

MÁRCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA

A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO.

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre
em Engenharia.

CONSULTA
FD-3037

São Paulo
2001



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA**

**TERMO DE JULGAMENTO
DE
DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Aos 01 dias do mês de março de 2002, às 14:00 horas, no Departamento de Engenharia de Minas e de Petroléo da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Sérgio Médici de Eston, Orientador da candidata, Lindolfo Soares e Omar Yazbek Bitar, iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do(a) Sr(a) **MÁRCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA**.

Título da Dissertação: "A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO".

Concluída a arguição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o(a) candidato(a):

Prof.Dr. Sérgio Médici de Eston.....(*aprovado*)
 Prof.Dr. Lindolfo Soares.....(*aprovado*)
 Prof.Dr. Omar Yazbek Bitar.....(*aprovado*)

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 01 de março de 2002.
A COMISSÃO JULGADORA

Sérgio Médici de Eston

Lindolfo Soares

Omar Yazbek Bitar

Secretária: Elisabete Ap^a F.S.Ramos *Elisabete Ramos*
 Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 - Imediatamente após o encerramento da arguição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato aprovado ou reprovado.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada 18/03/02.

Dr.:

54290

390836

MÁRCIA ADRIANI JORGE SIQUEIRA

A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO.

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de Mestre
em Engenharia.

Área de Concentração:
Engenharia Mineral

Orientador:
Prof. Titular
Sérgio Médici de Eston

São Paulo
2001

04

A meus pais e irmãos.
Pessoas que estão junto
comigo na estrada da vida.

AGRADECIMENTOS

No decorrer deste trabalho tive a oportunidade de conviver com pessoas que foram importantes seja no aspecto de orientação, sugestões e críticas ou mesmo no convívio diário de cumprimentos, sorrisos e incentivos. A estas pessoas, gostaria de expressar minha gratidão. Todavia, há pessoas às quais não posso deixar no anonimato. Portanto, gostaria de agradecer:

Ao Prof. Titular Sérgio Médici de Eston pela orientação dada e principalmente pela amizade.

Aos amigos e colegas do LACASEMIN Wilson Iramina, Nilson Bartalini e Ana Cristina Magalhães.

À Priscila Figueiredo, Ivo Torres de Almeida e William Whitaker pela amizade e companheirismo de muitos anos.

A Maria Cristina Martinez Bonesio, pela revisão da bibliografia e auxílio na biblioteca. Mas principalmente, pelo carinho, amizade e pelo ombro amigo.

Ao Jorge e ao Tico pela dedicação e amizade.

Aos colegas de pós-graduação, professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Minas pelo convívio amigável.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos amigos do PECE pelo companheirismo e boas conversas.

À Gishia Moreira pela amizade e longas horas no telefone.

Às pessoas mais importantes de minha vida, Janda, Siqueira, Marcio e Katia.

RESUMO

A poluição das águas é um tema bastante amplo que pode ser tratado sob diversas maneiras. Neste trabalho foi realizada uma revisão do tema poluição das águas no ambiente de mineração, dividida em três partes.

Na primeira parte são revistos os conceitos ligados à qualidade das águas. Onde se discorre sobre a poluição das águas em mineração, apresentando as fontes de poluição, os poluentes mais comuns e seu controle. A qualidade das águas é tratada na apresentação dos parâmetros físico-químicos de qualidade. A complementação desta parte, é feita pela revisão da extração de calcário, produção e mercado do cimento.

Na segunda parte é apresentado um procedimento de amostragem de água em mineração. É destacada a importância de se considerar o objetivo da campanha, do meio onde será coletada a amostra e os recursos disponíveis para a decisão sobre a metodologia de amostragem.

Na terceira parte apresenta-se dados de monitoramento de qualidade das águas de abrangência regional, desenvolvido pela CETESB e de medições realizadas neste estudo para a área da mineração de calcário.

ABSTRACT

The water pollution is a very wide theme and it can be treated in many different ways. The water pollution at mining environment was revisited and was divided in three parts in this work.

Concepts associated to the water quality are revisited at the first part. There is a discussion concerning the mining water pollution, presenting the sources, the most common pollutants and its control. The water quality is treated according to the physical-chemical quality parameters. This part is completed by a revision of the limestone's extraction and the cement's market and production.

The water mining sampling are presented in the second part. In this part there are special consideration concerning the importance of the campaign aim, the environment that will be sampled and the available resources to the sampling method decision.

At last, the regional water quality monitoring data, developed by the CETESB, and the limestone mining area measures obtained for this work are presented.

SUMÁRIO

Resumo	
Abstract	
Sumário	
Lista de Figuras	
Lista de Fotos	
Lista de Quadros	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviaturas e Siglas	
Lista de Grandezas e Unidades	
<i>CAPÍTULO 1 – Introdução e Objetivos</i>	1
1.1 – Objetivos	1
<i>CAPÍTULO 2 – Revisão Bibliográfica</i>	3
<i>CAPÍTULO 3 – Poluição da Água</i>	12
3.1 – Conceito de Poluição Ambiental	12
3.2 – Fontes de Poluição	14
3.3 – Efeitos da Poluição	15
3.4 – Poluentes das Águas mais Comuns na Mineração	17
3.5 – Controle da Poluição das Águas	22
3.5.1 – Controle de Água	23
3.5.2 – Revegetação	23
3.6 – Principais Agentes de Poluição das Águas em Mineração	24
3.6.1 – Águas Ácidas de Drenagem	24
3.6.2 – Metais Pesados	25
3.6.3 – Eutrofização e Eutroficação	27
3.6.4 – Desoxigenação	28
3.7 – Tratamento das Águas de Mineração	29
<i>CAPÍTULO 4 – Parâmetros de Qualidade da Água</i>	31
4.1 – Ciclo Hidrológico	32
4.2 – Características Físicas de Qualidade da Água	34

4.2.1 – Cor	34
4.2.2 – Turbidez	35
4.2.3 – Sólidos	36
4.2.4 – Temperatura	37
4.2.5 – Condutividade Elétrica	38
4.3 – Características Químicas das Águas	39
4.3.1 – Potencial Hidrogeniônico – pH	40
4.3.2 – Oxigênio Dissolvido – OD	41
4.3.3 – Dureza	42
4.3.4 – Alcalinidade	43
4.3.5 – Óleos e Graxas	45
4.3.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	45
4.3.7 – Salinidade	45
4.3.8 – Solubilidade	46
4.3.9 – Acidez	47
CAPÍTULO 5 – Legislação Brasileira	48
5.1 – Legislação	48
5.2 – Classificação das Águas	49
5.3 – Índice de Qualidade da Água	51
CAPÍTULO 6 – Lavra de Calcário	56
6.1 – Geologia Regional	56
6.2 – Aplicação do Calcário	59
6.2.1 – Fabricação do Cimento	59
6.2.2 – Calcário Agrícola – Corretivos	68
6.2.3 – Cal Hidráulica	68
6.2.4 – Fundente Siderúrgico	69
6.2.5 – Outros Usos	69
6.3 – A Empresa de Mineração	70
6.3.1 – A Lavra em Céu Aberto e em Subsolo	72
6.3.2 – Drenagem Local	72
6.3.3 – Problemas Devidos a Condicionantes Geotécnicos	77
CAPÍTULO 7 – Procedimento para Amostragem de Águas em Mineração	79
7.1 – Definição do Objetivo	80
7.2 – Pesquisa sobre a Área e Processos	81

7.3 – Localização dos Pontos de Amostragem	82
7.4 – Amostragem de Água	84
7.4.1 – Amostras Simples e Compostas	84
7.4.2 – Amostragem de Água Superficial	85
7.4.3 – Amostragem de Água Subterrânea	86
7.4.4 – Instrumentação	86
7.4.5 – Procedimentos Pós-amostragem	87
<i>CAPÍTULO 8 – Apresentação e Discussão dos Resultados</i>	89
8.1 – Dados Regionais	89
8.1.1 – Análise dos Dados	95
8.2 – Dados Locais	96
8.2.1 – Análise dos Dados	107
<i>CAPÍTULO 9 – Conclusões</i>	109
<i>Referências Bibliográficas</i>	112
<i>Bibliografia</i>	

