20,8 km<sup>2</sup> ou 36,5% com rejeitos/estéril com cobertura vegetal. A porcentagem de rejeitos/estéril com cobertura vegetal na micro bacia do rio Morosini equivale a 31,5% ou 3,6 km<sup>2</sup> desta micro bacia.

Na parte sul da bacia do rio Sangão (Mapa 2.5.4), as micro bacias apresentam cobertura vegetal em torno de 10% da área.

#### *Bacia do Rio Urussanga*

Na bacia do Rio Urussanga (Mapa 2.5.6) foi considerada apenas a área referente à sub-bacia do rio Carvão, com aproximadamente 40,6 km<sup>2</sup>. Dessa área, 21,8% é ocupada por rejeitos/estéril com cobertura vegetal; 2,9% com áreas de rejeitos e bacias de decantação e lagos; 21,5% com solo exposto/campos; 48,6% com vegetação/cultivos; e 5,2% com área urbana.

Dessa forma, a superfície ocupada pelas minerações/lavadores (bacia de decantação e lagos, área de rejeitos, rejeitos/estéril com cobertura vegetal) corresponde a aproximadamente 24,7% da área da sub-bacia do rio Carvão.

#### *Bacia do Rio Tubarão*

As micro e sub-bacias visitadas pertencentes à bacia do rio Tubarão totalizam 126,3 km<sup>2</sup>. Dessa área, 12,6% é a superfície ocupada pelas minerações/lavadores e corresponde a bacias de decantação e lagos (1,4%), área de rejeitos (1,4%) e de rejeitos/estéril com cobertura vegetal (9,8%). Além disso, solo exposto/campos ocupam 17,1%; área urbana, 16,1%; e vegetação/cultivos, 54,3%.

Uma área de 0,94 km<sup>2</sup> da sub-bacia do rio Rocinha (Mapa 2.5.8) é ocupada com rejeitos, correspondendo a 1,3% de sua superfície. Neste local encontram-se a Mineração São Domingos Ltda. e a Mineração Castelo Branco Ltda.

Em relação aos afluentes do rio Palmeira representados no Mapa (2.5.7), a micro bacia do Rio Lajeado é a que tem a maior superfície coberta com rejeitos e bacias de decantação. Estes, ocupam cerca de 2,5%, de sua superfície o que equivale a uma área de 0,49 km<sup>2</sup>. A Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. está instalada na região.

Em segundo lugar encontra-se a micro bacia do afluente rio Palmeira entre o rio Lajeado e rio Malha (Mapa 2.5.7). Esta, tem 0,25 km<sup>2</sup> ou 1,6% de sua superfície coberta com rejeitos e bacias de decantação. A micro bacia do Rio Salame, onde se encontra a Indústria Carbonífera Rio Deserto S.A., possui 0,09 km<sup>2</sup> ou 0,6% da área ocupada com rejeitos e bacias de decantação.

A sub-bacia do rio Rocinha (Mapa 2.5.8) possui a maior superfície ocupada por rejeitos/estéril com cobertura vegetal, equivalente a 7,95 km<sup>2</sup> ou 11% desta sub-bacia.

Já nas micro bacias do rio Palmeira (Mapa 2.5.7), a micro bacia do afluente entre o rio Lajeado e o rio Malha apresenta 2,0 km<sup>2</sup> ou 13,5% de sua superfície ocupada por rejeitos/estéril com cobertura vegetal. A micro bacia do rio Malha apresenta 1,33 km<sup>2</sup> ou 4% de sua superfície ocupados com rejeitos/estéril com cobertura vegetal. As micro bacias dos rios Lajeado, Salame e Palmeiras apresentam cerca de 6% de suas superfícies ocupadas por rejeitos/estéril com cobertura vegetal, correspondendo respectivamente a 1,31, 1,33 e 0,76 km<sup>2</sup>.

Em resumo, é apresentado na Tabela 2.5.2 uma estimativa aproximada da superfície ocupada pelas minerações/lavadores visitados sobre as bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão.

**Tabela 2.5.2** – Estimativa aproximada da superfície ocupada\* pelas minerações/lavadores visitados sobre as bacias dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão

Principais Bacias	Área** Total (km <sup>2</sup> )	Áreas das micro/sub-bacias visitadas (km <sup>2</sup> )	Área da superfície ocupada pelas minerações/lavadores visitados na micro/sub-bacias (km <sup>2</sup> )	Área da superfície ocupada pelas minerações / lavadores visitados sobre a área total das principais bacias %
Rio Araranguá	3020	284	51,40	1,7
Rio Urussanga	580	40,6	10,05	1,7
Rio Tubarão	5100	126,3	15,83	0.31

\*Soma da superfícies das bacias de decantação e lagos, áreas de rejeitos e áreas de rejeito/estéril com cobertura vegetal

\*\*Fonte: SDMA, 1997

Observa-se que a maior superfície ocupada, conforme o critério adotado, situa-se na bacia do rio Araranguá, com aproximadamente 51,40 km<sup>2</sup>. Em termos percentuais, o valor é semelhante ao da bacia do rio Urussanga. Ressalta-se que os cálculos incluem apenas as áreas visitadas.

## 2.6 Estações meteorológicas e dados disponíveis

A Legenda do Mapa 2.6.1 apresenta as principais estações meteorológicas localizadas entre os meridianos 49°45'00" e 49°00'00" e paralelos 28°15'00" e 29°15'00", as quais abrangem a área de estudo e vizinhanças.

Esta tabela foi construída com base na compilação e adaptação das informações existentes na página da SIH/ANEEL HIDRO - Sistema de Informações Hidrológicas (versão Web) ([www.aneel.gov.br/hidroweb](http://www.aneel.gov.br/hidroweb)).

A empresa CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais opera para a ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica a maior parte das estações da região e os dados são disponibilizados via Internet pela ANEEL. Até o momento, os dados das estações operadas pela CPRM não estão disponíveis. Segundo comunicação verbal da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Santa Catarina, a consolidação desses dados ainda está sendo realizada e eles deverão estar disponíveis nos próximos meses.

Em relação aos tipos de medições, apenas a estação Orleães-Montante, operada pela CPRM, possui pluviógrafos.

Os informações presentes nas estações operadas pela EPAGRI são apresentadas na Tabela 2.6.1.

**Tabela 2.6.1** – Estações monitoradas pela EPAGRI.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	DADOS DISPONÍVEIS
Urussanga	2849011	Precipitação (pluviógrafo), temperaturas, insolação, ventos, radiação solar, umidade do ar, evaporação, temperatura do solo
Turvo	2849033	Precipitação, temperatura, umidade do ar,
Araranguá	2849032	precipitação (pluviógrafo), temperaturas, insolação, ventos, radiação solar, umidade do ar, evaporação

Para obtenção dos dados o seguinte endereço pode ser contactado:

Carta de solicitação de dados para Dr. Carlos Augusto Póla ou Dr. Álvaro Back  
 EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina  
 Rodovia SC 446 km 16  
 Bairro da Estação – Urussanga – CEP: 88.840-000; email: ajba@epagri.rct-sc.br

As estações a seguir foram operadas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia):

**Tabela 2.6.2** - Estações que foram monitoradas pelo INMET.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	PROVÁVEIS DADOS DISPONÍVEIS
Araranguá 83921	2849012	Precipitação (pluviômetro) e temperatura,
Orleães 83922	2849013	Precipitação (pluviômetro) e temperatura
Turvo	2849026	Precipitação (pluviômetro) e temperatura

Embora essas estações não sejam mais operadas pelo INMET os dados coletados podem ser adquiridos pelo seguinte endereço:

Carta de solicitação para Chefe do 8º Distrito do INMET  
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
 Rua Cristiano Fisher, 1297  
 Bairro Jardim Botânico  
 Porto Alegre RS – Telefone: 51-3347412

Em relação às estações particulares, foram obtidos dados de apenas uma estação operada pela Mina do Trevo. Os dados monitorados nesta empresa são apresentados na Tabela 2.6.3. :

**Tabela 2.6.3** – Estações monitoradas pela Mina do Trevo.

	Quantidade	Tipo	Início Monitoramento	Parâmetros
Análises Físico químicas	5	solo	Out/1999	argila, silte, areia, pH, SMP, P, K, Al, Ca, SO <sub>4</sub> , MG, Ca+Mg, umidade (20,40,60 cm)
Análises Físico químicas	93	água	Nov/1998	temp. ar e água, pH, cond. elétrica, Al, Fe, Cu, Mn, Zn, SO <sub>4</sub> , Turbidez, Cor, Colif Tot. e fecais
Precipitação	1	pluviômetro	Out/1998	precipitação (mm/dia)
Vertedor	17	calha	Ago/1998	vazão (m <sup>3</sup> /hora)
açudes	8	régua	Out/1999	altura (cm)
Piezômetros	60	diâmetro: 1"	Out/1998	aquífero superficial

As principais informações sobre as estações fluviométricas presentes na área são apresentadas na Legenda do Mapa 2.6.1.

As principais estações fluviométricas na área de estudo são: Orleães Montante, Forquilha, Araranguá e Pedras Grandes.

Os dados referentes às estações operadas pela CPRM encontram-se consistidos e disponíveis no endereço: ([www.aneel.gov.br/hidroweb](http://www.aneel.gov.br/hidroweb)).

Em caso de necessidade dos dados das estações operadas pela Empresa Gerasul, esses deverão ser solicitados via correspondência para o seguinte endereço:

Dr. Maxs Antônio F. de Almeida  
Gerente da Unidade Organizacional de Geração Térmica  
Av. Paulo Santos Melo s/nº  
Cavari de Baixo Santa Catarina – CEP: 88745-000

No Mapa 2.6.1 e nas referências bibliográficas são apresentados os principais trabalhos realizados na área.

## **2.7 Aspectos geológicos e estruturais e recursos hídricos**

### **2.7.1 Aspectos geológicos e estruturais**

Na área correspondente à Bacia Carbonífera de Santa Catarina, afloram rochas sedimentares e vulcânicas que constituem a seqüência da borda leste da Bacia do Paraná e sedimentos inconsolidados que constituem a Planície Costeira ou formam depósitos aluviais atuais. O embasamento cristalino regional é composto de rochas granitóides tardi a pós-tectônicas.

Nesta porção do Estado, situa-se a Serra do Rio do Rastro, onde, em 1908, White definiu a consagrada Coluna White. A partir da cidade de Lauro Müller, seguindo-se em direção a Bom Jardim, pode-se verificar em detalhe toda a seqüência acima referida.

Na região costeira, também ocorre uma enorme diversidade de depósitos de areia, silte e argila, relacionados a processos marinhos e continentais. A Figura 2.7.1 sintetiza a coluna estratigráfica da área.

As falhas são as principais feições estruturais presentes ao longo de toda a área. Ocorrem também diques e soleiras de diabásio, relacionados a falhamentos responsáveis pela presença de alguns morros-testemunhos presentes na região. A leitura de mapas de contorno estrutural da lapa das camadas de carvão, bem como verificações realizadas em subsolo, indicam que ocorrem também dobras abertas.

O mapa de contorno estrutural da lapa da camada de carvão Barro Branco (KREBS, 1984; ABORRAGE e LOPES, 1986), correspondente à porção situada entre Morro dos Conventos e Arroio do Silva, mostra três falhas paralelas, orientadas N45°E, aproximadamente paralelas à linha de costa, com rejeitos verticais da ordem de 50 m, que provocam o basculamento de blocos. Esta configuração sugere existir na referida área uma estrutura homoclinal, com gradiente de mergulho voltado para sudeste. As camadas de carvão tendem a afundar neste sentido, da mesma forma que, em superfície, os estratos mais superiores da seqüência gonduânica tendem a ficar expostos.