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Pontos ambientais de controle (DERÍSIO, 1992). _____	22
Figura 4.1 – Ciclo hidrológico (BRASIL, 2000). _____	33
Figura 4.2 – Tamanhos de partículas na água (SPERLING, 1996). _____	35
Figura 5.1 – Níveis atuais e tendências da qualidade das águas interiores do estado de São Paulo. _____	55
Figura 6.1 – Macrocompartimentação geológica do estado de São Paulo (IPT, 1981). _	57
Figura 6.2 – Produção de cimento Portland segundo a região no primeiro semestre de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001). _____	61
Figura 6.3 – Consumo aparente de cimento Portland segundo a região no primeiro semestre de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001). _____	62
Figura 6.4 – Produção de cimento por grupo industrial dados relativos à produção do primeiro semestre de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001). _____	63
Figura 6.5 – Esquema da extração e beneficiamento de calcário em uma mina a céu aberto (CIMENTO, 2000a). _____	64
Figura 6.6 – Homogeneização e moagem da matéria-prima (CIMENTO, 2000b). _____	64
Figura 6.7 – Cozimento da mistura em forno rotativo (CIMENTO, 2000b). _____	65
Figura 6.8 – Esquema de moagem e envazamento do clínquer (CIMENTO, 2000b). ____	65
Figura 8.1 – Mapa de localização dos pontos de amostragem da UGRHI 10 – Sorocaba e Médio Tietê (CETESB, 2000). _____	91
Figura 8.2 – Mapa de localização dos pontos de medição na mineração de calcário. ____	98

LISTA DE FOTOS

Foto 6.1 – Vista aérea da mineração. _____	71
Foto 6.2 – Lavra em bancadas na mina Pastinho. _____	73
Foto 6.3 – Trecho do rio onde se observa o revestimento das margens. No canto direito inferior, observa-se o detalhe do revestimento das margens e o divisor de canais (Data: maio/99). _____	74
Foto 6.4 (a) – Lagoa cheia no fundo da cava da mina Baltar a céu aberto. _____	75
Foto 6.4 (b) – Lagoa seca no fundo da cava da mina Baltar. Atenção para o carro de passeio, abaixo da seta, usado como escala. A seta indica o nível máximo atingido pela lagoa. _____	75
Foto 6.5 – Talude da cava da mina Baltar céu aberto. _____	76
Foto 6.6 – Água bombeada da mina subterrânea e canaleta. _____	77
Foto 8.1 – Turbidez em mistura de águas superficiais e subterrânea, em ponto localizado ao lado da casa de bombas. _____	100
Foto 8.2 – Sonda HORIBA, modelo U-10. _____	101

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Poluentes mais comuns em mineração (SÁNCHEZ, 1994b).	19
Quadro 4.1 – Impurezas mais freqüentes encontradas nas águas naturais (PORTO <i>et al.</i> , 1991).	31
Quadro 4.2 – Valores de condutividade elétrica para água a 25 °C (BOLETIM IG, 1993).	38
Quadro 4.3 – Classificação das águas segundo a dureza (SAWYER, 1993 ; PIVELLI, 1996).	43
Quadro 4.4 – Solubilidade de alguns sais com a temperatura – g/kg (SCHOLLER, 1962 <i>apud</i> BOLETIM IG, 1993).	46
Quadro 5.1 – Limites e/ou condições para definição das classes de água, segundo Resolução CONAMA nº 20/86.	50
Quadro 5.2 – Limites e/ou condições para definição das classes de água, segundo Resolução CONAMA nº 20/86.	51
Quadro 6.1 – Classificação de rochas calcárias (BIGARELLA, 1956 <i>apud</i> HASUI, 1977).	67
Quadro 7.1 – Matriz de parâmetros de qualidade da água versus fases de um empreendimento mineiro (NBR 12.649).	75
Quadro 8.1 – Índice de qualidade das águas – IQA (CETESB, 2000).	92
Quadro 9.2 – Resultados dos parâmetros analisados para o ponto SOIT 02 900 (CETESB, 2000).	93
Quadro 9.3 – Resultados dos parâmetros analisados para o ponto SORO 02 100 (CETESB, 2000).	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 8.1 – Periodicidade da medição de parâmetros de qualidade da água.	99
Tabela 8.2 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-01.	102
Tabela 8.3 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-02.	102
Tabela 8.4 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-03.	103
Tabela 8.5 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-04.	103
Tabela 8.6 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-05.	104
Tabela 8.7 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-06.	104
Tabela 8.8 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-07.	105
Tabela 8.9 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-08.	105
Tabela 8.10 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-09.	106
Tabela 8.11 – Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-10.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
atm – Atmosfera
BDMG – Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais S.A.
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM – Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
DBO₅ – Demanda bioquímica de oxigênio cinco dias
DBO_{5,20} – Demanda bioquímica de oxigênio, cinco dias, a temperatura de vinte graus centígrados
EUA – Estados Unidos Americano
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas S.A.
IQA – Índice de Qualidade de Água
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora da Associação Brasileira de Normas Técnicas
OD – Oxigênio Dissolvido
pH – Potencial hidrogeniônico
qtde. – quantidade

LISTA DE GRANDEZAS E UNIDADES

mg/L – miligramas por litro
mL/L – mililitro por litro
UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez
Pt/L – platina por litro
°C – grau centígrado
mL – mililitro
g/cm³ – gramas por centímetro cubico
mg/L Pt – miligrama por litro de platina
uC – unidade de cor
uH – unidade Hazen
µm – micrômetro
% – porcentagem
‰ – por mil
g/kg – grama por quilograma
kcal – quilo caloria
km - quilometro
t/ano – tonelada por ano
kg – quilograma
mm – milímetros
µmho/cm – micro ohms por centímetro

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A água está presente em múltiplas atividades do homem, sendo crescente sua necessidade para acompanhar o aumento populacional. Algumas das utilizações afetam a qualidade da água, que se restituída aos meios naturais sem tratamento prévio, torna-se imprópria para uso e nociva ao próprio ambiente.

O excesso ou a escassez de água em um ambiente de mineração podem causar a alteração dos níveis freáticos, a erosão dos solos e efeitos na corrente e leitos de cursos de água e zonas marginais.

Na resolução destes problemas, surgem freqüentemente interesses antagônicos baseados nas crescentes necessidades de água, na limitação dos recursos hídricos, no conflito entre alguns usos e nos prejuízos causados pelo uso inadequado e não controlado, justificando o gerenciamento do uso da água e a definição de uma política de desenvolvimento econômico-social.

Com a necessidade de controle do impacto causado sobre as águas, faz-se necessário o investimento no controle da poluição ambiental e na própria preservação do meio ambiente, usando técnicas que permitem o conhecimento da interação entre o meio físico e os processos de extração e beneficiamento mineral.

Uma das formas de controle utilizadas, é a realização de campanhas de amostragem de água que possibilitam a quantificação do impacto.

1.1 – Objetivos

O presente trabalho teve por objetivo o desenvolvimento de um estudo sobre a poluição das águas em ambiente de mineração. Os estudos foram divididos em três etapas:

- uma revisão bibliográfica do tema água na mineração;
- um procedimento de amostragem de água;

- uma apresentação de dados levantados em uma mineração de calcário.

O desenvolvimento deste trabalho se deu pelo levantamento dos possíveis impactos ocasionados por um ambiente de extração mineral sobre a coleção hídrica local, elencando-se informações sobre os parâmetros de qualidade da água, o problema da poluição em mineração e as técnicas geralmente adotadas para sua contenção.

Em função da escolha de uma mineração de calcário localizada na região sul do estado de São Paulo, para a realização do estudo, foi apresentado um resumo do processo produtivo de cimento, bem como a situação do mercado cimenteiro nacional.

Com a realização desta revisão bibliográfica, pretendeu-se dar base ao estabelecimento de um procedimento de amostragem de água superficial na mina em questão.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada abaixo, não tem a pretensão de ser completa, mas sim de apresentar algumas obras relevantes para o tema abordado.

O início do século passado marcou o aparecimento de leis de combate à poluição, que tinham caráter corretivo, voltando-se essencialmente para o controle da poluição decorrentes das atividades de produção, particularmente a produção industrial (SÁNCHEZ, 1998).

SÁNCHEZ (*op. cit*) destaca que a mineração, só nos últimos anos passou a trabalhar com o conceito de ciclo de vida e a necessidade de elaboração de um plano para desativação da mina antes de sua própria instalação. Desenvolvendo planos de encerramento, que visam “anular o passivo ambiental desenvolvido durante as fases de abertura e operação da mina ou sítio de disposição de resíduos”.

A implantação do gerenciamento ambiental tem possibilitado o controle da poluição ocasionada pelos empreendimentos minerais. Isto porque passou-se a controlar quantitativa e qualitativamente as águas utilizadas na atividade mineral. Determinando-se o uso de “circuito fechado de água” para o beneficiamento de minerais que, em parte, é realizado por via úmida.

Além da água utilizada no processo mineral, SÁNCHEZ (1994b) considera que a intensidade do impacto ambiental alcançado por um empreendimento e sua extensão local ou regional, “(...) depende do porte do empreendimento, de sua localização e das características ambientais e sociais do entorno, além das características da jazida e da tecnologia de lavra e tratamento utilizada”.

Determinando que as especificidades da mineração sob o ponto de vista ambiental, são específicas ao setor como um todo.

SÁNCHEZ (*op. cit*) apresenta duas formas possíveis de classificar os efeitos de impacto ambiental. A primeira considera a fase do projeto – prospecção, pesquisa mineral, desenvolvimento (implantação), operação e desativação.

A segunda, bem mais abrangente, considera os tipos de problemas gerados, que podem ser divididos em impactos:

- que representam um risco direto à segurança do homem, decorrentes de acidentes cuja origem podem estar em erros de projeto, ocorrência de situações imprevistas ou simplesmente ignoradas;
- que representam uma ameaça indireta à saúde do homem, tais como poluição das águas, do ar e do solo;
- que podem acarretar danos a propriedade e a outros bens materiais, causando uma perda econômica direta. São os casos de efeitos e impactos ambientais que costumam originar queixas e, as vezes, ações na justiça;
- que podem ocasionar o desconforto ambiental, problemas de ordem cultural, estética, sentimental e outros. Este é o caso do incômodo causado pelo ruído e sobrepressão de ar, tráfego de caminhões, da alteração da paisagem, etc..

Esta abordagem permite considerar dois problemas ocasionados apenas pela presença da água na mineração e não a interface água/minério. O primeiro, ligado às condições de operação da mina, que diz respeito a manutenção das condições adequadas de trabalho tanto a céu aberto quanto em subsolo. Onde a construção de um sistema de drenagem, possibilita efetuar a captação, transporte e lançamento de água no meio de modo que a integridade dos terrenos e as características dos corpos d'água receptores sejam preservadas. Obtendo-se o controle da erosão, da qualidade física e química dos corpos d'água receptores e a minimização do assoreamento.

O segundo problema ligado ao gerenciamento das interferências causadas sobre o meio pelo lançamento de águas poluídas, deveria possibilitar o máximo reaproveitamento da água utilizada no processo industrial, diminuindo a quantidade de água em circulação, excluindo do processo águas com características tais que não afetem negativamente a qualidade do corpo d'água receptor.

Uma solução simples para estes dois problemas seria a construção de um sistema de drenagem e implantação de um sistema de recirculação da água industrial.

A evolução do estudo de qualidade das águas e legislação pertinente nos Estados Unidos é apresentada por ORTOLANO (1997), que também discorre sobre o

ciclo hidrológico e suas fases, relacionando a forma como se dá a precipitação, com a infiltração e o escoamento das águas superficiais, e com a inundação decorrente da impermeabilização dos solos e do mal dimensionamento das redes de captação de água. Onde ressalta o fato de que a permeabilidade dos solos é particular para cada tipo de solo/substrato, sendo portanto diferente para cada bacia hidrográfica.

ORTOLANO (1997) discorre sobre o grande número de parâmetros usados para a avaliação da qualidade das águas, desde a presença de bactérias e protozoários, sólidos dissolvidos e em suspensão, até oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e substâncias tóxicas como os metais e pesticidas. Ressaltando a necessidade de relacionar os impactos ocasionados ao empreendimento, através de uma análise detalhada do meio afetado.

Para as áreas de mineração, ORTOLANO (*op. cit*) destaca a possibilidade de ocorrência de erosão devido ao escoamento das águas de chuva por áreas desnudadas e sem sistemas de drenagem, causando o arraste de partículas para as drenagens naturais, ocasionando a poluição dos rios ao lançar metais e partículas ocasionando o assoreamento do corpo d'água.

Trata também de modelos hidrológicos para simulação de transporte de poluentes por águas subterrâneas e do ciclo hidrológico.

Para DOWN & STOCKS (1978), a água é um dos recursos naturais mais abundantes da terra e que pode ser colocado seriamente em risco pelas atividades de mineração. As águas utilizadas pela indústria mineral correspondem a uma pequena parte das águas influenciadas pela mineração, e quando se trata da relação água/mineração, os maiores problemas dizem respeito à influência que a atividade mineral pode exercer sobre a qualidade e quantidade de água na bacia hidrográfica em que se localiza o empreendimento.

DOWN & STOCKS (*op. cit*) destacam os processos da mineração que tem potencial poluidor, como o desmonte hidráulico, o beneficiamento e o transporte realizados em via úmida, bombeamento do lençol subterrâneo e as atividades gerais como a lavagem de máquinas e equipamentos, o uso sanitário e em refeitório. A quantidade de água usada varia consideravelmente em função do porte do empreendimento, do processo empregado, do tipo e da quantidade de minério processado e da disponibilidade de água.

Assim, DOWN & STOCKS (1978) definem:

- água nova como a que vai ser utilizada pela primeira vez no circuito;
- água de recirculação, como a água de reuso que após tratamento volta ao circuito;
- água total, como a água nova mais a água de recirculação;
- água consumida, como a água incorporada ao produto ou perdida por vazamento e evaporação;
- água de descarga, como a água excluída do circuito e descarregada no receptor.

Tratam ainda da necessidade de controle da poluição das águas, exercido através do monitoramento do volume e qualidade da água que circula pela mina e da que é descarregada na drenagem local, visando minimizar os impactos causados pela mineração sobre os corpos d'água locais e regionais.

GUIMARÃES (s.d.)¹ considera que o volume de água consumido pela mineração é muito pequeno quando comparado com outras atividades. Este autor destaca que a mineração através de seus despejos, afeta um volume de água muito maior que o consumido em seu processo de lavra e tratamento, causando influência biológica, destruição de paisagens, esterilização dos fundos dos reservatórios e inutilização das águas para seus usos principais.

Ao tratar da origem das águas, o autor discorre sobre o ciclo hidrológico, destacando a infiltração de água, a variabilidade da geologia de subsuperfície e da água subterrânea. Em seguida, passa a tratar das águas presentes na área da mineração, destacando a dificuldade de quantificar e reconhecer os principais problemas ocasionados pelas águas na empresa mineral. Ele propõe que o volume de água que entra no sistema, seja avaliado através da precipitação pluviométrica, da experiência de outras minerações/empresas da região, da presença de fontes e da observação do nível estático dos poços profundos e da constatação de camadas geologicamente aquíferas.

¹ A bibliografia consultada não tem o ano de publicação. Quando consultada a bibliografia da obra, pode-se concluir que sua publicação tenha sido no ano de 1978.

Na mineração subterrânea, GUIMARÃES (s.d.) destaca a dificuldade de avaliar a presença das águas que podem ser interceptadas pela rede de galerias, túneis e poços. Estas águas interceptadas podem ser o resultado:

- da infiltração e percolação das águas superficiais somadas às águas de origem profunda e de camadas aquíferas;
- das invasões de águas de rios, lagos, pântanos, mares e de água de cobertura e de água confinada;
- das invasões de águas de cavernas moldadas em rocha calcária;
- da invasão por condutores formados por falhas geológicas;
- do escoamento pela permeabilidade própria da litologia local;
- das águas magmáticas;
- da ação do homem, resultando na abertura de poços e galerias, de minas abandonadas e inundadas, da subsidência de terrenos, da drenagem mal planejada, etc..

Para o autor, as águas provenientes do abastecimento das instalações industriais e das aglomerações urbanas de suporte aos trabalhos de mineração, são facilmente avaliáveis em função dos consumos unitários industriais, da mão de obra prevista a ser localizada nas imediações da mina e dos índices normais de consumo *per capita* em centros urbanos.

Ao tratar da qualidade das águas originadas na empresa mineral, considera que as águas provenientes de minas a céu aberto e subterrânea apresentam composição semelhante às águas profundas da região. Logicamente a mineralização presente e a litologia das rochas encaixantes do depósito mineral acentuam a participação de certos elementos na composição química das águas sem tirá-las dos grupos típicos da região.

O autor passa então a tratar do uso da água nos mais diversos serviços e operações de uma mineração, tratando da pesquisa mineral, da lavra de minério, do tratamento e transporte, do abastecimento de vilas, escritórios, oficinas, etc..

GUIMARÃES (s.d.) enquadra as diferentes categorias de águas de acordo com o proposto por DOWN & STOCKS (1978) e trata da poluição das águas segundo as substâncias poluidoras, destacando a combinação de “agentes de poluição

das águas” que são mais freqüentes e mais danos provocam ao ecossistema como as águas ácidas, a eutroficação, a desoxigenação e a poluição por metais pesados.

Os poluentes lançados pela empresa mineral podem afetar organismos aquáticos e organismos mais evoluídos, como o homem, em termos de dano à saúde e de outros inconvenientes.

Para GUIMARÃES (s.d.), a exigência fundamental para o sucesso das medidas de controle das águas poluidoras é o conhecimento da quantidade e qualidade de todas as águas que possam, de alguma maneira, ser afetadas pela mineração, do volume das águas circulantes na lavra e no tratamento de minérios e da qualidade destas águas após seus usos.