IDADE		TERMI- NOLO- GIA	AMBIENTE/FORMAÇÃO		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	Holoceno	Sistema Laguna- Barreira Holocênica	Depósitos Aluvionares	Sedimentos argilosos, argilo-arenosos, arenosos e cascalhos depositados junto às calhas ou planícies de inundação dos rios.
				Depósitos Praiais Marinheiros e Eólicos	Areias quartzosas, esbranquiçadas, com granulometria fina a média, com estratificação plano paralela ( fácies praial) e cruzada angular de pequeno a grande porte ( fácies eólica).
				Depósitos Lagunares	Areias e lamas ricas em matéria orgânica.
				Depósitos Paleolagunares	Turfeiras, pântanos e alagadiços
				Depósitos Flúvio-Lagunares	Areias siltico-argilosas, com restos de vegetais, com freqüentes depósitos biodetríticos.
	Pleistoceno	Sistema Laguna- Barreira Pleistocênica	Depósitos Praiais Marinheiros e Eólicos e de Retrabalamento Eólico Atual	Areias quartzosas médias, finas a muito finas, cinza-amareladas até avermelhadas. Nas fácies praiais são comuns estruturas tipo estratificação plano paralela. Nas fácies eólicas é freqüente a presença de matriz rica em óxido de ferro, que confere ao sedimento tons avermelhados e estratificação cruzada acanalada.	
Terciário/ Quaternário	Plioceno/ Holoceno	Sistema de Leques Aluviais	Depósitos de Encostas e Retrabalamento Fluvial	Cascalhos, areias e lamas resultantes de processos de fluxos gravitacionais e aluviais de transporte de material. Nas porções mais distais, depósitos resultantes do retrabalamento por ação fluvial dos sedimentos colúvio-aluvionares.	
MESOZÓICO	Cretáceo	Inferior	Grupo São Bento	Serra Geral	Derrames basálticos, soleiras e diques de diabásio com freqüentes fraturas conchoidais. O litotipo preferencial é equigranular fino a afanítico, eventualmente porfirítico. Notáveis feições de disjunção colunar estão presentes.
	Jurássico	Superior		Botucatu	Arenitos finos, médios, quartzosos, avermelhados, bimodais, com estratificação cruzada tangencial e acanaladas de médio e grande porte.
	Triássico	Inferior	Grupo Passa Dois	Rio do Rasto	Arenitos finos bem selecionados geometria lenticular, bordô com estratificação cruzada acanalada. Siltitos e argilitos bordô, com laminação plano paralela.
Paleozóico	Permiano	Superior		Terezina	Argilitos folhelhos e siltitos, intercalados com arenitos finos, violáceos.
				Serra Alta	Folhelhos, argilitos e siltitos cinza-escuros a violáceos, com lentes de marga.
				Irati	Folhelhos e siltitos pretos, folhelhos pirobetuminosos e margas calcáreas.
Inferior/Superior	Grupo Guatá	Palermo	Siltitos cinza-escuros, siltitos arenosos cinza claros, interlaminações, bioturbados, com lentes de arenito fino na base.		
		Rio Bonito	Membro Siderópolis	Arenitos cinza-claros, finos a médios, quartzosos, com intercalações de siltitos carbonosos e camadas de carvão	
			Membro Paraguaçu	Siltitos cinza escuros com laminação ondulada intercalado com arenitos finos.	
Inferior	Grupo Itararé	Rio do Sul	Membro Triunfo	Arenitos cinza-claros, quartzosos ou feldspáticos, sigmoidais. Intercala siltitos.	
			Folhelhos e siltitos várvidos com seixos pingados, arenitos quartzosos e arenitos arcoseanos, diamictitos e conglomerados. Em nível de afloramento, constitui espessa seqüência rítmica.		
PRÉ-CAMBRIANO	Superior	Granitóides Tardi a Pós Tectônicos		Granitóides cinza-avermelhados, granulação média a grossa, textura porfirítica ou porfiróide, constituídos principalmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e biotita. Como acessório ocorre titanita, apatita, zircão e opacos. São aparentemente isótopos e recortados por veios aplíticos ou pegmatíticos.	

Figura 2.7.1 - Coluna estratigráfica da área da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá. Seqüência Gonduânica adaptada de MÜHLMANN et. al., 1974, Coberturas Cenozóicas escala 1:100.000 adaptada de CARUSO JR., 1997.

Com relação às intrusões de diabásio nas rochas sedimentares gonduânicas, as informações obtidas através dos perfis litológicos indicam claramente que elas se posicionam principalmente no intervalo estratigráfico correspondente à Formação Irati e, subordinadamente, nas litologias das formações Estrada Nova, Palermo e Rio Bonito. Estas

intrusões formam “sills” que sustentam a topografia da região, originando morros-testemunhos. Geralmente, no intervalo estratigráfico correspondente ao contato com as rochas sedimentares, ocorrem fontes que dão origem aos cursos d’água da região.

A leitura do mapa geológico realizado por KREBS (1997) mostra que o rejeito das falhas coloca, muitas vezes, lado a lado litologias arenosas e pelíticas das formações Palermo e Rio Bonito. Este fato é muito importante do ponto de vista hidrogeológico porque constitui “trapps” estruturais que contribuem para a circulação e armazenamento de água.

A variação lateral e vertical de fácies litológicas, que ocorre principalmente na Formação Rio Bonito, também é muito importante porque pode constituir “trapps” estratigráficos que também poderão atuar como estruturas aquíferas.

## 2.7.2 Recursos Hídricos

Na porção correspondente à Bacia Carbonífera os recursos hídricos subterrâneos adquirem fundamental importância tanto para abastecimento humano como para a implantação de qualquer empreendimento que demande uma grande quantidade de água.

Considerando-se que a área de estudo apresenta boas perspectivas para aproveitamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos é de fundamental importância que se aprofundem os conhecimentos a respeito destes recursos para que se possa protegê-los e utilizá-los racionalmente.

Entende-se que a gestão dos recursos hídricos deva incluir tanto os recursos superficiais como os subterrâneos, incorporando cada um deles no sistema de acordo com suas características específicas.

### *Recursos Hídricos Superficiais*

O sul catarinense acha-se confinado entre as escarpas da Serra Geral e o Oceano Atlântico, paralelos e separados por uma distância de aproximadamente 50 km. Consequentemente, as bacias hidrográficas da região compreendem áreas relativamente pequenas, formadas por rios de pequena vazão.

Essas condições naturais determinam, por si só, uma tendência ao conflito entre os usos dos recursos hídricos, tanto pela pouca disponibilidade como pela baixa capacidade de diluição dos cursos d’água. Na Tabela 2.7.1 é apresentada a área e a extensão das bacias hidrográficas que abrangem a região carbonífera.

**Tabela 2.7.1** - Área e extensão das bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Extensão dos cursos de água (km).</b>
<i>Rio Tubarão</i>	510.000	7.172
Rio Araranguá	302.000	5.916
Rio Mampituba *	122.400	1.864
Rio Urussanga	58.000	1.064
Rio D’Una	54.000	1.028

\* Parte Catarinense. Fonte : PBDEE (UNESC, 1996)

O Mapa 2.7.1 - Mapa Preliminar de Fontes de Poluição da Região Carbonífera Sul Catarinense apresenta as principais fontes de poluição presentes na região.

Para sua elaboração foram consideradas as informações disponibilizadas através dos seguintes trabalhos: ALEXANDRE, N.Z. e KREBS, A. S. J., 1995, MITSUBISHI MATERIALS CORP. ; CHIYODA-DAMES e MOORE CO., 1997, ALEXANDRE, N.Z., 2000.

O mapa mostra que as áreas de disposição de rejeitos de beneficiamento de carvão, áreas mineradas a céu aberto, bacias de decantação e cavas de mineração (lagoas ácidas) são significativas fontes de poluição que podem ser enquadradas como difusas.

Outra fonte difusa é aquela relacionada à rizicultura, desenvolvida na planície do Rio dos Porcos e planícies do baixo curso dos rios Mãe Luzia, Jundiá e Itoupava, além de um trecho da planície aluvial do Rio Araranguá. Cita-se ainda a suinocultura, desenvolvida na região de Orleans, ao longo dos vales dos rios Pinheiros, Novo, Laranjeiras e Tubarão. A fonte difusa relacionada ao lançamento de esgotos domésticos sem tratamento nos cursos d'água não foi representada individualmente no mapa.

Além destas fontes difusas, ocorrem também fontes pontuais de contaminação dos recursos hídricos. No presente mapa as potenciais fontes pontuais verificadas na área estudada relacionam-se às atividades: indústrias cerâmicas, metal-mecânicas, químicas, depósito de resíduos sólidos urbanos, postos de combustíveis e lavanderias. A leitura do referido mapa mostra que a maior concentração de fontes pontuais ocorre no município de Criciúma.

#### *Recursos Hídricos Subterrâneos*

Ocorrem dois tipos de aquíferos, relacionados, aos diferentes tipos de rochas e sedimentos presentes. As rochas cristalinas, graníticas ou basálticas, constituem os aquíferos do tipo fraturado e as rochas sedimentares gonduânicas e os sedimentos terciários-quadernários constituem os aquíferos por porosidade granular.

Estes dois tipos foram subdivididos em unidades aquíferas de acordo com o tipo de rocha e a estrutura aberta em que ocorrem.

As unidades geológicas cartografadas (KREBS, 1997) foram analisadas e hierarquizadas quanto à sua maior ou menor capacidade de armazenamento de água. No domínio das rochas sedimentares bem como no dos sedimentos, o armazenamento é controlado pelo maior ou menor grau de permeabilidade das rochas ou sedimentos. Neste sentido, quanto mais arenosas (mais porosas) maiores condições de armazenamento ela terão. No caso das rochas cristalinas, o armazenamento é controlado pelas fraturas.

### **Rochas sedimentares**

#### *Sistema Aquífero relacionado à Formação Rio do Sul*

As rochas sedimentares da Formação Rio do Sul possuem ampla distribuição em área e contêm espessos pacotes de camadas predominantemente arenosas.

Do ponto de vista hidrogeológico, este sistema aquífero caracteriza-se por apresentar litologias com boa permeabilidade e alta potencialidade aquífera. O condicionamento geológico e a geometria das camadas indicam tratar-se de um aquífero extenso, com porosidade intergranular, confinado ou semi-confinado.



Este sistema aquífero possui vulnerabilidade natural variável de baixa até alta, dependendo dos intervalos litológicos e empilhamento estratigráfico que constituem a referida formação.

As águas geralmente possuem pH que varia de 5,8 a 7,9. Os termos mais alcalinos relacionam-se às áreas situadas em paleovales. Os tipos químicos bicarbonatados cálcicos a mistos, com teores de sais dissolvidos entre 80 e 360 mg/l, são predominantes. As águas são geralmente moles a moderadamente duras.

#### *Sistema aquífero relacionado à Formação Rio Bonito*

Estudos geológicos (KREBS, 1997) mostraram claramente que a Formação Rio Bonito constitui uma unidade aquífera que apresenta múltiplos intervalos aquíferos com porosidade intergranular, relacionados geneticamente às diferentes associações litofaciológicas presentes no Membro Siderópolis e no Membro Triunfo.

O Membro Triunfo, na área estudada, apresenta uma espessura variável de 20 m a 60 m, conforme pode ser verificado no Mapa de Isópacas de Intervalo Inferior da Formação Rio Bonito (FABRÍCIO et al., 1974).

Litologicamente, é constituído por arenitos, com granulometria variável de fina até muito grossa, quartzo-feldspáticos, com cimento carbonático. Na porção superior predominam arenitos finos a médios e na base ocorre uma maior incidência de arenitos grossos.

As camadas apresentam geometria sigmoidal, com aspecto maciço ou com estratificação cruzada acanalada, de pequeno e médio porte.

O Membro Siderópolis é constituído por arenitos finos a médios, quartzosos, bem selecionados, porosos e permeáveis. Subordinadamente, ocorrem arenitos médios a grossos, feldspáticos, com matriz areno-argilosa, também bastante permeáveis. Intercalam camadas de siltitos carbonosos e carvão.

As camadas apresentam espessuras variadas, desde alguns centímetros até mais de metro, geometria tabular ou lenticular, de aspecto maciço ou com estratificação cruzada. Este aquífero possui geometria tabular, com regime de fluxo livre, localmente semi-confinado, quando é capeado por camadas de silito carbonoso ou carvão. O modelo hidrogeológico, estabelecido através das linhas de fluxo e equipotenciais, bem como informações geológicas e geomorfológicas, indicam, claramente, que suas áreas de recarga estão situadas nas encostas do planalto gonduânico e morros-testemunhos (Montanhão e outros). Esta conformação hidrodinâmica mostra a contribuição de duas fontes principais de infiltração. Nas bordas da bacia, principalmente na borda oeste e proximidades do Montanhão, onde as declividades do terreno são altas e as velocidades da circulação são elevadas, a recarga se realiza por drenância das águas dos aquíferos fraturados, relacionadas às rochas basálticas, e drenância das demais formações geológicas e depósitos de tálus, sobrepostos à formação Rio Bonito, que afloram nas encostas do planalto gonduânico e morros-testemunhos.

Na área de afloramento desta Formação, a recarga dá-se por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais e transportados. A drenagem superficial pouco contribui para a realimentação do aquífero, pois os rios têm geralmente caráter efluente, isto é, recebem contribuições dos aquíferos.

Em razão das atividades de mineração de carvão, esses aquíferos múltiplos têm comportamentos bastante distinto no que diz respeito à vulnerabilidade e riscos de contaminação.

Os laudos de análises disponíveis (MACHADO, 1997) indicam que as águas subterrâneas relacionadas à Formação Rio Bonito são bicarbonatadas cálcicas, com pH predominantemente alcalino, entre 7,1 e 7,8. O total de sais dissolvidos varia entre 60 e 497 mg/L, e as águas são, em geral, moles a moderadamente duras. O teor de ferro total varia entre 0,05 até 1,4 mg/L, tornando necessário o tratamento para utilização para fins de abastecimento doméstico.

#### *Sistema Aquífero relacionado às Formações Palermo, Irati, Serra Alta, Terezina, Rio do Rasto e Botucatu*

Praticamente todas as formações citadas são constituídas, predominantemente, por rochas pelíticas, com poucas intercalações de rochas areníticas. Litologicamente, apresentam intercalações rítmicas de siltitos e folhelhos, laminados e finos, de cores variáveis, em tons cinza-claro, cinza-escuro e avermelhado. Estas rochas são pouco permeáveis e, portanto, possuem baixa capacidade de transmissividade. Intercalam camadas de siltito arenoso e arenitos finos, cinza-claro, quartzosos, com grãos arredondados.

A Formação Botucatu (atualmente denominada Aquífero Guarani) embora constitua o mais importante aquífero de porosidade intergranular existente nas rochas sedimentares da Bacia do Paraná, pelo fato de aflorar na encosta superior do planalto, atua somente como área de recarga para os aquíferos subjacentes da Formação Rio Bonito. Como este espesso pacote sedimentar aflora nas encostas do planalto, onde o relevo é ondulado, com declividades variáveis de 30% a mais que 100%, o regime de fluxo é livre ou semi-confinado.