Assim, ele coloca a necessidade de adoção de programas de controle a serem definidos em função das características geológicas da área de implantação da mineração, do valor de fundo local (*back ground*), da previsão dos efeitos causados pela mineração, das possibilidades de usos das águas e parâmetros de controle da qualidade das águas.

Este autor termina seu trabalho tratando da necessidade de adoção do controle hidrológico das águas naturalmente prejudiciais, de seu adequado tratamento e do reuso das águas poluídas quando estas não puderem ser evitadas.

Já SCARLAT (1995) trata da interface água-minério, ressaltando as características da água como um elemento mineral e a “presença mecânica da água-minério”, destacando a interação entre a água e as partículas sólidas em suas diferentes dimensões.

No livro coordenado por REBOUÇAS *et al.* (1999), é feito um levantamento do uso da água doce no Brasil, abrangendo temas como a irrigação de áreas agrícolas, o uso industrial, a geração de energia e o transporte fluvial.

Neste trabalho, os autores relacionam as características de qualidade das águas ao seu uso e a poluição hídrica ocasionada. Em algumas partes do trabalho, os autores levantam o reuso das águas, sua necessidade, as formas potenciais de reuso e os benefícios atingidos com sua aplicação.

Segundo CONSTANZO JÚNIOR (1985), a água subterrânea absorve parte das pressões oriundas do peso das massas rochosas, exercendo grande importância

sobre a estabilidade dos taludes. Por isso, é de grande importância a variação do nível d'água no maciço em função da pluviometria.

Para CONSTANZO JÚNIOR (1985) as informações sobre as características hidrogeotécnicas do maciço em várias profundidades, são necessárias para qualquer análise de estabilidade. Sendo que a determinação das características hidrogeotécnicas do maciço deve-se dar através do:

- acompanhamento das oscilações dos níveis freáticos através de medidores de nível d'água ou piezômetros instalados nos taludes;
- medidas de nível d'água em furos de sondagem;
- informações sobre umidade e pontos de vazão nas paredes da escavação;
- informações pluviométricas no local.

Estas informações fornecem uma indicação importante sobre as condições de drenabilidade do maciço, que deve ser executada sem ocasionar danos ao meio físico.

A ocorrência de alguns “desastres ecológicos” na região de Vazante, Minas Gerais, são descritos por ASSIS (2001) como tendo sido causados pelo rebaixamento do lençol freático para o desenvolvimento de uma mineração subterrânea de zinco.

ASSIS (*op. cit*) descreve que a região de desenvolvimento da mineração é formada por “(...) subsolo calcáreo, caracterizado por reentrâncias porosas e cavernas, além de um dos maiores lençóis aquíferos do país.”

Com o desenvolvimento da mineração, a água começou a penetrar na mina, sendo então bombeada e lançada no corpo hídrico local. Como consequência do bombeamento, ASSIS (*op. cit*) relata:

- a mudança do curso natural das águas subterrâneas, ocasionando o “desaparecimento de duas lagoas (...)”;
- a dissolução e subsidência do solo nos locais mais vulneráveis, formando dolinas e sumidouros;
- a contaminação do corpo hídrico local, devido ao lançamento de 7.500 m³/h de água bombeada da mina subterrânea, ocasionando a turbidez e assoreamento do rio local, além de sua contaminação química.

Estes e outros impactos ocasionados sobre o meio físico são considerados por IPT (1992) como possíveis de ocorrer em menor ou maior escala, como consequência das alterações causadas pela atividade de mineração. Os autores consideram ainda as alterações possíveis por outras atividades. Mas, aqui trataremos apenas daquelas oriundas da mineração e da implantação de canal e/ou desvio de drenagem, muitas vezes necessária para que ocorra a extração mineral.

IPT (*op. cit*) em trabalho para aplicação em Estudo de Impacto Ambiental, coloca que para estudar o impacto ambiental causado por determinada atividade é necessário prever as alterações que os processos do meio físico, biológico e sócio-econômico podem sofrer ao ocorrer a intervenção de um processo tecnológico de uma dada atividade.

Analisando os impactos causados ao meio físico, diretamente ligados aos ciclos geológicos, IPT (*op. cit*) detalha as diferentes etapas de desenvolvimento da atividade modificadora do meio ambiente evidenciando as possíveis alterações no meio físico e sua magnitude. Assim, apresenta uma matriz com informações básicas, indicativas, sintéticas e essencialmente qualitativas, contemplando os processos do meio físico mais freqüentes e os mais intensamente alterados por uma dada atividade.

A análise realizada para os processos, considera a fase do empreendimento (implantação, funcionamento e desativação), as etapas que compõem cada fase (processo tecnológico empregado) e o processo do meio físico impactado.

A implantação de um empreendimento de mineração irá causar impactos transitórios, relacionados à remoção da vegetação e movimentação de solo. Na fase de abertura de acessos, pode ocorrer o incremento do processo erosivo, o assoreamento de corpos d'água, a modificação no volume e escoamento das águas superficiais e subsuperficiais, além da erosão eólica de encostas.

Durante sua fase de funcionamento, os impactos potenciais tem maior intensidade, atuando durante toda sua vida útil, no desenvolvimento do processo erosivo hídrico e eólico, de escorregamentos ou desmoronamentos, alterações no volume e no escoamento de águas superficiais e subsuperficiais diminuindo a infiltração, assoreamento de corpos d'água, maior vulnerabilidade de aquífero, rebaixamento de aquífero, intensificação nas interações físico-químicas, potencialização da contaminação do solo e água dentre outras.

A fase de desativação do empreendimento, deve ser programada para possibilitar o uso da área por outra atividade. Assim, todas as medidas adotadas, devem garantir a estabilização dos processos do meio físico ao longo do tempo.

IPT (1992) considera que a implantação e funcionamento de um canal ou retificação de cursos d'água, irá operar pela alteração no processo natural de escoamento, potencializando a erosão pela água, alteração no volume e escoamento de águas subsuperficiais devido à diminuição na infiltração de água. Estas alterações, podem ser controladas ao longo da utilização do canal.

CAPÍTULO 3

POLUIÇÃO DA ÁGUA

O meio em que vive o homem, por receber os resíduos gerados pelo desenvolvimento das atividades necessárias à vida, encontra-se sujeito a todo tipo de poluição. Assim, as águas recebem os efluentes domésticos, industriais e outros subprodutos da atividade humana. Como resultado, ocorre a poluição física, a fisico-química, a mineral e a orgânica.

Os poluentes oriundos da atividade de mineração, permitem identificar sua origem, os impactos possíveis e antecipadamente, definir as medidas de controle. Tudo isso, em função do conhecimento do bem mineral extraído, da tecnologia empregada, do porte do empreendimento e do conhecimento de seu entorno.

3.1 – Conceito de Poluição Ambiental

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972, definiu meio ambiente como o sistema físico e biológico global em que vivem o homem e outros organismos – um todo complexo com muitos componentes interagindo em seu interior (ROVERE, 1990).

Esta definição inclui o homem como parte integrante do meio ambiente e, portanto, sujeito a impactos sociais e ambientais originados, na maior parte das vezes, por atividades desenvolvidas para suprir suas necessidades de alimentação, moradia, conforto, etc..

O impacto ambiental ocorre como uma alteração, que pode ser favorável ou desfavorável, no meio ambiente ou em algum de seus componentes, produzida por uma determinada ação ou atividade (BOLEA, 1984 *apud* ROVERE, 1990).

Assim, o impacto ambiental pode ser entendido como uma reação às atividades ou ao conjunto de ações desenvolvidos em uma área.

Os impactos ambientais podem ser diretos ou indiretos, manifestando-se a curto ou a longo prazo, serem de curta ou longa duração, reversíveis ou irreversíveis, de

natureza cumulativa ou sinérgicos, o que dificulta sua identificação e avaliação. Por exemplo, certos efeitos podem ser observados a curto prazo, desaparecendo em seguida e depois voltarem a ocorrer (dinamismo dos impactos). Alguns fatores produzem conjuntamente um efeito resultante que é diferente da soma das contribuições de cada fator isolado (sinergismo).

A Resolução CONAMA nº 001 de 1986, em seu artigo 1º, considera como “impacto ambiental, qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.”

Assim, o impacto ambiental pode ser considerado como sendo a estimativa ou julgamento do significado e do valor da alteração dos sistemas naturais e da qualidade ambiental, para os meios natural, sócio-econômico e humano, como resultado de uma atividade econômica.

Mas, para que ocorra o impacto ambiental, é necessária a introdução no meio de um elemento ou conjunto de elementos, que promovam as alterações nas condições do meio. Assim, surge a definição de poluição que significa qualquer forma de matéria ou energia lançada ao meio ambiente que possa afetar negativamente o homem ou outros organismos, através da degradação do meio (SÁNCHEZ, 1994a ; DOWN & STOCKS, 1978).

Segundo definição presente na Lei Estadual nº 997/76, para que ocorra a poluição do meio ambiente, é necessário o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade, em concentração ou com características em desacordo com as que forem estabelecidas em decorrência desta lei, ou que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à flora e à fauna; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade.

Assim, um corpo d'água estará poluído se apresentar concentrações de substâncias químicas, partículas sólidas ou efluentes com temperatura elevada suficientemente diferentes das condições naturais para causar uma modificação das

condições do habitat, tornando-o danoso às comunidades aquáticas ou prejudiciais à saúde do homem (SÁNCHEZ, 1994b).

A atividade extrativa mineral, agride fisicamente a natureza, extrai-lhe recursos que não se renovam e deixa efeitos cuja recomposição, cessada a atividade produtiva, é difícil – senão impossível (BRITO, 1978).

3.2 – Fontes de Poluição

A água, como encontrada na natureza, contém gases dissolvidos e sais minerais. Quando esta condição natural é alterada pela introdução de elementos indesejáveis, subprodutos das atividades humanas, caracteriza-se o estado de poluição (SILVEIRA & SANT'ANNA, 1990). Portanto, a poluição das águas está associada ao seu uso e à ocupação do solo.

Como subproduto das atividades humanas, entende-se os efluentes domésticos, os industriais, o deflúvio superficial urbano, o agrícola e o de mineração. Cada uma destas fontes de poluição apresenta características próprias quanto aos poluentes que geram.

Os esgotos domésticos apresentam contaminantes orgânicos biodegradáveis, nutrientes, bactérias, óleos, graxas e detergentes. Já as indústrias, produzem uma maior variabilidade de contaminantes que dependem das matérias-primas e dos processos industriais utilizados.

Em geral, o deflúvio superficial urbano contém todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Quando da ocorrência de chuvas, os materiais acumulados em valas, bueiros, etc., são arrastados pela enxurrada para os cursos d'água superficiais, constituindo uma fonte de poluição tanto maior quanto mais deficiente for a limpeza pública.

O deflúvio agropastoril tem características próprias. Os efeitos do deflúvio agrícola dependem muito das práticas agrícolas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam a preparação do terreno para o plantio, a aplicação de defensivos agrícolas e a colheita. A contribuição representada pelo material proveniente da erosão de solos intensifica-se quando da ocorrência de chuvas em áreas rurais (CETESB, 1998). Também os líquidos provenientes das instalações de armazenagem de produtos agrícolas e, principalmente, de forragens para animais, constituem uma

ameaça bastante séria de poluição orgânica. Outra grande fonte de poluentes é a pecuária, onde os animais geram uma quantidade de detritos que ultrapassam os de origem humana.

Como resultado da atividade de mineração sobre as águas, pode-se ter o assoreamento dos rios, o rebaixamento do lençol subterrâneo, a alteração do volume de água superficial disponível e a poluição das águas pelo lançamento de efluentes oriundos do beneficiamento mineral.

Outro tipo de poluição que merece destaque, é a poluição natural, causada por chuvas e escoamentos superficiais, salinização, decomposição de vegetais e animais mortos, erupção de vulcão, etc.. Este tipo de poluição, não é associado às atividades humanas e costuma fugir ao alcance de medidas controladoras diretas.

Inicialmente, a poluição das águas é percebida pelas alterações estéticas como cor, odor ou sabor desagradável, necessitando-se da realização de análises para a identificação e avaliação da porcentagem dos compostos presentes e seu efeito sobre o homem ou suas atividades.

Sendo a poluição o resultado indesejável das ações de transformação do homem sobre o meio ambiente, ela precisa ser controlada e, para isso, quantificada. Assim, surge a necessidade de classificação e identificação quantitativa dos elementos indesejáveis.

3.3 – Efeitos da Poluição

Para efeito de estudo, é conveniente agrupar as diferentes modalidades de poluição das águas em classes distintas, segundo suas características de atuação. Assim, temos a poluição física, a físico-química e a orgânica.

A poluição física encontra-se associada, em sua maior parte, aos sólidos na água, o que pode trazer modificações de cor, turbidez e alterações de temperatura do meio aquático. A modificação da cor pode dificultar a penetração da luz. O incremento da turbidez pode causar a precipitação e o soterramento de pequenos organismos e partículas que servem de alimento à fauna e ainda modificar as condições de reprodução, além de soterrar pequenos organismos. O lançamento de despejos muito aquecidos, pode aumentar a capacidade tóxica de certas substâncias, reduzir a

capacidade da água de dissolver e reter oxigênio e subsequente aumento da atividade fisiológica dos organismos aquáticos.

A poluição físico-química das águas envolve a variação do pH, a radioatividade, as alterações na sua tensão superficial e a modificação da pressão osmótica. A variação do pH pode exercer grande influência sobre a toxicidade de certos compostos, como amônia, metais pesados e gás sulfídrico. O maior perigo que advém do lançamento de despejos radioativos num manancial é a possibilidade de os radioisótopos se acumularem nos organismos mais resistentes a sua ação deletéria, como, por exemplo, os peixes, e alcançarem as populações humanas que deles se alimentam. As células de qualquer organismo vivo possuem uma dada quantidade de sais dissolvidos, que lhes confere um certo valor osmótico. Tais células, quando colocadas em ambiente líquido, podem perder água se a concentração salina do meio for maior do que da célula ou absorver água, se o ambiente possuir menor salinidade que a célula. Esta condição, se extrema, pode causar o rompimento da parede da célula levando-a à morte. A redução da tensão superficial da água, causada pelo despejo de detergentes, além do efeito tóxico sobre os peixes, pode dificultar a troca de oxigênio entre água e ar, diminuindo a capacidade do corpo hídrico de estabilizar compostos orgânicos e prejudicando a capacidade de locomoção de muitos animais aquáticos.

A poluição mineral, causada pelo lançamento de compostos minerais, constitui fonte de poluição físico-química através da modificação do pH e do valor osmótico, podendo afetar quimicamente o manancial através do efeito tóxico ou como fonte de nutrientes, permitindo a proliferação intensa de organismos vegetais.

Os poluentes orgânicos são classificados em biodegradáveis e biorresistentes. Quando a molécula está sujeita a um processo de quebra por microorganismos, no qual haverá consumo de oxigênio como é o caso das proteínas, carboidratos e gorduras, temos os biodegradáveis (SÁNCHEZ, 1994b). Os poluentes biorresistentes, ao contrário dos biodegradáveis, não são passíveis de degradação biológica ou o são em grau muito reduzido e têm ação predominantemente tóxica, como acontece com os fenóis e os agrotóxicos (SILVEIRA & SANT'ANNA, 1990).

3.4 – Poluentes das Águas mais Comuns na Mineração

As atividades de mineração podem causar impacto direto e indireto nas águas subterrâneas.

O impacto direto pode ocorrer devido ao lançamento de poluentes em superfície ou subsuperfície, que são carregados para o aquífero através da recarga natural (água de chuva) ou da recarga forçada (infiltração).

Já o impacto indireto ocorre devido a uma transformação no ambiente hidrogeológico, como por exemplo a remoção de uma capa de turfa ou de argila do topo de uma formação aquífera, como o efetuado pela extração de argila ou areia em cavas. Este tipo de interferência reduz sobremaneira a espessura da camada não-saturada e aumenta a vulnerabilidade natural dos aquíferos. Outros tipos de impactos indiretos, como as interferências em captações de água, podem ocorrer com o rebaixamento do nível piezométrico ou a intercomunicação entre um aquífero de qualidade de água inadequada com outro de boa qualidade.

Entre a superfície do solo e o lençol freático existe uma camada denominada camada não-saturada, que desempenha um papel de grande importância na transferência dos poluentes. Nesta camada ocorrem fenômenos de adsorção, absorção, troca iônica e reações químicas que transformam e retardam a movimentação dos elementos que circulam através da mesma, atuando assim, como um filtro.

A mineração, quando comparada com atividades industriais e agrícolas, não é uma grande consumidora de água. Em alguns casos, o excesso de água presente na área de desenvolvimento da mineração, é que se torna um problema e, a solução adotada é, geralmente, o descarte de grandes volumes de água.

Segundo SÁNCHEZ (1994b), na maioria das vezes, os problemas ocasionados pelo descarte das águas indesejáveis na mineração, tem efeitos locais, ocasionalmente regionais. Esta interferência, pode ser tanto sobre a quantidade como sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Quando se considera a singularidade de cada empreendimento de mineração e o ambiente no qual se insere a mina, têm-se um conjunto de variáveis que faz com que a degradação ambiental seja também única.