O modelo hidrogeológico estabelecido a partir do traçado das linhas de fluxo e das informações geológicas e geomorfológicas indica que este pacote rochoso atua principalmente como área de recarga para as unidades aquíferas sotopostas (KREBS, 1997).

A vulnerabilidade e o risco de contaminação são baixos pelo fato de os intervalos aquíferos estarem capeados por espessos pacotes de rochas pelíticas pouco permeáveis. Admite-se que as águas contidas na seqüência arenosa da base da Formação Palermo sejam muito semelhantes às águas da Formação Rio Bonito, isto é, bicarbonatadas cálcicas, com pH predominantemente alcalino, com total de sais dissolvidos variável de 60 a > 400mg/L e, tratando-se, portanto, de águas moles a moderadamente duras.

A predominância de folhelhos pirobetuminosos e calcários impuros da Formação Irati proporciona a presença de água com problemas de dureza, presença de teores de ferro acima dos valores permissíveis (MACHADO, 1997).

#### **Sedimentos Terciários-Quaternários**

##### *Sistema aquífero relacionado aos Depósitos Laguna Barreira III*

A análise dos mapas geológico e geomorfológico, escala, 1:100.000 (KREBS, 1997), mostra que estes depósitos correspondem a uma imensa área de descarga das águas subterrâneas que fluem desde as encostas do planalto gonduânico em direção ao mar.

O modelo hidrogeológico, estabelecido a partir das características de paleo-relevo (moderadamente ondulado), mudanças litológicas (freqüentes mudanças de fácies, tanto lateral como verticalmente), com variações de permeabilidade e, ainda, o fato desta área atuar como imensa área de descarga (reservatório), sugere um regime de fluxo livre a semi-

confinado, com nível estático raso próximo à superfície. Suas características granulométricas e hidrogeológicas sugerem que este é o melhor aquífero desta região litorânea.

Pelo fato de este sistema aquífero ser constituído predominantemente por sedimentos arenosos de média a alta permeabilidade, em que os níveis de água subterrânea encontram-se muito próximos da superfície, a vulnerabilidade natural é muito alta.

Com relação aos riscos de contaminação, estes também são altos devido às facilidades com que os elementos contaminantes podem atingir a zona saturada. De acordo com MACHADO, 1997, as águas deste sistema possuem pH de 4,4 a 5,5, não se conhecendo poços com águas alcalinas. Os valores de dureza são baixos, entre 8,9 mg/L e 58,9 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, predominando valores inferiores a 20 mg/L. O resíduo seco geralmente é menor que 100 mg/l e os teores de ferro também são baixos.

#### *Sistema aquífero relacionado aos Depósitos Laguna Barreira IV*

Correspondem aos campos de dunas eólicas e à barreira que se estende ao longo da atual linha de costa, nas proximidades da foz do rio Araranguá.

Litologicamente, são constituídos por areias finas a muito finas, quartzosas e bem retrabalhadas.

Trata-se de um aquífero livre, com nível estático muito próximo da superfície, em geral menos que 1m, e os poços aí perfurados podem fornecer vazões superiores a 30 m<sup>3</sup>/h. Da mesma forma que o sistema aquífero Laguna Barreira III, este sistema possui vulnerabilidade natural e riscos de contaminação por ser constituído por sedimentos arenosos, porosos e permeáveis, que contêm o nível estático à baixa profundidade.

As águas deste sistema apresentam pH entre 5,5 a 7,7. A dureza varia de 88,0 mg/L a 156,8 mg/L de CaCO<sub>3</sub>, portanto, ligeiramente duras a moderadamente duras.

O resíduo seco é geralmente superior a 200 mg/L, mas não ultrapassa 400 mg/L. O teor de Fe é variável, porém, os resultados de análises das águas de vários poços indicaram valores superiores a 0,3 mg/L, o que demonstra que estas águas necessitam de tratamento para fins de abastecimento humano.

#### *Sistema aquíferos relacionado aos Leques Aluviais*

Nas proximidades da cidade de Forquilha e Maracajá, pode-se verificar que os leques aluviais são constituídos, predominantemente, por seixos e blocos de composição basáltica que apresentam boas perspectivas para captação de água através de poços escavados. Este sistema aquífero é responsável por grande parte do abastecimento das indústrias relacionadas ao beneficiamento de arroz na bacia do rio Araranguá.

Caracteriza-se por possuir vulnerabilidade natural e risco de contaminação, apresentando facilidade de contaminação a qualquer fonte de poluição que venha a se instalar junto à planície aluvial. As águas desse sistema apresentam pH entre 5 e 7.

#### *Sistema aquíferos relacionados a rochas vulcânicas da Formação Serra Geral*

As rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral são, geralmente, maciças, sem poros e praticamente impermeáveis, com exceção da zona amigdalóide. O armazenamento

d'água dá-se ao longo de juntas e fraturas. Estes aquíferos do tipo fraturados podem ter dois tipos de reservatório: um relacionado a fraturas superficiais e outro relacionado a fraturas profundas. O primeiro constitui um sistema denso de fraturamento, que se comunica com o manto intempérico, comportando-se como aquífero livre, cuja circulação é controlada pela topografia. O outro relaciona-se a fraturas profundas. É, geralmente, constituído por fraturas individuais, que formam um sistema pouco denso, onde as paredes da fratura direcionam e controlam a circulação.

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral ocorrem sob a forma de espessos derrames de lavas básicas e intermediárias que capeiam o planalto gonduânico situado na porção norte e noroeste da área. Constituem um espesso pacote rochoso com espessura superior a 600 m, que aflora continuamente a partir da cota 750 m até o topo dos platôs onde as cotas ultrapassam 1400 m.

Também estão presentes na área estudada sob a forma de soleiras que capeiam os morros-testemunhos e sob a forma de diques que seccionam as rochas sedimentares. Do ponto de vista hidrogeológico, somente as soleiras capeadas por rochas básicas constituem unidades aquíferas. Os derrames, no caso da área estudada, têm importância no que diz respeito ao reabastecimento dos aquíferos subjacentes.

A capacidade de armazenamento desses aquíferos é pequena e vai depender das dimensões, geometria e espaçamento das fraturas. Nas interfaces manto de intemperismo/rochas vulcânicas, zonas de diaclasamento vertical/ zonas de diaclasamento horizontal ou, ainda, no contato entre as rochas vulcânicas fraturadas e as rochas pelíticas da Formação Irati ocorrem surgências (fontes), bastante frequentes nas encostas superiores dos morros, as quais agem como principal exutório na descarga natural desses aquíferos. Quanto à alimentação deste sistema aquífero, ela se realiza por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos residuais.

Pelo fato de estas rochas vulcânicas apresentarem um efetivo fraturamento devido ao rápido resfriamento, além de serem seccionadas por falhas relacionadas a movimentos tectônicos, apresentam alta vulnerabilidade e alto risco de contaminação de qualquer tipo de fonte de poluição que se instale sobre estas rochas.

Análises realizadas na água de uma fonte que ocorre nas proximidades de Treviso, indicaram que esta água apresenta valores de ferro e coliformes bem acima dos padrões exigidos para potabilidade.

## **2.8 Qualidade das Águas Superficiais**

As principais características dos corpos hídricos da região carbonífera podem ser assim resumidas:

- ◆ a maioria dos rios apresenta o pH variando entre 2 e 4;
- ◆ elevadas concentrações de sulfatos e acidez e de metais dissolvidos; e
- ◆ a concentração de chumbo, zinco e cobre, pode exceder várias vezes os padrões ambientais; para o manganês, o padrão pode ultrapassar em média 10 vezes; para o ferro e alumínio, a relação pode ser superior a 1000 vezes ((MITSUBISHI MATERIALS COOP. CHIYODA – DAMES e MOORE, 1997).

O rio Sangão, em cuja bacia de drenagem houve grande número de atividades de beneficiamento de carvão, teve seu leito assoreado por rejeitos. Ainda hoje, em períodos de cheia, esse rio extravasa, ocupando as planícies aluviais, deixando o solo coberto por uma

camada de óxido de ferro e finos piritosos e carbonosos (ALEXANDRE e KREBS, 1995b). A Tabela 2.8.1 apresenta as principais características do rio Sangão.

**Tabela 2.8.1** - Principais características do rio Sangão.

Parâmetro	Rio sem influência da mineração de carvão	Rio com influência da mineração de carvão	Padrão Resolução 20 do CONAMA
pH	6,5 a 7,4	2,0 a 4,0	6,0 a 9,0
Ferro total	menor 4,0 mg/l	10 – 100mg/L rio Sangão 190 mg/L	0,3 mg/L <sup>1</sup> 5,0 mg/L <sup>2</sup>
Sulfatos	8 a 25 mg/l	100 – 1000 mg/L rio Sangão 2.000 mg/l	250mg/L
Alumínio	0,2 a 0,5	10 – 100 mg/L rio Sangão 1000mg/L	0,1 mg/L
Metais Pesados			
• Chumbo	nd	0,02 – 0,2 mg/L rio Sangão 2 mg/L	0,03 mg/L <sup>1</sup> 0,05 mg/L <sup>2</sup>
• Zinco	nd	1 – 5 mg/L Sangão 10 mg/L	0,18 mg/L 0,5 mg/L
• Manganês	nd	0,5 – 10 mg/L rio Sangão 15 mg/L	0,1 mg/L <sup>1</sup> 0,5 mg/L <sup>2</sup>

<sup>1</sup> : padrões para águas de classe 1 e 2

<sup>2</sup> : padrões para águas de classe 3

Fonte: ALEXANDRE, 2000

O Mapa 2.8.1. - Mapa Preliminar da Qualidade das Águas da Região Carbonífera Sul Catarinense sintetiza o estágio atual de conhecimento sobre os recursos hídricos superficiais da região carbonífera.

Para a elaboração do referido documento, foram utilizadas as referências listadas no Mapa 2.9.1, dentre as quais cabe destacar: ALEXANDRE, N.Z. e KREBS, A.S.J. 1995b; ALEXANDRE, N.Z., 2000, MITSUBISHI MATERIALS CORP. ; CHIYODA-DAMES e MOORE CO. 1997, UNISUL/GRUPERS, CD-ROM, 2000; DNPM, 1999.

Os pontos monitorados nos trabalhos são mostrados com simbologias específicas. O pH dos rios tomado nesses pontos foi comparado com o padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 20/86. Essa comparação permitiu identificar rios com diferentes qualidades de água, mostrados no mapa segundo código de cores.

A leitura do mapa mostra que, na bacia do rio Araranguá, os rios Mãe Luzia; Morozini, Fiorita, Sangão e dos Porcos são discrepantes do padrão CONAMA. Na bacia do rio Tubarão, essa discrepância é maior para os rios Palmeiras, Salame, Bonito, Rocinha, Malha, Lajeado, Tubarão e Oratório. Na do rio Urussanga o mesmo ocorre para os rios Carvão, América, Caeté, Urussanga, Cocal, Ronco D`Água e Linha Anta.

## 2.9 Mapas de documentação

### 2.9.1 Mapa de documentação - Recursos hídricos

No Mapa 2.9.1 foram incluídos trabalhos que abrangem aspectos relacionados à qualidade dos recursos hídricos da Região Carbonífera Sul Catarinense. Os trabalhos estão

referenciados no próprio mapa onde também são mostrados os limites geográficos das áreas abrangidas. Cabe ressaltar, que o mapa tem cunho preliminar e deverá ser posteriormente complementado.

## 2.9.2 Mapa de documentação - Geologia

O Mapa 2.9.2 apresenta a geologia da área estudada. Verificou-se que existem trabalhos de mapeamento básico, em escala 1:250.000 realizados pelo DNPM, que cobrem parcialmente a área estudada, a saber: geologia da quadrícula de Florianópolis; geologia da quadrícula de Laguna; geologia da quadrícula de Laguna e Tubarão.

Além destes, cabe destacar os trabalhos de mapeamento desenvolvidos por ocasião do Projeto RADAM BRASIL, a saber: Folha de Porto Alegre, IBGE, 1986; Folha de Curitiba, IBGE, 1986.

Em escala 1:250.000 ou menor, existem trabalhos importantes que abordam aspectos relacionados à geologia (Bortoluzzi et. al., 1987) e aos recursos minerais (KIRCHNER, 1984 e MORGENTAL e KIRCHNER, 1983).

Atualmente, a CPRM através do Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil PLGB, realizou o mapeamento em escala 1:250.000 da Folha de Criciúma (SILVA, M.A.S e REALI, S.L., 2000).

Em escalas de mais detalhe, cabe destacar o trabalho da PETROBRÁS, que realizou em 1970 o mapeamento geológico escala 1:100.000, de toda a porção leste da Bacia do Paraná e elaborou vários mapas geológicos das Folhas de Criciúma; Tubarão; Turvo; e São Joaquim.

Em 1986, a CPRM realizou para o DNPM uma integração geológica escala 1:100.000 e uma avaliação econômica de toda a área correspondente à borda leste da Bacia do Paraná., através do Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná (ABORRAGE e LOPES, 1986). O trabalho apresenta uma síntese do conhecimento geológico de toda a região carbonífera, principalmente naqueles aspectos relacionados ao carvão.