Ainda assim, encontra-se alguns poluentes presentes em praticamente todas as minas e outros, comuns a um conjunto de empreendimentos com características similares.

Em geral, os rejeitos líquidos gerados pela indústria mineral diferem segundo o bem explorado. Desta forma, os rejeitos líquidos da mineração de carvão são ácidos e portadores de suspensões negras e sulfetadas. Já a mineração dos metálicos tem como principal característica, a carga sólida composta por porcentagens de reagentes orgânicos e elementos metálicos. A mineração dos não-metálicos emite águas, quer em tipo como em quantidade, com carga sólida muito diversificada.

Naturalmente, para que um elemento em particular constitua-se numa substância poluidora, é necessário a interação de fatores como a natureza do poluente, sua concentração no eflúvio, a carga total descarregada e a capacidade do corpo d'água receptor assimilá-lo ou não.

SÁNCHEZ (1994b), descreve alguns poluentes mais freqüentemente encontrados na mineração e seus principais impactos ambientais. Apresenta também as principais medidas de controle que podem ser empregadas para reduzir estes impactos. O Quadro 3.1 resume estes dados.

Nas águas da mineração, é comum um teor elevado de sólidos dissolvidos como cloretos, nitratos, fosfatos, sulfatos de sódio, cálcio, magnésio, ferro e manganês, incorporados às águas pelo contato com rochas e resíduos de explosivos. Seus efeitos variam com a concentração e a permanência. Assim, as baixas concentrações de nitratos e de fosfatos são nutrientes mas, a alta porcentagem desses sais pode ocasionar um rápido crescimento das algas, o que provoca a desoxigenação das águas, fator essencial a vida. A presença de cloro acima de 100 mg/L nas águas pode matar algumas espécies de peixes e certas plantas aquáticas, ainda que alguns peixes tolerem até 6.000 mg/L em suas águas.

Os bicarbonatos, os sulfatos e os cloretos de cálcio e magnésio dão origem a dureza das águas, podendo torná-las inaceitáveis para o uso industrial e doméstico quando não tratadas. Sais solúveis de ferro e alumínio podem reagir quando em condições alcalinas, produzindo precipitados insolúveis de hidróxidos, que geram problemas quanto a potabilidade e ao aspecto.

Quadro 3.1 – Poluentes mais comuns em mineração (SÁNCHEZ, 1994b).

Poluente	Origem	Efeitos/Impactos	Indicadores	Limites Admissíveis		Medidas de Controle
				Efluentes	Classe 2	
Partículas sólidas	<ul style="list-style-type: none"> - drenagem - focos de erosão - efluentes do beneficiamento 	<ul style="list-style-type: none"> - aumento da carga de sedimentos dos cursos d'água - diminuição da luminosidade - assoreamento dos cursos d'água, favorecendo a ocorrência de inundações - soterramento de comunidades bentônicas - diminuição da produtividade primária (devido à redução da fotossíntese) 	<ul style="list-style-type: none"> - sólidos em suspensão dissolvidos sedimentáveis totais - turbidez - cor 	<ul style="list-style-type: none"> 10-20 mg/L* 	<ul style="list-style-type: none"> - - - - 	<ul style="list-style-type: none"> - implantação de sistema de drenagem visando minimizar a quantidade de água que circula na área de operação - bacia de decantação - floculação
				<ul style="list-style-type: none"> 1 ml/L - 100 UNT 	<ul style="list-style-type: none"> 75 Pt/L 	
Óleos e graxas	<ul style="list-style-type: none"> - vazamentos de combustíveis e lubrificantes nas áreas operacionais - oficinas mecânicas - áreas de lavagem de equipamentos 	<ul style="list-style-type: none"> - pode interferir na oxigenação de águas paradas - pode cobrir as guelras dos peixes e afetar outros organismos - esteticamente inconveniente 	<ul style="list-style-type: none"> - teor de óleos e graxas minerais 	<ul style="list-style-type: none"> 20 mg/L 	<ul style="list-style-type: none"> virtualmente ausentes 	<ul style="list-style-type: none"> - caixas separadoras de óleos
Ácidos	<ul style="list-style-type: none"> - minérios sulfetados 	<ul style="list-style-type: none"> - acidificação das águas - solubilização de metais 	<ul style="list-style-type: none"> - pH 	<ul style="list-style-type: none"> 6 - 9 	<ul style="list-style-type: none"> 5 - 9 	<ul style="list-style-type: none"> - neutralização
Reagentes orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> - flotação de minerais 	<ul style="list-style-type: none"> - toxicidade para várias espécies - substâncias biodegradáveis consomem oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> - concentração 			<ul style="list-style-type: none"> - neutralização - precipitação

* parâmetros empregados em outros países.

Quadro 3.1 – Continuação.

Poluente	Origem	Efeitos/Impactos	Indicadores	Limites Admissíveis		Medidas de Controle
				Efluentes	Classe 2	
Poluentes orgânicos	<ul style="list-style-type: none"> - instalações sanitárias - refeitórios - vilas residenciais - represas e barragens de rejeitos inundadas sem remoção de vegetação - detergentes das oficinas de lavagem 	<ul style="list-style-type: none"> - nutrientes de microorganismos que, neste processo consomem oxigênio - diminuição da capacidade de autodepuração dos corpos d'água - possibilidade de eutrofização 	<ul style="list-style-type: none"> - OD (mg/L) - DBO_{5,20} (mg/L) - Coliformes - Fecais - Totais (qtde/100 mL) - N - P 	-	5	<ul style="list-style-type: none"> - fossas sépticas - estação de tratamento de esgotos
				-	5	
Metals	<ul style="list-style-type: none"> - minério - estéril 	<ul style="list-style-type: none"> - toxicidade para vários organismos 	<ul style="list-style-type: none"> - concentração 	4.000	1.000	<ul style="list-style-type: none"> - neutralização - precipitação
				20.000	5.000	
Cianetos	<ul style="list-style-type: none"> - lixiviação de minérios de ouro 	<ul style="list-style-type: none"> - alta toxicidade 	<ul style="list-style-type: none"> - [CN] (mg/L) 	0,005	0,01	<ul style="list-style-type: none"> - oxidação
Sais (sólidos dissolvidos)	<ul style="list-style-type: none"> - minério - estéril 	<ul style="list-style-type: none"> - nitratos e fosfatos são nutrientes e, em altas concentrações, podem causar eutrofização (e subsequente desoxigenação) - outros sais em alta concentração podem afetar a biota 	<ul style="list-style-type: none"> - concentração - condutividade 			
Álcalls	<ul style="list-style-type: none"> - rochas carbonáticas 	<ul style="list-style-type: none"> - dureza (uso industrial e abastecimento público limitado) 	<ul style="list-style-type: none"> - CaCO₃ (mg/L) 			<ul style="list-style-type: none"> - acidificação

A coloração da água quando produzida por certos elementos, além de duvidoso efeito estético, pode ocasionar certos problemas. Águas avermelhadas pela presença de hidróxido de ferro, por exemplo, podem dar origem a sulfato ferroso, quando desoxigenados. Águas amarelas portam elevadas porcentagens de sólidos em suspensão de caráter argiloso.

A existência de carga sólida nas águas é um fato normal porém, agravada na mineração pela existência de áreas facilmente erodíveis. Ela pode interferir na atividade da fotossíntese, na alimentação dos peixes, no assoreamento dos rios e dos reservatórios e na estética das águas.

Muitos metais são necessários aos organismos em proporções diminutas. Quando em excesso, o cobre, o zinco, o manganês, o cromo e outros são altamente tóxicos. A periculosidade destes metais é agravada pela acidez da água, sendo que certas espécies toleram mais determinados elementos do que outras. Assim, as algas vicejam em águas com 0,1 mg/L de zinco, enquanto que os peixes morrem com essa mesma concentração.

As águas naturais em geral tem seu pH variando entre 5,0 e 8,5. Alterações nestes valores, podem influenciar adversamente a vida aquática e provocar outros danos. Águas com pH abaixo de 5 podem provocar não só corrosões de metais e do concreto, como também problemas de odor pela liberação do H_2S (gás sulfúrico) das lamas. Eflúvios altamente alcalinos são raros e quando existentes, como no caso das indústrias da cal e do cimento, podem provocar deposições indesejáveis em canos e tubulações.

Eflúvios aquecidos resultantes das instalações que usam a água como vapor ou como água de refrigeração, diminuem o teor de oxigênio dissolvido. O aumento da temperatura nas águas, pode também provocar a mortandade de certas espécies de peixes, o aumento no número de plantas aquáticas, a interferência nos ovos dos peixes, etc..