Com relação à bacia do rio Araranguá, pode-se citar o trabalho realizado pela UNESCO em parceria com a CPRM e EPAGRI para a SDM denominado “Zoneamento da Disponibilidade e Qualidade Hídrica da Bacia do Rio Araranguá, SC”. Esse trabalho é constituído de nove volumes, sendo que um deles aborda com detalhe os aspectos relacionados a geologia da referida bacia.

Com relação à bacia do rio Tubarão, ressalta-se o trabalho desenvolvido pela UNISUL em parceria com a CPRM para a SDM denominado “Diagnóstico e Planejamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Tubarão e Complexo Lagunar”. Este trabalho é constituído por sete volumes, sendo que o volume 2 trata da geologia daquela bacia.

Os trabalhos desenvolvidos durante o PROGESC, tratam da geologia da área do município de Criciúma, principalmente no que se refere à Formação Rio Bonito e aos aspectos estruturais da referida área.

Com relação à faixa costeira, cabe destacar os trabalhos desenvolvidos por CARUSO Jr.; 1995 e 1997, e SEPLAN, 1989.

### 2.9.3 Mapa de documentação - Carvão

No Mapa 2.9.3 estão representados os trabalhos desenvolvidos pela CPRM para o DNPM, no que se refere a prospecção e pesquisa de carvão em Santa Catarina. Dentre estes, cabe destacar:

- FABRÍCIO, J.A.C., 1973, apresenta informações a respeito das reservas de carvão e mapas de contorno estrutural da lapa das camadas de carvão Barro Branco e Bonito;
- ABORRAGE, A.M e LOPES, R.C, 1986, sintetizam informações relacionadas a prospecção e pesquisa de carvão nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná; e
- KREBS, et. al., 1982, mostram tabelas com indicações de reservas e resultados de análises, bem como apresenta mapas geológicos e mapas de contorno estrutural da lapa da camada de carvão Barro Branco em diversos locais da bacia carbonífera.

O presente mapa apresenta também aspectos relacionados às atividades de mineração e beneficiamento de carvão.

Cabe ressaltar que este mapa é preliminar e deverá ser posteriormente complementado.

### 2.9.4 Mapa de documentação - Gestão ambiental

No Mapa 2.9.4 encontram-se representados alguns dos principais trabalhos contratados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente de Santa Catarina, SDM, e também trabalhos acadêmicos. Este mapa é preliminar e deverá ser posteriormente complementado.

## 3 Protocolos de amostragem

### 3.1 *Águas superficiais*

A amostragem e caracterização das águas superficiais, dentro do escopo de um projeto de recuperação ambiental de áreas degradadas, têm, por objetivo:

- Caracterizar o balanço hídrico e o regime de vazão dos principais corpos hídricos receptores e seus afluentes na área do estudo;
- Fazer uma análise descritiva da qualidade das águas fluviais na área do estudo: investigar a influência do comportamento hidrológico na distribuição espacial e temporal da concentração total de metais pesados e comparar as concentrações observadas com os índices e critérios estabelecidos pela legislação brasileira;
- Fazer uma análise dinâmica da qualidade das águas fluviais na área do estudo: estimativa dos fluxos de metais pesados (a partir da concentração total); e
- Avaliar o risco potencial à saúde humana, ao nível de rastreamento.

## Plano de amostragem

Indica-se para o presente estudo, utilizar-se escala espacial de microbacia e de sub-bacia, conforme explicado abaixo.

(i) Escala de microbacia ( $\times 10^2 \text{ km}^2$ ) - para identificar-se indicadores hidrogeoquímicos dos possíveis impactos sobre as águas fluviais diretamente afetadas pela mineração de carvão.

(ii) Escala de sub-bacia ( $\times 10^3 \text{ km}^2$ ) - para analisar-se o impacto de possíveis transferências ou exportações de contaminantes gerados pela mineração de carvão.

Pode-se optar pelo monitoramento de águas fluviais de alta frequência (diário com amostras compostas obtidas em intervalos de uma hora ao longo do dia) - com concomitância nas amostragens em todos os pontos de coleta, em época crítica.

### 3.1.1 Finalidade dos Parâmetros Hidrogeoquímicos

Conforme relatado no Volume I, a mineração de carvão pode gerar uma série de contaminantes para as águas superficiais.

Optou-se, com base na Tabela 11 do Volume I, por determinar-se os parâmetros citados abaixo, com breve descrição da importância de cada um como indicador de qualidade de águas superficiais. Os parâmetros escolhidos foram: condutividade, dureza total, Eh, metais totais (arsênio, cádmio, cromo, cobre, chumbo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco), oxigênio dissolvido, pH, sólidos em suspensão, sulfato, temperatura e turbidez.

- Condutividade

É um parâmetro básico de qualidade da água e mede a habilidade de uma solução aquosa para conduzir uma corrente elétrica. Ela reflete a presença, a concentração, a mobilidade e a valência dos íons presentes, especialmente íons inorgânicos e depende da temperatura da amostra. Para medidas realizadas em temperatura diferente de 25 °C, deve-se utilizar fatores de correção. Quanto mais puro um corpo hídrico, maior sua resistência à corrente elétrica, a qual é refletida por um baixo valor de condutividade.

- Dureza total

A dureza total é definida como a soma das concentrações de cálcio e magnésio, ambos expressos como carbonato de cálcio, em miligrama por litro. A quantidade de cálcio e magnésio presentes como carbonatos e bicarbonatos é chamada de dureza temporária, e por isto é igual à alcalinidade. A dureza permanente é representada pelas quantidades de cálcio e magnésio presentes como sulfatos, nitratos e cloretos. A dureza é um modificador abiótico da toxicidade dos metais, aumentando a toxicidade em função do aumento da dureza.

- Eh

A reatividade e mobilidade de elementos importantes para os sistemas biológicos (p.ex. Fe, C, N), bem como de vários metais, dependem das condições redox do meio aquático. Reações químicas em meio aquoso frequentemente podem ser caracterizadas pelo pH, Eh e atividade das espécies químicas dissolvidas.



- Metais pesados

Define-se a concentração total de metais na água como a soma das concentrações de metais nas frações particulada e dissolvida. Ela será utilizada para comparar as concentrações medidas com os critérios numéricos de qualidade de água definidos pelo CONAMA e para a avaliação de risco à saúde humana por consumo de água. Serão analisados os metais pesados As, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Ni e Zn.

Concentrações relativamente baixas de metais pesados no ar, água, solo e plantas tornam-se muito mais elevadas à medida que avançam na cadeia alimentar, caracterizando o fenômeno de biomagnificação. Alguns metais podem ser convertidos em formas orgânicas por bactérias, aumentando o risco de entrarem na cadeia trófica. Os metais com propriedades bioacumuladoras são particularmente perigosos porque eles são dissipados muito vagorosamente pelos sistemas naturais. Os metais podem rapidamente tornarem-se oxidados e se converterem às formas solúveis quando o sedimento é exposto ao oxigênio. Alguns destes metais, mais comumente medidos e particularmente perigosos, são mercúrio, chumbo, arsênio, cromo, níquel, zinco e cádmio.

Os metais pesados podem acumular-se também nos tecidos humanos, tanto por exposições agudas quanto por exposições crônicas através de consumo de plantas ou de animais nos quais estes compostos se acumularam, atingindo doses suficientes para causarem problemas em órgãos internos e em funções neurológicas; problemas reprodutivos e defeitos congênitos e/ou causar câncer. A quantidade e duração da exposição necessária para causar estes efeitos são muito variáveis.

No item 4 estão descritos importantes aspectos toxicológicos à saúde humana relacionadas à exposição ambiental aos metais pesados considerados no presente estudo.

- Oxigênio dissolvido

A vida aquática depende da concentração de oxigênio dissolvido em um corpo d'água sendo importante para a produtividade primária e na especiação e biodisponibilidade de nutrientes e contaminantes. A concentração de oxigênio dissolvido resulta do balanço entre a entrada de oxigênio da atmosfera e da fotossíntese aquática e do consumo de oxigênio resultante das reações de oxidação químicas e biológicas. Os contaminantes químicos reduzem a concentração de oxigênio dissolvido no corpo hídrico por aumentar as taxas de demanda química de oxigênio (DQO) e as cargas de contaminantes orgânicos por aumentar as taxas de demanda biológica de oxigênio (DBO).

- pH

É uma medida da atividade dos íons hidrogênio. A Resolução CONAMA nº 20 estabelece que o valor do pH para rios de Classes I, II, III, deve situar-se entre 6 e 9 unidades. Qualquer atividade antropogênica que altere o equilíbrio entre os íons  $H^+$  e  $OH^-$  modifica o ambiente receptor, o que afeta a biodisponibilidade de nutrientes e de contaminantes metálicos. A medida de pH infere a acidez do corpo receptor. A acidez é devida à presença de íons hidrogênio dissociados de ácidos fortes e de cátions de bases fracas, particularmente aquelas de metais pesados.

- Sólidos totais em suspensão

O termo sólidos se refere a materiais presentes em suspensão ou dissolvidos na água. Sólidos totais em suspensão se referem aos sólidos na amostra de água, que não estão dissolvidos. Este parâmetro é definido como o material retido em um filtro com poro de 2 $\mu$ m. Pequenas partículas não-orgânicas podem sedimentar como uma camada de lama em áreas de águas calmas de rios e lagos. Isto pode sufocar a planta e acabar com os microorganismos purificadores, causando sérios problemas para os ecossistemas aquáticos. A perda daqueles microorganismos purificadores, permite que os patogênicos possam viver por mais tempo, aumentando os riscos de doenças. Quando sólidos orgânicos são parte do lama, sua progressiva decomposição irá depletar o oxigênio da água e gerar gases com mau cheiro. Na mineração de carvão, águas ácidas de minas, efluentes de beneficiamento, transbordamento de bacias de decantação e deflúvio superficial ("run-off") contribuem com cargas de sólidos nos corpos hídricos receptores.

- Sulfato

As drenagens ácidas de minas de carvão podem contribuir com altas concentrações de sulfato, em virtude da oxidação do enxofre da pirita. O sulfato pode ter origem também em fontes naturais, e em fertilizantes químicos e na oxidação da matéria orgânica.

- Temperatura

As reações químicas e biológicas e a solubilidade da maioria dos metais dependem da temperatura do meio. Ela também influencia o teor de oxigênio dissolvido, o pH, o Eh e a condutividade.

- Turbidez

A turbidez provê uma indicação da penetração de luz na coluna d'água. A luz é importante para a produtividade primária do corpo hídrico. A turbidez é causada pela matéria orgânica e inorgânica em suspensão, por plânctons e outros microorganismos aquáticos. Qualquer material particulado presente em efluentes, influenciará a turbidez nos corpos hídricos receptores.

### **3.1.2 Protocolos de amostragem de águas superficiais e efluentes líquidos**

Nesta seção são apresentados protocolos de amostragem, preservação e análise para os parâmetros escolhidos como indicativos de qualidade das águas.

Todos os procedimentos e técnicas aqui recomendados são baseados em ABNT-NBR 12649, 1992; ABNT-NBR 9898, 1987; ABNT-NBR 9897, 1987; EPA, 1983; APHA- Standard Methods, 1998; FEEMA, 1983 e CANMET/MMSL-INTEMIN, 1998.

## Técnicas de amostragem

As técnicas de amostragem de corpos receptores bem como de efluentes líquidos devem seguir a Norma Brasileira Registrada NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.

Os tipos de recipientes a serem utilizados encontram-se descritos na Tabela 3.1.1. A técnica de lavagem dos frascos a serem utilizados na coleta/estocagem das amostras, para os parâmetros hidrogeoquímicos, exceto para o Cr, compreende as seguintes etapas consecutivas:

- a) limpeza comum (lavar o frasco e tampa com detergente neutro, enxaguar 3 vezes com água da torneira e enxaguar 3 vezes com água deionizada);
- b) limpeza adicional (enxaguar o frasco limpo com solução sulfocrômica<sup>(1)</sup>, enxaguar várias vezes com água de torneira, enxaguar várias vezes com água deionizada);
- c) limpeza específica (opção 1- encher o frasco com ácido nítrico 2,5%, deixar de molho 24h, enxaguar com água deionizada pelo menos 5 vezes; opção 2-colocar ácido nítrico 1:1 até metade do frasco, agitar, esvaziar e enxaguar pelo menos 5 vezes com água deionizada, repetir com HCl 1:1).

Para o Cr, utiliza-se apenas a limpeza comum, seguida da limpeza específica opção **a** ou **b**.

## Ficha de coleta

Cada amostra será acompanhada de uma ficha de coleta de líquidos (águas superficiais e efluentes líquidos). Uma sugestão do modelo a ser adotado encontra-se no item 3.3.

## Técnicas de preservação

Uma vez que a amostra foi coletada, ela deverá ser analisada tão rapidamente quanto possível, sendo preservada e/ou estocada em recipiente adequado para a manutenção de sua integridade, como recomendado na Tabela 3.1.1. Os procedimentos de preservação são uma tentativa de retardar ou interromper as mudanças químicas e biológicas que podem ocorrer depois da amostra ter sido coletada e colocada no recipiente de estocagem. Métodos de preservação aplicáveis são o controle de pH, adição de reagente químico e refrigeração, visando: i) desacelerar as reações biológicas; ii) controlar as reações químicas (hidrólise, oxidação, redução etc.); iii) reduzir a volatilidade e iv) reduzir a adsorção dos componentes de interesse.

---

<sup>(1)</sup> 35 mL de solução saturada de dicromato de sódio em 1L de ácido sulfúrico; esta solução é reutilizável

**Tabela 3.1.1** – Recomendações dos tipos de recipientes, tipos de amostragem e de preservação de amostras de efluentes líquidos e águas superficiais.

Parâmetros físico-químicos	Volume mínimo (mL)	Recipiente <sup>(1)</sup>	Tipo <sup>(9)</sup>	Técnica de Preservação	Tempo de estocagem <sup>(2,3,4)</sup>
Condutividade	500	p, v	C	resfriar, 4 °C	28 dias <sup>(5)</sup>
Eh			S		
Dureza total	100	p, v	C	resfriar, 4 °C; HNO <sub>3</sub> para pH < 2	6 meses
Metais totais	1000	p, v	C	HNO <sub>3</sub> para pH < 2	6 meses <sup>(6)</sup>
Oxigênio dissolvido (eletrodo Winkler)	300	v, com selo d'água; frasco DBO <sup>(7)</sup>	S	analisar no local fixar no local <sup>(8)</sup>	Imediata 4 a 8 horas, após acidificar
pH	200	p, v	S	analisar no local	15 minutos
Sólidos totais em suspensão	200	p, v	C	resfriar, 4 °C	7 dias
Sulfato	300	p, v	C	resfriar, 4 °C	7 dias
Temperatura	100	p, v	S	analisar no local	Imediata
Turbidez	100	p, v	C	resfriar, 4 °C, manter no escuro	24 horas

(1) p – plástico (polietileno ou equivalente); v – vidro (borossilicato). Para análise de metais, um frasco de polietileno com uma tampa de polipropileno (sem revestimento) é preferível.

(2) Deve ser ressaltado que os tempos de estocagem listados, são recomendados para amostras adequadamente preservadas, baseados nos dados atualmente disponíveis. Sabe-se que para alguns tipos de amostra, a extensão desse tempo é possível, enquanto para outros tipos, esses tempos podem ser muito mais longos. Qualquer alteração das normas deve ser relatada junto ao boletim da análise.

(3) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1998, 21<sup>th</sup> ed. American Public Health Association, Washington, DC.

(4) U.S.EPA. 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. U.S. Environmental Protection Agency, EPA-690/4-79-020, Cincinnati, OH.

(5) Se a amostra é estabilizada por resfriamento, esta deveria ser aquecida a 25 °C para leitura, ou fazer a correção da temperatura e relatar os resultados a 25 °C.

(6) Onde o HNO<sub>3</sub> não puder ser utilizado por restrições de transporte, a amostra deveria ser inicialmente preservada por resfriamento e imediatamente despachada para o laboratório. Após recebimento no laboratório, a amostra deve ser acidificada para um pH < 2 com HNO<sub>3</sub> (normalmente 3 mL 1+1 HNO<sub>3</sub> / L é suficiente). No momento da análise, o recipiente da amostra deveria ser lavado com 1+1 HNO<sub>3</sub> e as lavagens adicionadas à amostra (correção de volume pode ser necessária).

(7) De vidro refratário (Pyrex), com boca esmerilhada e tampa.

(8) 2ml de solução de sulfato manganoso e 2 ml de solução álcáli-iodeto-azida. Imergir a ponta da pipeta no líquido.

(9) S= amostra simples; C= amostra composta

## Técnicas de análise

As metodologias de análise sugeridas são apresentadas na Tabela 3.1.2.

**Tabela 3.1.2** - Métodos analíticos sugeridos.

Parâmetros físico-químicos	Método de Análise	Local
Condutividade	Potenciométrico	campo
Eh	Potenciométrico	campo
Dureza total	Titrimetria-EDTA ou calculado pelo teor de Ca e Mg <sup>(1)</sup>	laboratório
Metais totais	AAS e /ou ICP <sup>(2)</sup>	laboratório
Oxigênio dissolvido	Potenciométrico ou Winkler	campo
pH	Potenciométrico	campo
Sólidos totais em suspensão	Gravimetria ou Potenciométrico	laboratório ou campo
Sulfato	Turbidimetria	laboratório
Temperatura	Termômetro de mercúrio ou Potenciométrico	campo
Turbidez	Nefelometria ou Potenciométrico	laboratório ou campo

(1) Quando teores de Fe, Al, Zn, Mn são significativos, suas concentrações devem ser adicionadas ao cálculo.

(2) Espectrofotometria de Absorção Atômica e/ou Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado.

## 3.2 Resíduos sólidos e solos

### 3.2.1 Descrição dos ensaios de caracterização

Nas Tabelas 10 e 11 do Volume I foi sugerida a realização de ensaios físicos e de ensaios especiais, para efeito de caracterização dos resíduos sólidos como fonte de contaminação e do solo como ambiente receptor. Com base no exposto, apresenta-se, na Tabela 3.2.1, um detalhamento dos ensaios físicos, químicos e especiais a serem realizados para a completa caracterização dos resíduos sólidos e dos solos da região. Os solos serão considerados não somente sob o ponto de vista de ambiente receptor, mas como material a ser aproveitado no gerenciamento da disposição dos resíduos sólidos e nas obras de reabilitação. A caracterização dos resíduos sólidos e solos envolve a identificação das propriedades físicas e químicas dos mesmos.

**Tabela 3.2.1** – Ensaios para caracterização dos resíduos sólidos e solos.

<b>Ensaios físicos</b>	<b>Ensaios químicos (classificação)</b>	<b>Ensaios especiais</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise granulométrica</li> <li>• Densidade real dos grãos</li> <li>• Limites de Atterberg</li> <li>• Teor de umidade inicial</li> <li>• Permeabilidade à água (condutividade hidráulica)</li> <li>• Curva de retenção solo-água</li> <li>• Compactação</li> <li>• Resistência ao cisalhamento</li> <li>• Durabilidade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teor de enxofre</li> <li>• Teor de metais pesados (As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn, etc.)</li> <li>• Teor de matéria orgânica</li> <li>• pH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retenção de metais pesados (ensaio de batelada)</li> <li>• capacidade de troca catiônica</li> <li>• balanço ácido-base</li> <li>• capacidade tampão (resistência à variação do pH)</li> <li>• colunas de lixiviação</li> <li>• lisímetros</li> <li>• caracterização mineralógica</li> </ul>

### Propriedades físicas

As propriedades físicas são importantes na determinação:

- i) de como o material pode ser fisicamente armazenado;
- ii) da resistência à erosão pelo vento e pela água;
- iii) da quantidade de líquido percolante que ele pode gerar;
- iv) do uso potencial na construção civil, em particular nas estruturas de retenção de contaminantes e de minimização/controle de drenagem ácida.

Em função dessas aplicações apresenta-se, na Tabela 3.2.2, a seguir, as propriedades físicas que necessitam ser conhecidas.

**Tabela 3.2.2** – Propriedades físicas dos resíduos sólidos em função da aplicação.

Empilhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• resistência ao cisalhamento</li> <li>• durabilidade</li> <li>• condutividade hidráulica</li> </ul>
Resistência à erosão da água e do vento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• distribuição granulométrica</li> <li>• coesão</li> </ul>
Capacidade de infiltração da água de chuva	<ul style="list-style-type: none"> <li>• condutividade hidráulica</li> <li>• inclinação da superfície da pilha de resíduo</li> <li>• habilidade de suporte da vegetação</li> </ul>
Quantidade de líquido drenante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• teor de umidade inicial</li> <li>• curva de retenção solo-água</li> </ul>
Uso na construção de aterros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• durabilidade</li> <li>• resistência ao cisalhamento</li> <li>• condutividade hidráulica</li> <li>• compatibilidade química com os fluidos a serem retidos</li> </ul>
Uso na construção de “liners”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• condutividade hidráulica</li> <li>• compatibilidade química com os fluidos a serem retidos</li> </ul>
Uso em coberturas de solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• condutividade hidráulica</li> <li>• curva de retenção solo-água</li> </ul>

Os ensaios físicos propostos na Tabela 3.2.2. têm por objetivo a determinação da distribuição granulométrica, teor de umidade, resistência, durabilidade e condutividade hidráulica do material. O ângulo de repouso da pilha de rejeitos e a inclinação máxima para a estabilidade dos taludes; a densidade, a umidade e a resistência dos rejeitos, após cada estágio de disposição, são determinados a partir de cálculos matemáticos. Ainda podem ser simulados, em laboratório, a velocidade de drenagem da água dos poros, o ângulo de repouso e a densidade “in situ” das pilhas de rejeitos. Essas informações são necessárias para determinação do método mais efetivo de disposição, de forma a maximizar a capacidade de armazenamento e minimizar a quantidade de líquido retida.

### Propriedades químicas

As propriedades químicas dos resíduos sólidos de mina são determinadas com o intuito de se definir as características e avaliar o impacto que a sua disposição sobre o solo pode causar ao meio hídrico receptor (água superficial e água subterrânea) ou à saúde humana.

Os ensaios para definição das propriedades químicas podem ser divididos em dois grupos, de acordo com a sua finalidade, em ensaios de classificação e ensaios especiais.

- a) **Ensaio de classificação** – são ensaios padronizados pela ABNT e facilmente reproduzidos em laboratório. Fornecem valores absolutos que classificam o resíduo, com base em tabelas de referência, em função dos teores de substâncias químicas que ele apresenta.
- b) **Ensaio especiais** – esses ensaios fornecem informações sobre o comportamento do resíduo no local de disposição, sobre os mecanismos físico-químicos de liberação dos contaminantes ou sobre suas trajetórias de migração. Consistem, em geral, de ensaios batelada, e em colunas de lixiviação ou lisímetros, nos quais se cria um

ambiente químico representativo da situação de campo. Os ensaios batelada são mais simples de se conduzir, ao passo que as colunas de lixiviação ou os lisímetros (feitos, em geral, em acrílico) exigem maior detalhamento e nem sempre representam as condições reais de campo. Uma das maiores dificuldades reside na simulação dos ciclos de molhagem e secagem, devidos aos períodos de chuva e de seca, e que consistem em importantes fatores de geração da drenagem ácida.

Alguns parâmetros relevantes são brevemente detalhados a seguir.

- Enxofre total

É uma medida da soma total das diferentes formas de enxofre presentes nos resíduos (pirítico, sulfático e orgânico). Expressa de forma indireta o potencial de geração de drenagem ácida associada à presença da pirita (enxofre pirítico), bem como do potencial de combustão espontânea, com exalação de gases tóxicos (SO<sub>x</sub> etc.).

- Metais pesados

Quando presentes nos resíduos podem sofrer lixiviação pela presença da drenagem ácida formada, sendo posteriormente carreados e tornando-se constituintes tóxicos das drenagens e deflúvios. Os efeitos nocivos da presença de metais pesados em efluentes e nas águas superficiais foram abordados no respectivo protocolo, bem como os aspectos toxicológicos relacionados à saúde humana (item 4). Tanto nos resíduos como nos solos serão analisados os metais pesados As, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Ni e Zn.

- Teor de matéria orgânica

A matéria orgânica está diretamente associada à retenção de metais pesados, ao poder tampão e à combustão espontânea dos resíduos.

- pH

O valor do pH é uma medida da concentração (atividade) dos íons hidrogênio. Nos solos, a acidificação é resultante da hidrólise dos compostos de ferro e alumínio; da formação dos ácidos húmicos pela decomposição da matéria orgânica; e da contaminação por drenagens ácidas da mineração.

- Resistência à variação do pH (poder tampão)

Poder tampão ou grau de tamponamento de uma substância é a propriedade que ela possui de resistir à uma mudança brusca do pH do meio. No solo, este poder é devido à presença de minerais de argila e do teor de matéria orgânica. Quanto mais elevados maior será a resistência à variação do pH. O poder tampão da matéria orgânica tem origem nos íons hidrogênio pouco dissociados que atuam tamponando-a contra o meio alcalino, e aos íons básicos (como Ca, Mg e K), nela adsorvidos, que atuam no tamponamento das alterações ácidas do meio. O poder tampão está diretamente relacionado com a capacidade de troca catiônica da substância.

- Capacidade de retenção de metais pesados (CTC<sup>(1)</sup>)

É a capacidade do solo de reter cátions (inclusive os metálicos), os quais podem ser posteriormente liberados para uso das plantas e microorganismos presentes no meio, introduzindo-se assim os metais na cadeia biológica. A capacidade de retenção de cátions

---

<sup>(1)</sup> Capacidade de Troca Catiônica.



pela matéria orgânica e minerais do solo é um processo reversível, ocorrendo uma troca de cátions com as soluções alcalinas (p.ex. sais de amônia, bário, cálcio, potássio e sódio) e com as soluções ácidas (por ex. as drenagens ácidas ricas em metais pesados) do meio.

### 3.2.2 Protocolo de amostragem de resíduos sólidos e solos

Os ensaios físicos, químicos e alguns dos ensaios especiais a serem aplicados aos resíduos sólidos e aos solos são padronizados e devem seguir procedimentos constantes em normas. Na Tabela 3.2.3 são apresentadas as normas ABNT (NBR) e/ou as referências bibliográficas a serem utilizadas em cada um desses ensaios. Foram excluídas as colunas de lixiviação e os lisímetros por serem ensaios específicos e ainda não padronizados. Foi também excluída a caracterização mineralógica por não haver uma norma de referência.