Minas contendo sais de urânio, tório ou outro elemento radioativo, têm suas águas com apreciável radioatividade, mas geralmente não atingem limites perigosos à vida. Entretanto, usinas de tratamento de minérios de urânio produzem águas com concentração de radium e tório superiores às recomendadas para águas destinadas a uso pelo homem.

3.5 – Controle da Poluição das Águas

Antes de se decidir pelo controle da qualidade das águas de uma área e os métodos a serem utilizados, deve-se definir a qualidade ambiental da região, e o objetivo do controle, que é função do processo industrial, do corpo d'água e da qualidade da água pretendida.

A Figura 3.1 ilustra a importância da definição destes objetivos, onde se pode observar os componentes produção, tratamento, corpos d'água e usos da água, conectados em sistema por entradas e saídas de despejos. Para projetar um controle efetivo, é necessário ter conhecimento de cada componente do sistema.

Muitas vezes sabe-se sobre como produzir determinado bem como o concentrado de minérios auríferos, porém conhece-se menos a composição química dos despejos lançados pelas usinas e, muito menos, sobre os efeitos desses despejos nos corpos d'água e quase nada sobre o impacto no processo social como um todo.

Exigências fundamentais para o controle da poluição das águas são o conhecimento da qualidade das águas (que pode ser afetada por determinado empreendimento) e a vazão dessa drenagem, bem como as características dos efluentes gerados na extração e beneficiamento mineral.

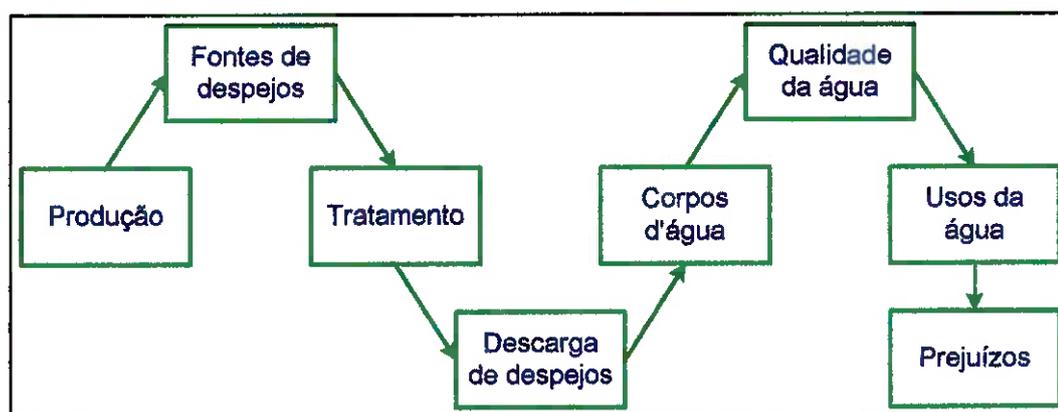


Figura 3.1 – Pontos ambientais de controle (DERÍSIO, 1992).

3.5.1 – Controle de Água

Com o intuito de tornar possível a recuperação da água utilizada nas diversas fases da mineração, é recomendado o controle do volume e circuito a ser percorrido na área do empreendimento. Deve-se estabelecer pontos onde possa ocorrer a interceptação e tratamento do efluente de modo que as águas possam ser devolvidas às drenagens naturais.

No ambiente de mineração, há várias técnicas que podem ser adotadas para minimizar a poluição das águas. Uma delas é a construção de um sistema de drenagem que irá captar e desviar as águas pluviais e de drenagens naturais das obras e operações da mineração. Com a adoção desse sistema, diminui-se o contato das águas com a cava da mina, com o rejeito e o estéril reduzindo-se o volume de água contaminada.

Se a poluição das águas não pode ser evitada, é necessário promover o reuso da água, o que é conseguido através do processamento em circuito fechado. Para tal, utiliza-se de lagoas de tratamento onde se promove a sedimentação dos sólidos em suspensão, a recuperação de alguns compostos usados no beneficiamento e a reoxigenação das águas.

De acordo com a estação do ano podem ocorrer problemas com o volume das águas utilizadas em uma planta de beneficiamento mineral. Durante as chuvas, têm-se um maior volume de água e pode ocorrer a descarga de parte da água tratada. No período de seca, quando a perda de água por evaporação é grande, pode-se ter a necessidade de uso de água limpa no processo.

3.5.2 - Revegetação

A revegetação de uma área minerada ou desmatada para a implantação do empreendimento mineral, reduz a poluição das águas, pois a cobertura vegetal promove a estabilização das superfícies remexidas, reduz a velocidade de escoamento das águas e ajuda no controle da erosão.

A revegetação é um processo barato de estabilização de solos que deve ser utilizado como parte da recuperação da área.

3.6 – Principais Agentes de Poluição das Águas em Mineração

Muitos são os agentes de poluição das águas originados pela extração mineral. As combinações entre os agentes poluidores também são numerosas e provocam graves prejuízos ao ecossistema.

A seguir são discutidos os mais comuns tipos de poluição da água causados pela mineração.

3.6.1 – Águas Ácidas de Drenagem

Originalmente as águas ácidas de drenagem eram consideradas como um problema relacionado às minas de carvão em funcionamento ou abandonadas. Hoje se reconhece que as águas ácidas são causadas também pela lavra e tratamento de minérios sulfetados, principalmente aqueles que contém pirita. No Brasil, a região do Complexo Mínero-Industrial de Poços de Caldas e a região carbonífera do sul do país, são identificadas como sendo as maiores causadoras de drenagem ácida.

A drenagem ácida é proveniente de cavas das minas e das galerias subterrâneas, pilhas de estéreis ou de estoque, bacias de decantação ou rejeitos e é causada pelo intemperismo natural ao qual esses corpos são submetidos ao longo dos anos.

As águas ácidas são produzidas pela reação dos sulfetos com ar e água, o que possibilita o surgimento do ácido sulfúrico. Deste modo, qualquer depósito contendo minerais sulfetados, particularmente pirita, é uma fonte potencial de drenagem ácida.

O ácido sulfúrico geralmente cria condições hostis ao meio ambiente, inibindo o estabelecimento e crescimento da vegetação de cobertura, resultando na erosão e acidificação do solo e aquíferos adjacentes. O baixo pH das águas ácidas restringe ou elimina a maioria dos organismos vivos da água. Sua acidez, seu elevado teor de sulfato de ferro e o total de sólidos (a maioria dissolvido), reduz o nível de oxigênio, conferindo coloração avermelhada e permitindo maior solubilidade de metais tóxicos. O despejo de efluente ácidos podem causar a precipitação ou coagulação de outras substâncias, produzindo dessa maneira uma grande turbidez ou

depósitos de fundo. As soluções com pH menor que 6,0 causam prejuízo por corrosão em muitos equipamentos.

3.6.2 – *Metais Pesados*

Metais pesados podem ser definidos como sendo “metais recalcitrantes, como o cobre e o mercúrio – naturalmente não biodegradáveis (...)” que podem ser precipitados por gás sulfídrico em solução ácida, como por exemplo: chumbo, prata, ouro, mercúrio, bismuto, zinco e cobre (CARVALHO (1981) e ABNT (1973) *apud* FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE, 1992).

Os metais pesados tem densidade maior que 5 g/cm³ e número atômico superior a 22, e têm propriedades tóxicas, seja em estado de elemento, seja em estado combinado. Todos são encontrados em pequenas doses no meio natural. Entretanto, se o meio estiver sobrecarregado de metais pesados, pode ocorrer a intoxicação de animais e vegetais.

Dentre os mais tóxicos, destacam-se o zinco, o cobre, o chumbo, o cádmio e o mercúrio. Estes metais são os mais comuns nas águas oriundas da lavra de minérios metálicos e carvão. Mesmo em concentrações muito baixas, estes metais causam sérios danos aos seres vivos e são, geralmente, letais se ingeridos regularmente, já que tendem a se bioacumular.

Abaixo encontram-se descritas as principais características destes metais.

a – Zinco

É largamente utilizado na indústria e pode entrar no meio ambiente através de processos naturais e antropogênicos. Apresenta baixa toxicidade embora seus efeitos não sejam ainda totalmente conhecidos.

Sua toxidez em relação aos organismos aquáticos esta relacionada principalmente às concentrações de oxigênio e dureza da água (DERÍSIO, 1992). Segundo a Resolução CONAMA nº 20/86, a concentração limite para as águas superficiais é de 0,18 mg/L para as águas das classes 1 e 2 e de 5,0 mg/L para a classe 3. A divisão das águas por classes é discutida no item 5.2.

b – Cobre

As principais fontes industriais incluem os efluentes oriundos de mineração, fundição e refinação, além da corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, escoamento superficial, etc..