**Tabela 3.2.3** – Normas referentes aos parâmetros a serem analisados

<b>Parâmetro</b>	<b>NORMA</b>
<b>Ensaio físicos</b>	
Análise granulométrica	NBR 718, 1984
Massa específica (material passando na # 4,8mm)	NBR 6508, 1984
Limites de Atterberg	NBR 6459, 1984/NBR 7180, 1984/NBR 7183, 1982
Permeabilidade à água (solos argilosos e arenosos)	NBR 13292, 1995/NBR 14545, 2000
Compactação	NBR 6457, 1986/NBR 7182, 1986
Resistência ao cisalhamento	Head, 1982
<b>Ensaio químicos</b>	
Resíduos sólidos (classificação)	NBR 10004, 1987
Lixiviação de resíduos	NBR 10005, 1987
Solubilização de resíduos	NBR 10006, 1987
Teor de matéria orgânica	EMBRAPA, 1997
pH no solo	EMBRAPA, 1997
Enxofre total	NBR 8296, 1983
<b>Ensaio especiais</b>	
Retenção de metais pesados (ensaio batelada)	Yong et al., 1993/EMBRAPA, 1997
Balanço ácido-base	Sobeck et al., 1978
Capacidade tampão (resistência à variação do pH)	Yong et al., 1990/Kiehl, 1985

### Técnicas de amostragem e preservação

Os procedimentos e técnicas recomendados são baseados em ABNT-NBR 10007, 1987, EMBRAPA, 1997 e APHA- Standard Methods, 1998. Exceto onde notificado.

#### Plano de amostragem

O objetivo da amostragem é obter uma porção de material que seja representativa do todo. Nesse sentido, os fatores que requerem maior atenção são a escolha dos pontos de amostragem, o tempo e a frequência da amostragem e manutenção da integridade da amostra. A técnica de preservação da amostra depende do material e do parâmetro de interesse a ser analisado.

Número de estações de amostragem <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Informações pessoais, Mend/Canmet -1996

Na determinação do número de estações de amostragem, a primeira etapa consiste na estimativa da variabilidade e da concentração média dos principais parâmetros de interesse. À estimativa segue-se o cálculo pelo método estatístico do número de amostras necessárias para alcançar os níveis de confiança aceitáveis e atender aos objetivos do projeto de amostragem. O número de estações de amostragens requeridas (N) é dado por:

$$N = t^2 s^2 / D^2$$

onde:

t = valores da distribuição de t-student para (n-1) graus de liberdade;

s = desvio padrão;

D = variabilidade ou limite de erro aceitável.

Na prática, o número de amostras a ser coletado é função do tamanho, em volume, do sítio de amostragem, conforme explicitado na Tabela 3.2.4.

**Tabela 3.2.4** – Número de amostras a serem coletadas em função do tamanho do sítio.

Tamanho do sítio (V, m <sup>3</sup> )	Número de amostras
Muito pequeno (< 10.000)	3 – 6
Pequeno (10.001 – 50.000)	7 – 12
Médio (50.000 – 100.000)	13 – 18
Grande (100.001 – 1.000.000)	19 – 40
Muito grande (> 1.000.001)	41 + (V – 1.000.001) / 75.000

Para a amostragem de solos, segundo Rump e Krist, 1988, para cada 10.000 m<sup>2</sup> de área do projeto, no mínimo 20 amostras simples devem ser coletadas e combinadas para formar uma amostra composta. A profundidade usual da amostragem varia entre 10 e 20 cm, em função do tipo de terreno e do parâmetro de interesse.

#### Pontos de amostragem

Devido à extrema variabilidade dos locais aonde os resíduos são depositados, não é possível definir um único tipo de ponto de amostragem. A Tabela 3.2.5 apresenta os tipos de pontos de amostragem em função dos locais de armazenagem dos resíduos.

**Tabela 3.2.5** – Pontos de amostragem recomendados.

Origem do resíduo	Pontos de amostragem
Montes ou pilhas	retirar as amostras de pelo menos três pontos (do topo, do meio e da base), a partir do topo, igualmente afastados entre si. O amostrador deve penetrar obliquamente nos montes ou pilhas.
Lagoas e tanques abertos	dividir a área superficial em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadrícula retirar 3 amostras (do topo, do meio e da base), a partir do topo.
Leitos de secagem, lagoas secas ou solos contaminados	dividir a área superficial em uma rede quadriculada imaginária. De cada quadrícula retirar 1 amostra.

Obs : O número de quadriculas é determinado pelo número desejado de amostras a serem coletadas, as quais quando combinadas, geram uma amostra representativa.

## Número de amostras

Para uma boa caracterização do resíduo, torna-se necessário estabelecer o número de amostras a serem coletadas. Este número depende do tipo de informação desejada e da variabilidade das características dos resíduos. Quanto maior a variabilidade, maior o número de amostras requisitadas. Na Tabela 3.2.6 tem-se o número necessário de amostras em função da informação desejada sobre o parâmetro, do tipo de resíduo e do seu local de armazenagem.

**Tabela 3.2.6**– Número de amostras a serem coletadas no ponto de amostragem.

<b>Informação desejada</b>	<b>Tipo de resíduo</b>	<b>Origem do resíduo</b>	<b>Número de amostras</b>
Concentração média	sólido	montes ou pilhas	1 amostra composta por alíquotas coletadas em diferentes pontos ou profundidades
Concentração média	lodo	tanques rasos, lagos secos ou solos contaminados	1 amostra composta por alíquotas coletadas em diferentes quadrículas
Faixa de variação	sólido	montes ou pilhas	de 3 a 5 amostras simples, coletadas em diferentes pontos
Faixa de variação	lodo	tanques rasos, lagos secos ou solos contaminados	de 2 a 20 amostras simples, coletadas em diferentes quadrículas.

## Amostradores

O amostrador a ser utilizado é função do tipo de resíduo e do seu local de origem. Na Tabela 3.2.7 apresentam-se alguns tipos mais usuais. A Norma ABNT/NBR-10007 (1987) apresenta uma descrição dos modelos e procedimentos de uso para diferentes tipos de amostradores.

**Tabela 3.2.7**– Amostradores recomendados em função da origem do resíduo.

<b>Origem do Resíduo</b>	<b>Tipo de Amostrador</b>
montes ou pilhas	amostrador de montes ou pilhas <sup>(1)</sup>
secos em tanques rasos e sobre o solo	pá <sup>(2)</sup>
em tanques rasos ou no solo, profundidade > 8 cm	trado <sup>(3)</sup>

(1) Não deve ser utilizado na amostragem de resíduos cujo diâmetro de partícula seja superior a metade do diâmetro do tubo de amostragem. O amostrador deve ter no mínimo 1,2 m de comprimento.

(2) Não usar para coletar amostras a mais de 8 cm de profundidade. É difícil a obtenção de amostras representativas.

(3) Não usar para coletar amostras indeformadas.

## Recipientes para coleta

Para os resíduos sólidos ou pastosos serão utilizados preferencialmente sacos plásticos de polietileno, devidamente etiquetados para identificação da amostra. Caso o resíduo

contenha solvente, deverá ser empregado um recipiente de vidro de boca larga e tampa com boa vedação.

### **Ficha de coleta**

Cada amostra será acompanhada de uma ficha de coleta. Uma sugestão de modelo a ser adotado é apresentada no item 3.3 .

### **Preservação e tempo de estocagem**

As amostras de resíduos devem ser analisadas o mais breve possível após a coleta, sendo preservadas e/ou estocadas em recipientes adequados para evitar contaminação e para manutenção de sua integridade. Para as amostras de resíduos sólidos ou pastosos consistentes, o método de preservação aplicável é a refrigeração a 4 °C.

Para estocagem mais longa de solos, as amostras devem ser secas ao ar, moídas (as pedras são retiradas) e peneiradas. A amostra fina (partículas < 2 mm) será então utilizada para os ensaios analíticos.

### **3.3 Modelos de ficha de coleta**

Em anexo encontram-se os modelos sugeridos para as fichas de coleta de líquidos e de sólidos.

## **4 Aspectos toxicológicos ambientais na região do estudo**

O pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais importantes em ecossistemas aquáticos. Ele interfere no tipo de comunidade biótica, em processos bioquímicos, no balanço de CO<sub>2</sub>, na solubilidade de sais e na especiação geoquímica dos metais, condicionando a biodisponibilidade destes metais no ambiente aquático. Os metais podem ser absorvidos pela biota aquática quando estão dissolvidos e baixos valores de pH proporcionam esta condição. A liberação de metais de sedimentos e de solos aumenta com o decréscimo do pH.

Na região estudada, o impacto ambiental sobre a biota aquática é perceptível pela sua inexistência em diversos corpos hídricos.

Os metais pesados são importantes agentes químicos tóxicos poluentes das águas superficiais e das águas subterrâneas. Alguns destes metais mais comumente medidos e particularmente perigosos são o mercúrio (Hg), chumbo (Pb), arsênio (As), cromo (Cr), níquel (Ni), zinco (Zn) e cádmio (Cd). A maioria deles não apresenta biomagnificação na biota aquática, exceto o Hg. Alguns trabalhos sugerem que, na região estudada, os níveis de Hg e As em águas superficiais podem ser considerados abaixo dos limites de detecção dos métodos analíticos disponíveis. Entretanto, dada a importância toxicológica de tais elementos, devem ser investigados novamente. Há disponibilidade de dados de concentração de metais pesados nas águas superficiais em trabalhos realizados pelo DNPM/CPRM, 1984, Alexandre e Krebs, 1995 e DNPM, 1999.

Quanto ao material em suspensão direcionado aos corpos hídricos, embora não necessariamente tóxico, ele pode sedimentar como uma camada de lama em áreas de

águas calmas de rios e lagos. Isso pode exterminar os microorganismos purificadores, causando problemas para os ecossistemas aquáticos. A perda de microorganismos purificadores permite que os patogênicos possam viver por mais tempo, aumentando os riscos de doenças. Quando sólidos orgânicos são parte da lama, sua progressiva decomposição irá consumir o oxigênio na água e gerar gases com mau cheiro.

A utilização da água subterrânea para consumo familiar, especialmente nas áreas rurais, parece ser importante (SDM/SDRA, 1997), tendo sido avaliada a qualidade destas águas em trabalhos realizados na área (Ávila, 1992, DNPM/CPRM, 1984).

A utilização das águas para consumo humano deve ser considerada como uma via de exposição. A recreação aquática parece não ser hábito da população local. Extensas plantações de arroz nas várzeas de grandes rios da região não podem deixar de ser consideradas como potencial exposição a contaminantes via consumo de alimentos. A existência de dados de concentração de metais e outros contaminantes em amostras de arroz da região é desconhecida. As águas superficiais impactadas, quando não coletadas junto às nascentes, em geral mostraram valores de pH em torno de 3 a 4, tanto em córregos quanto em rios caudalosos, como pode ser verificado no item 2.2 do Volume II. Os valores encontrados em diversos corpos hídricos e efluentes líquidos no presente trabalho não diferem daqueles obtidos pelo monitoramento ambiental realizado pelo DNPM, 1999.

Os poluentes inorgânicos gasosos mais importantes são os óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), ozônio (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO) e fluoretos (F<sup>-</sup>) (Calabrese e Kenyon, 1991). O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), poluente predominante na região, é incolor e rapidamente absorvido pelo sistema nasofaríngeo humano. Seres humanos expostos a 5ppm deste gás mostram sintomas de intoxicação com alteração nas taxas de inspiração e expiração e irritabilidade das vias respiratórias. Partículas finas menores do que 10 micra de diâmetro representam os maiores perigos para o sistema respiratório.

Embora de grande importância, a existência de dados de qualidade de ar ou de qualidade de águas de chuva na região é em grande parte desconhecida, exceto para o município de Criciúma.

Do acima exposto, foi elaborado uma tabela das principais vias de exposição da população local, brevemente resumido na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** - Principais vias de exposição relacionadas aos compartimentos ambientais impactados pela atividade mineira na Região Carbonífera de Santa Catarina.

Principais Vias de Exposição	Compartimentos Ambientais		
	águas superficiais e/ou águas subterrâneas	solo	ar
Inalação		Inalação de partículas de solo contaminado	Contaminação direta do ar por particulados e SO <sub>2</sub>
absorção dérmica	Contato com a água contaminada	contato com o partículas de solo contaminado	Deposição de partículas de ar contaminado
Ingestão	Ingestão de água poluída e transferência de poluentes da água para os alimentos	ingestão de solo contaminado e transferência de poluentes do solo para os alimentos	Ingestão de partículas de ar poluído e contaminação por deposição de partículas sobre os alimentos

#### **4.1 Aspectos toxicológicos relacionados à saúde humana por exposição ambiental aos metais pesados**

##### **Arsênio (As)**

O arsênio é um elemento classificado como cancerígeno humano. Para a máxima proteção da saúde humana a efeitos cancerígenos, a concentração deste elemento em águas ambientais deveria ser zero. Isto está baseado na suposição da não existência de limiar de dose para efeitos cancerígenos. Entretanto, um nível zero não pode ser obtido, pois o arsênio é encontrado nos solos, água e ar, como um contaminante ambiental. Para uma pessoa adulta, calcula-se uma dose diária média de arsênio de cerca de 300µg. Quase toda a dose diária é via ingestão de água e alimentos. Há evidências experimentais de que a absorção gastrointestinal é eficiente. O arsênio deposita-se principalmente no fígado, rins, coração e pulmões; atravessa a barreira placentária e pode causar efeitos teratogênicos. Pouco se sabe sobre as biotransformações do arsênio no organismo humano. Os arsenicais orgânicos são excretados mais rapidamente que os inorgânicos e há evidências de que o arsênio é metilado no organismo humano. A excreção é fundamentalmente via urina. O tempo de meia-vida para a excreção urinária é de cerca de 3 a 5 dias. Intoxicação crônica por arsênio apresenta sintomas não específicos, tipo fraqueza, anorexia, náusea, vômito, etc. Os efeitos cancerígenos foram pesquisados em animais experimentais e em seres humanos, havendo evidências de que a exposição crônica ao arsênio, via ingestão de água, predispõem a carcinomas de pele. Efeitos teratogênicos foram demonstrados em hamsters (Klassen, 1997).

##### **Cádmio (Cd)**

O Cd ocorre em apenas um tipo de valência (+II) e não forma compostos alquílicos ou outros compostos organometálicos de conhecido significado toxicológico. O Cd tem sido classificado como provável cancerígeno humano, embora ainda não se tenha derivado um fator de potência de câncer. As maiores relevâncias da exposição humana ao Cd são os efeitos sobre os pulmões pela inalação aguda e os efeitos sobre os rins da exposição crônica, induzindo proteinúria irreversível, atingida por uma dose diária de 140 a 260µg de Cd. Quando a carga acumulada de Cd nos rins excede a 200µg/g, ocorre o comprometimento renal. Os rins são considerados os órgãos alvo da exposição ambiental crônica ao Cd para a população em geral. A principal via de exposição da população não fumante é via alimentação. A contribuição de outras vias para a captação total é muito pequena. A exposição ao Cd via pulmonar através dos cigarros é significativa. Em áreas contaminadas, a exposição ao Cd via alimentos pode chegar a várias centenas µg/ dia. Dados de experimentos com animais e em seres humanos mostram que a absorção pulmonar é extremamente eficiente (50% do Cd inalado é absorvido) e muito maior do que a absorção gastrointestinal, a qual é influenciada pelo tipo de dieta e estado nutricional. Há um gradiente materno-fetal de Cd. Embora o Cd acumule na placenta, pouco é transferido para feto. O Cd absorvido pelos pulmões ou pelo sistema gastrointestinal é estocado principalmente no fígado e rins. O tempo de meia-vida biológica é muito longa (décadas) no músculo, rins, fígado e em todo o organismo humano. As concentrações de Cd na maioria dos tecidos aumenta com a idade. Metalotioneína é uma importante proteína de transporte e estocagem de Cd e de outros metais pesados. O Cd pode induzir a síntese desta proteína em muitos órgãos, incluindo fígado e rins (Klassen e Jie, 1997). Os níveis de Cd nas fezes é um bom indicador de exposição recente, via alimentos, na ausência de exposição via inalação. O Cd no sangue ocorre principalmente nas hemácias, sendo as concentrações

plasmáticas geralmente muito baixas. A dose diária de Cd via alimentos em áreas não contaminadas com Cd é em torno de 10 a 40µg (WHO, 1992).

### **Cromo (Cr)**

O Cr é um elemento abundante na crosta terrestre e ocorre nos estados de oxidação variando de Cr<sup>2+</sup> a Cr<sup>6+</sup>, mas somente o Cr<sup>3+</sup> e o Cr<sup>6+</sup> têm significado biológico. A forma trivalente é a mais comum mas os compostos de formas hexavalentes são as mais importantes na indústria e de maior significado toxicológico aos sistemas biológicos. O Cr trivalente é considerado nutriente essencial, pois influencia no metabolismo da glicose, sendo cofator da ação da insulina.

A toxicidade não cancerígena do Cr está associada a exposições agudas acidentais ou suicidas. O maior efeito da ingestão de Cr em grandes quantidades é a atividade tóxica renal. Outro efeito tóxico é a reação alérgica dermatológica ao Cr<sup>6+</sup>. Os efeitos cancerígenos causados pela exposição ao Cr estão relacionados especialmente ao trato respiratório, porém, tem-se sugerido a ocorrência de câncer também em outros sistemas. Esta conhecida periculosidade do Cr<sup>6+</sup> aos organismos vivos tem sido relacionada à sua redução a Cr<sup>3+</sup>, com formação de complexos com macromoléculas. O Cr<sup>6+</sup> é mais facilmente absorvido pelas células, enquanto que o Cr<sup>3+</sup> apresenta maior atividade mutagênica, sendo então mais provavelmente o elemento que se liga ao material genético.

Em áreas rurais, a concentração de Cr na atmosfera é usualmente menor do que 0,1 µg/m<sup>3</sup>. Materiais particulados gerados por termoelétricas podem conter de 2,3 a 31ppm. Outra importante fonte é a indústria de cimento.

O conteúdo de Cr nos alimentos é geralmente baixo. A estimativa de ingestão diária de Cr por humanos está abaixo de 100µg, a maioria vinda de alimentos. Na população em geral, a concentração de Cr no sangue varia de 20 a 30 µg /L, distribuídos em eritrócitos e plasma. A excreção é principalmente via urinária, em torno de 10 µg /dia.

### **Chumbo (Pb)**

Concentração de chumbo no sangue humano é uma indicação de absorção recente do metal. A tendência mundial é o decréscimo nos níveis de Pb no sangue, como visto em sangue de crianças moradoras nos Estados Unidos, onde os níveis mostraram um decréscimo de 10µg/dL entre a década de 70 e a década de 90 (atingindo atualmente, teores em torno de 6µg/dL). Teores de 30µg/dL de Pb em sangue de pessoas adultas é considerado limite máximo, sendo que para valores acima de 75µg/dL aparecem sintomas claros de envenenamento por Pb (Klassen, 1997).

O efeito crítico em crianças envolve o Sistema Nervoso Central (encefalopatia), e em adultos, o efeito crítico é a hipertensão. O Pb acarreta uma série de alterações hematológicas. Outros órgãos alvo são o sistema gastrointestinal e sistema reprodutivo. O Pb foi classificado como 2B (cancerígeno humano) pela U.S.EPA. Os tumores mais comumente relacionados à exposição ao Pb são do sistema respiratório e sistema digestivo.

### **Mercúrio (Hg)**

A população em geral está primariamente exposta ao mercúrio através da dieta e de amálgama dentário. Do amálgama dentário o mercúrio inorgânico é liberado como vapor. Dependendo das concentrações de mercúrio inorgânico no ar e na água, podem ocorrer

contribuições significativas para a dose diária. Resultados de estudos em animais experimentais e em humanos indicam que cerca de 80% do vapor de mercúrio metálico inalado é absorvido, enquanto o mercúrio metálico líquido é pobremente absorvido via sistema gastrointestinal (menos do que 1%). O mercúrio inorgânico inalado como aerossol é depositado no trato respiratório e absorvido, sendo a taxa de absorção dependente do tamanho da partícula. Compostos de mercúrio inorgânico são absorvidos pelo trato gastrointestinal com baixa eficiência. Os rins são os principais acumuladores de mercúrio inorgânico e somente pequena fração atravessa a barreira placentária (WHO, 1990 e 1991). O peixe (ou outros alimentos aquáticos) é a fonte dominante de exposição humana ao metilmercúrio. O metilmercúrio é um reconhecido composto neurotóxico, que atravessa a placenta e pode causar sérios danos teratogênicos, de natureza neurológica, irreversíveis (Klassen, 1997), enquanto que o mercúrio inorgânico não apresenta tais efeitos. O metilmercúrio está listado pelo Programa Internacional de Segurança de Agentes Químicos como um dos seis mais perigosos agentes químicos ambientais. O peixe acumula metilmercúrio em muitas vezes a concentração do metilmercúrio presente na água em que vive (bioconcentração) ou no alimento que consome. Esta espécie de mercúrio representa até 95% do mercúrio total encontrado em tecidos de peixes. O mercúrio apresenta níveis de concentrações não tóxicas em torno de 3 a 4µg/dL no sangue de pessoas adultas. Como o metilmercúrio está concentrado nas hemácias e o mercúrio inorgânico não, a distribuição do mercúrio nas hemácias e plasma pode indicar se o envenenamento é por mercúrio inorgânico ou orgânico. As concentrações de mercúrio na urina da população em geral não ultrapassa 5µg/L.

### **Níquel (Ni)**

O Ni é um elemento necessário ao organismo humano, e recentes estudos sugerem que ele seja essencial aos mamíferos. Sua deficiência pode alterar o metabolismo da glicose. A exposição ocupacional ao Ni (principalmente ao carbonil-níquel) via inalatória, tem caracterizado este elemento como um cancerígeno do trato respiratório. As concentrações séricas de Ni são influenciadas pelas concentrações ambientais de Ni, especialmente na atmosfera. Sua principal via de excreção é fecal. Dermatite de contato é comum entre a população em geral. O Ni é pobremente absorvido pelo trato gastrointestinal e os teores de Ni no sangue humano indicam a severidade da exposição.

### **Cobre (Cu)**

O Cu é um elemento essencial, sendo requerido para o funcionamento adequado de uma série de enzimas, tais como as peroxidases, catalase, citocromo oxidase, tirosinase etc. É essencial para a utilização do ferro pelo organismo humano. A absorção g.i. de cobre é regulado pelos estoques internos. O nível normal de Cu no sangue humano é de 120 a 145 µg/L e sua excreção é predominantemente via biliar. Exposição aguda via ingestão acidental de Cu pode levar à morte. Teor máximo de Cu em água de beber, proposta pela EPA é de 1,3mg/L.

### **Ferro (Fe)**

O Fe é um metal essencial, mas podem ocorrer exposições agudas, em geral, acidentais, e exposições crônicas. A absorção do Fe é regulada por um complexo mecanismo, para se manter a homeostase. Há de 3 a 5 g de Fe no organismo humano. Dois terços estão na hemoglobina, 10% na mioglobina e enzimas que contém Fe e o restante está ligado a proteínas que estocam Fe.



Há três maneiras básicas para que exposições crônicas resultem em altas concentrações de Fe: i) anormal absorção de Fe via gastrointestinal por predisposição genética (hemocromatosis idiopática); ii) excesso de ingestão de Fe por preparação de alimentos em recipientes de Fe e iii) intoxicação medicamentosa e/ou transfusão de sangue. Os sintomas são similares, não importando a causa. Os teores de Fe no organismo aumentam para 20 a 40g, com sintomas clínicos que incluem efeitos cardiovasculares e endócrinos, problemas hepáticos e diabetes mellitus. A exposição ocupacional via inalatória ao Fe resulta na deposição das partículas no tecido pulmonar. Tem sido reportado que níveis acima de 10 mg de Fe/ m<sup>3</sup> na atmosfera estão associados a pneumoconiose.

### **Manganês (Mn)**

É cofator de inúmeras enzimas, particularmente daquelas envolvidas na fosforilação e síntese de colesterol e ácidos graxos. Ele está presente em todos os organismos vivos. Embora ele seja encontrado principalmente no ar e na água, a principal fração de Mn absorvido pelo organismo humano está nos alimentos. A dose diária normal de Mn é de 2 a 9 mg. A absorção intestinal é menor do que 5%. O tempo de meia vida no organismo é de 37 dias. Ele pode passar a barreira cérebro-sangue. Sua principal via de excreção é fecal. Há mecanismos reguladores para evitar altas doses de Mn via gastrointestinal.

A toxicidade resultante de exposição crônica ocupacional, via inalatória, resulta em necrose epitelial seguida de mononucleose. Outra doença resultante deste tipo de exposição envolve o SNC, chamada manganismo e produz uma desordem neuropsiquiátrica caracterizada por irritabilidade, comportamento compulsivo, e sintomas similares à doença de Parkinson e cirrose hepática. Em geral, tais efeitos são irreversíveis.

### **Zinco (Zn)**

Mais de 200 metaloenzimas requerem Zn como cofator e sua deficiência resulta em um grande espectro de efeitos clínicos. O nível normal de Zn no sangue é de 85 a 110 µg/dL. É incomum a toxicidade por excesso de Zn, e evidências de efeitos hematológicos, hepáticos e renais foram observados em indivíduos que ingeriram mais do que 12g de Zn elementar dentro de 2 dias.

## **5 Referências bibliográficas**

### *Mapas*

ABOARRAGE, A.M. e LOPES, R da C. 1986. Projeto A Borda Leste da Bacia do Paraná: Integração Geológica e Avaliação Econômica. Porto Alegre : DNPM/CPRM. 18 v

ALEXANDRE, N.Z.; KREBS, A.S.J. 1995a. Fontes de Poluição no Município de Criciúma, SC. Porto Alegre : CPRM. 1v. (Série Degradação Ambiental, v.8). (Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC).

ALEXANDRE, N.Z. e KREBS, A.S.J. 1995b. Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma, SC. Porto Alegre: CPRM. 1 v. (Série Recursos Hídricos, v.6). (Programa de Informações Básicas para Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC).

ALEXANDRE, N.Z. 2000. Análise Integrada da Qualidade das Águas da Bacia do Rio Araranguá (SC). Dissertação de Mestrado. Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 300p.

ALTHOFF, D. A., et al. 1995. Parâmetros para agricultura irrigada de Santa Catarina: Evapotranspiração Potencial. EPAGRI, 1996 Documentos 172. Florianópolis, 1995. 32p.

BACK, Á. J. 1995. Precipitações extremas para o estado de Santa Catarina. EPAGRI-Florianópolis. 39p. Documentos nº 154. ISSN0100-8986.

BACK, A. J. 1997. Determinação da precipitação efetiva para irrigação suplementar pelo balanço hídrico horário: Um caso – estudo em Urussanga, SC. Tese de Doutorado. UFRGS. Porto Alegre. 132p.

CARUSO Jr., F. 1997. Mapa Geológico da Região Sul de Santa Catarina. [Itajaí] : UNIVALI/OSNLR/CECO/UFRJ. Mapa color. 90 x 90 cm. Escala 1: 100.000.

FABRÍCIO, J. A. C 1974. Projeto Carvão em Santa Catarina: Relatório integrado. York : Water Information Center, Port Whashington, p. 269-271.

GRUPERH (Grupo de Estudo em Pesquisa em recursos Hídricos) Bortoluzzi; Ismael Pedro Coord. Hidrologia e Hidrogeologia da bacia do Rio Tubarão. Diagnóstico dos Recursos Hídricos e organização dos Agentes da Bacia Hidrográfica do Rio tubarão e Complexo Lagunar – volume 6. CD-ROM, UNISUL, SC, 2000.

KREBS, A. S J. 1984. Projeto Arroio do Silva: Nota Explicativa. Porto Alegre: CPRM 31p. Anexos.

KREBS, A.S.J. 1997. Avaliação do Potencial Hidrogeológico da Área Correspondente à Bacia Hidrográfica do rio Araranguá, SC. Criciúma : UNESC. (Relatório inédito)

MACHADO, J.L.F. 1997. Mapa Hidrogeológico, escala 1:250.000 da Folha de Criciúma. Porto Alegre : CPRM.

MITSUBISHI MATERIALS CORP. ; CHIYODA-DAMES e MOORE CO. 1997. Interim Report for the Feasibility Study on Recuperation of Mined-out Areas in the South Region of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil. Japão.

SDM - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. 1997 Bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina : Diagnóstico geral. Florianópolis Santa Catarina. 163 p.

UNESC. 1996. Plano Básico de Desenvolvimento Ecológico e Econômico. PBDEE. Área da AMREC. UNESC. Criciúma.

UNISUL/GRUPERS 2000. Diagnóstico e Planejamento dos Recursos Hídricos da bacia do Rio Tubarão e Complexo Lagunar, CD-ROM, Tubarão.

WHITE,I.C. 1908. Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra no Brasil. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral, Parte I, p. 1-300.

OBS.: Esta bibliografia é complementada por aquela apresentada nos mapas de documentação do Volume III.

*Protocolos de Amostragem de Águas Superficiais e Efluentes Líquidos*

ABNT/NBR 9897. 1987 Planejamento de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Junho. 23 p.

ABNT/NBR 9898. 1987 Preservação e Técnicas de Amostragem de Efluentes Líquidos e Corpos Receptores. Junho. 34 p.

ABNT/NBR 12649. 1992 Caracterização de Cargas Poluidoras na Mineração. Procedimento. Setembro. 30p.

APHA- American Public Health Association 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th, Washington DC.

CANMET/MMSL/INTEMIN 1998. CD ROM –Baselining. A Reference Manual. Vol. 3 - Baseline Surface Water Monitoring for Mining; April.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. 1984/1991. Resoluções CONAMA. 4 ed. rev. aum. Brasília, IBAMA, 254p

DNPM. 1999 Controle da Poluição Hídrica Decorrente da Atividade de Mineração/Programa de Estudo de Casos – Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Araranguá. Relatório Final, 173 p., 1999. DNPM, São Paulo, SP.

DNPM/CPRM. 1984 Projeto Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrente da Extração do Carvão Mineral. Programa Nacional de Prospecção para Carvão, Linhito e Turfa. Anexos - Mapas. DNPM/CPRM, Criciúma, SC.

FEEMA, 1983. Manual do Meio Ambiente: Sistemas de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP. Rio de Janeiro. 305 p.

SDM/SDRA - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente /Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura – 1997 Plano de Gestão e Gerenciamento da Bacia do rio Araranguá-Zoneamento da Disponibilidade e da Qualidade Hídrica. Florianópolis.

U.S EPA – Environmental Protection Agency- 1983. Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. EPA- 690/4-79-020, Cincinnati, OH.

*Protocolos de Amostragem de Resíduos Sólidos e Solos*

ABNT/NBR 6457. 1986. Amostras de Solo- Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. 7p.

ABNT/NBR 6459 . 1984. Solo. Determinação do Limite de Liquidez. 6p.

ABNT/NBR 6508. 1984. Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm- Determinação de Massa Específica. 8p.

ABNT/NBR 7180. 1984. Solo- Determinação do Limite de Plasticidade. 1984, 3p.

ABNT/NBR 7181. 1984. Solo- Análise Granulométrica. 1984, 13p.

- ABNT/NBR 7182. 1986. Solo- Ensaio de Compactação. 10p.
- ABNT/NBR 7183. 1982. Determinação do Limite e Relação de Contração dos Solos. 1982, 3p.
- ABNT/NBR 8296. 1983. Carvão Mineral- Determinação de Enxofre Total por Combustão (Perclorato de Bário). 4p.
- ABNT/NBR 9252. 1986. Solo- Determinação do Grau de Acidez. Método de Ensaio. Fev, 1986, 2p.
- ABNT/NBR 10004. 1987. Resíduos Sólidos. 1987, 63p.
- ABNT/NBR 10006. 1987. Lixiviação de Resíduos. 1987, 2p.
- ABNT/NBR 10007. 1987. Amostragem de Resíduos. Procedimento. 25p.
- ABNT/NBR 13292. 1995. Solo- Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de solos granulares e de carga constante.
- ABNT/NBR 13292. 2000. Solo- Determinação do Coeficiente de Permeabilidade de solos argilosos e de carga variável.
- EMBRAPA 1997. Manual de Métodos de Análise de Solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, 2ª ed.
- HEAD K.H. 1982. Manual of Soil Laboratory Test, London Vol. 2, Ed. Pentech Press Ltd. London
- KIEHL, E.J. 1985. Fertilizantes Orgânicos, Ed. Ceres, São Paulo.
- RUMP, H.H. e KRIST, H. 1988 Laboratory Manual for Examination of Water, Waste Water and Soil. VCH, Weinheim.
- SOBECK, A.A.; SCHULLER, W.A.; FREEMAN, J.R. e SMITH, R.M. 1978 Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Mine Soils *US Environmental Protection Agency - EPA 600/Z-78-054*
- YONG, R.N., GALVEZ-CLOUTIER, R. e PHADUNGCHWIT, Y. 1993A Seletive Sequential Extraction Analysis of Heavy Metal Retention in Soil' *Canadian Geotechnical Journal*, 30, p. 834-847.
- YONG, R.N.; WARKENTIN, B.P.; PADHUNGCHWIT, Y. GALVEZ, R. 1990 Buffer Capacity and Lead Retention in Some Clays Materials *Water, Air and Soil Pollution*, 53, p. 53-67.
- Aspectos Toxicológicos Ambientais na Região do Estudo*
- ALEXANDE, NADJA Z.; KREBS, ANTÔNIO S. J. 1995. Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma-SC. Relatório Final. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Recursos Hídricos, volume 06), CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.
- ÁVILA, E.L. 1992. Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica da Formação Rio Bonito na Região de Siderópolis e Adjacências. Tese de Doutorado - Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 242p.

CALABRESE, E e KENYON, EM 1991. Air Toxics and Risk Assessment. Lewis Publishers, Inc. Michigan, 1991; 662p.

JORGENSEN, S.E. 1990. Environmental Modelling. In: Modelling Heavy Metals in Aquatic Environment. Elsevier, Londres. Chapter 22, p. 831-871.

KLAASSEN, CD. 1997 Heavy Metals and Heavy Metals Antagonists. In: Goodman e Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. Gilman, A.G., Goodman, L.S., Rall, T.W. and Murad, F. p. 1605-1627. Macmillan Publishing Company

KLAASSEN, CD e Jie, L. 1997 Role of Metallothionein in Cadmium-Induced Hepatotoxicity and nephrotoxicity. In: Drug Metabolism Reviews (editor: Frederick J. Di Carlo); 29 (1 e 2), 79-109

KREBS, ANTÔNIO S. J.; NOSSE, EDUARDO DE O. 1998 Potencial Hidrogeológico do Município de Criciúma-SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, volume 24), CPRM, Porto Alegre, RS.

MCKEE, MALCOLM H. (TAEM (Terrestrial e Aquatic Environmental Managers Ltd.)) 1998. CANMET/MMSL - INTEMIN Manual for Baseline Aquatic Effects Monitoring for Mining, 1st Edition. Ottawa: CANMET/MMSL (Canada Centre for Mineral and Energy Technology/ Mining and Mineral Sciences Laboratories), Natural Resources Canada. ISBN 0-660-17557-6 (issued on a CD-ROM by CANMET)

MCKEE, MALCOLM H., GARY CROSBY. (TAEM (Terrestrial e Aquatic Environmental Managers Ltd.)) 1998. CANMET/MMSL - INTEMIN Manual on Baseline Surface Water Monitoring for Mining: An Applied Handbook, 1<sup>st</sup> Edition. Ottawa: CANMET/MMSL (Canada Centre for Mineral and Energy Technology/ Mining and Mineral Sciences Laboratories), Natural Resources Canada. ISBN 0-660-17562-2 (issued on a CD-ROM by CANMET)

VAN HUYSSTEEN, ERROL. (CANMET) 1998. CANMET/MMSL - INTEMIN Overview of Environmental Baselineing, 1st Edition. Ottawa: CANMET/MMSL (Canada Centre for Mineral and Energy Technology/ Mining and Mineral Sciences Laboratories), Natural Resources Canada. ISBN 0-660-17565-7 (issued on a CD-ROM by CANMET)

WHO, 1989. Environmental Health Criteria 86: Mercury-Environmental Aspects. Geneva, World Health Organization, 114p.

WHO, 1990. Environmental Health Criteria 101: Methylmercury. Geneva, World Health Organization, 144p.

WHO, 1991. Environmental Health Criteria 118: Inorganic Mercury. Geneva, World Health Organization, 166p.

WHO, 1992. Environmental Health Criteria 134: Cadmium. Geneva, World Health Organization, 280p.

## **Anexo 1- Mapas**

## **Anexo 1 - Mapas**

**2.1.1** – Mapa preliminar de localização das áreas degradadas pela mineração de carvão e sua subdivisão em Distritos e Grupos;

**2.2.1** – Mapa da rede hidrográfica;

**2.3.1** – Mapa de localização regional das áreas visitadas;

**2.4.1 a 2.4.8** – Mapas de localização das Minas/Lavadores;

**2.5.1 a 2.5.8** – Mapa de uso do solo;

**2.6.1** – Mapa de localização das estações meteorológicas;

**2.7.1** – Mapa preliminar de fontes de poluição da região Carbonífera Sul Catarinense apresenta as principais fontes de poluição presentes na região;

**2.8.1** – Mapa preliminar da qualidade das águas da região Carbonífera Sul Catarinense;

**2.9.1** – Recursos hídricos;

**2.9.2** – Geologia;

**2.9.3** – Carvão;

**2.9.4** – Gestão ambiental;

## **Anexo 2 - Fichas de Coleta de Resíduos Sólidos e Líquidos**



## Ficha de Coleta de Líquidos

Código de Identificação da amostra: \_\_\_\_\_

Data e hora da coleta: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_ h

Local e Ponto de Amostragem: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Coordenadas (X,Y): \_\_\_\_\_

Procedência da amostra: (efluente, rio, lago, cava de mineração) etc.

\_\_\_\_\_

Profundidade em que a amostra foi coletada: \_\_\_\_\_

Tipo de amostra (simples, composta ou integrada): \_\_\_\_\_

Condições climáticas (temperatura) no momento da coleta e nas 48h antecedentes:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Parâmetros analisados no campo:

Parâmetro	Resultado
temperatura (°C)	
pH	
acidez	
Eh (mV)	
condutividade (µS/cm)	
oxigênio dissolvido	

Parâmetros a serem analisados no laboratório:

dureza total	sulfato
metais totais	turbidez
sólidos totais em suspensão	

Outras observações (p.ex. desenhos esquemáticos, problemas na amostragem etc):

\_\_\_\_\_

Responsável pela coleta: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Data e hora da entrega do material no laboratório: \_\_\_\_\_

## Ficha de Coleta de Resíduo

Código de Identificação da amostra: \_\_\_\_\_

Data e hora da coleta: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ \_\_\_\_h

Local e Ponto de Amostragem: \_\_\_\_\_

Coordenadas (X,Y): \_\_\_\_\_

Procedência da amostra: (correia, pilha, bacia de decantação, solo etc.): \_\_\_\_\_

Profundidade em que a amostra foi coletada: \_\_\_\_\_

Tipo de amostra (simples, composta ou integrada): \_\_\_\_\_

Tipo de amostrador ( calha, pá, trado etc.): \_\_\_\_\_

Condições climáticas (temperatura) no momento da coleta e nas 48h antecedentes: \_\_\_\_\_

Observação visual da amostra (consistência, cor, odor, textura etc.): \_\_\_\_\_

### Parâmetros a serem analisados no laboratório:

análise granulométrica	permeabilidade
caracterização mineralógica	pH
ensaios geotécnicos	resistência à variação do pH
ensaios de lixiviação	retenção de metais pesados (CTC)
enxofre total	teor de matéria orgânica
metais pesados	

Outras observações (p.ex. desenhos esquemáticos, problemas na amostragem etc):

Responsável pela coleta: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Data e hora da entrega do material no laboratório: \_\_\_\_\_