No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão das mucosas, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão.

O cobre ocorre nas águas em pequenas concentrações, sendo benéfico e essencial ao metabolismo humano (DERÍSIO, 1992). O limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as águas superficiais classes 1 e 2 é de 0,02 mg/L e 0,5 mg/L para as da classe 3.

c – Chumbo

O chumbo encontra-se no ar, nas águas, nas bebidas e nos alimentos, nestes últimos, por contaminação e na embalagem.

Dissolvido em águas superficiais naturais, os seus teores geralmente encontram-se em quantidades baixas. É uma substância tóxica cumulativa e uma intoxicação crônica por este metal pode levar a um envenenamento denominado saturnismo, que afeta o sistema nervoso central (PIVELLI, 1996).

O limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20/86 para águas superficiais classes 1 e 2 é de 0,03 mg/L enquanto para as de classe 3 o limite é de 0,05 mg/L.

d – Cádmio

É um metal de elevado potencial tóxico, que se acumula em organismos aquáticos, possibilitando sua entrada na cadeia alimentar. O cádmio pode ser fator para vários processos patológicos no homem, incluindo anemia, retardamento de crescimento e morte.

O limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20/86 para os corpos d'água classes 1 e 2 é de 0,001 mg/L e os de classe 3 de 0,01 mg/L.

e – Mercúrio

Entre as fontes antropogênicas de mercúrio destacam-se as indústrias cloro-álcali de células de mercúrio, vários processos de mineração e fundição, efluentes de estações de tratamento de esgotos, fabricação de certos produtos odontológicos e farmacêuticos, indústrias de tintas, etc..

É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3 a 30 gramas são fatais (PIVELLI, 1996). Apresenta efeito cumulativo e provoca lesões cerebrais. Em estado metálico, o mercúrio é pouco ou nada absorvido, mas o metilmercúrio formado pela ação microbiana é muito tóxico.

A concentração limite estabelecida pela Resolução CONAMA n° 20/86 para as águas superficiais é de 0,0002 mg/L para as classes 1 e 2 e 0,002 mg/L para a classe 3.

3.6.3 – Eutrofização e Eutroficação

A eutrofização, é um fenômeno natural que se produz lentamente, quando os lagos vão se tornando mais ricos em matérias orgânicas contidas nos sedimentos trazidos pelos rios. Com o aumento dos nutrientes, as populações de algas proliferam desmesuradamente sufocando os cursos d'água, e devido à diminuição do oxigênio livre, tem-se o desaparecimento de peixes e outras populações, e a evolução do lago para charco ou brejo.

Quando ocorre o lançamento de efluentes oriundos de atividades humanas, tem-se a eutroficação, termo escolhido para evidenciar o caráter artificial do processo. Ocorre nos rios que recebem resíduos de águas poluídas mais ou menos ricas em nitratos e fosfatos, tornando-se abundante em relação a de água pura disponível (DAJOZ, 1979).

O processo de eutroficação pode ser drasticamente acelerado pela descarga de efluentes de minas, se estes forem ricos em nutrientes como fosfatos, nitratos, sílica, etc. Neste caso, algumas populações aumentam em relação a seu nível natural até que um outro fator se torne limitante, normalmente, o oxigênio.

A eutroficação manifesta-se nos rios lentos e sobretudo nos lagos onde a correnteza é insuficiente para evacuar as águas usadas.

3.6.4 – Desoxigenação

A desoxigenação de corpos de água pode ser agravada por descargas de atividades mineiras sempre que elas promoverem o aumento do consumo de oxigênio dissolvido na água.

Há duas maneiras de ocorrer a redução do oxigênio dissolvido na água. Na primeira, resíduos orgânicos como esgoto sanitário, reagentes de flotação e derramamento de óleo, sofrem decomposição aeróbica por microorganismos. A matéria orgânica em excesso, ocasiona reações que consomem oxigênio dissolvido podendo reduzir seu nível a zero, pois a quantidade consumida costuma ser muito maior do que a reposta. Toda a vida aquática é assim destruída, restando apenas organismos capazes de decompor tais resíduos anaerobicamente.

Os produtos finais dessas reações são dióxido de carbono, amônia, metano e sulfeto de hidrogênio. Tais produtos sempre causam reclamações das populações vizinhas devido ao mau cheiro.

As análises de demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido são parâmetros usados para quantificar esse processo.

Outro processo de redução de oxigênio provocado pelas águas da mineração, é o da oxidação química dos sulfetos e sais de metais de baixa valência. Este consumo é medido pela análise de demanda química de oxigênio.

O aumento da temperatura das águas pela elevação da temperatura ambiente ou pela introdução de águas residuais quentes, provoca a redução da solubilidade do oxigênio de 15 mg/L a 0°C para 7 mg/L a 35°C.

3.7 – Tratamento das Águas de Mineração

O gerenciamento de efluentes líquidos em uma mina têm várias facetas, desde a mais tradicional de tratamento dos efluentes no final do processo de extração e beneficiamento do minério até procedimentos de minimização da quantidade de água em contato com fontes de poluição, como é o caso dos sistemas de drenagem em minas com potencial de geração de drenagem ácida.

Dos métodos adotados para o tratamento de efluentes na indústria mineral, os mais utilizados são os físicos, em detrimento aos métodos químicos e biológicos. Dentre estes métodos destacam-se, pela frequência com que são usados, as bacias de decantação, a separação de óleos e graxas, o tratamento de efluentes domésticos – cujo sistema depende do porte do empreendimento, a correção do pH das águas efluentes, a remoção de cianetos e a precipitação.

A maior parte destes métodos de tratamento produz lama precipitada que, após separação da fase líquida, constitui um resíduo sólido usualmente disposto na bacia de rejeitos ou na pilha de estéreis. Devido a processos hidrogeoquímicos, estes depósitos de resíduos podem se transformar em novas fontes de poluição, sendo importante seu planejamento criterioso (SÁNCHEZ, 1994b).

O tratamento das águas poluídas pela mineração é a maneira mais eficaz, não só para o controle da poluição mas também para a obtenção de águas aceitáveis para a reciclagem nos processos de beneficiamento e mesmo para abastecimento doméstico e público.

Em algumas minas, a água sofre tratamento físico logo após sua saída das instalações de beneficiamento onde, através do uso de espessadores, ciclones e filtros, têm-se a separação da carga sólida. Em alguns casos, utiliza-se também de tratamento químico através do uso de floculantes.

Comumente, todas as águas da mineração são coletadas em reservatórios, naturais ou artificiais, de dimensões variadas, denominados lagoas de tratamento ou decantação.

Estas lagoas têm a função de criar condições para a sedimentação e estocagem da carga sólida das águas. Assim, a água resultante é relativamente

límpida, com maior economia e menor custo, pode sofrer tratamento químico para a restauração das condições desejáveis para posterior uso.

A efetividade do tratamento nas lagoas de decantação, depende do tempo de retenção do eflúvio, que varia de 4 horas a alguns meses. Em geral, calcula-se o volume das lagoas com base em um tempo de retenção de 30 dias, inclusive com as águas de enxurradas.

Algumas desvantagens deste método envolvem a necessidade de uma grande área, o alto custo de instalação e desenvolvimento, a segurança dos locais a jusante e a possível contaminação pelas águas superficiais e subterrâneas.

CAPÍTULO 4

PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A água natural constitui-se de inúmeros elementos e compostos sólidos, líquidos ou gasosos, em solução e proporções diversas. Esses elementos são provenientes do ar, dos solos e das rochas sobre as quais ela circula ou é armazenada, e finalmente, do contato com as atividades humanas. Das substâncias que são freqüentemente dissolvidas pelas águas, as mais comuns encontram-se listadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Impurezas mais freqüentes encontradas nas águas naturais (PORTO *et al.*, 1991).

Origem	Impurezas Dissolvidas		Coloidais	Em suspensão	Gases
Contato da água com minerais, solos, rochas	Cálcio Ferro Magnésio Manganês Potássio Sódio Zinco	Bicarbonatos Carbonatos Cloretos Nitratos Fosfatos Silicatos Sulfatos	Argila Sílica Óxido de ferro Óxido de alumínio Dióxido de magnésio	Argila Silte Areia	Gás carbônico
Atmosfera, chuva	Hidrogênio (H ⁺) Bicarbonatos Cloretos Sulfatos			Poeira Pólen	Gás carbônico Nitrogênio Oxigênio Dióxido de enxofre
Decomposição de matéria orgânica no meio ambiente	Amônia Hidrogênio (H ⁺) Sódio	Cloretos Nitritos Nitratos Sulfitos Radicais orgânicos	Cor de origem vegetal Resíduos	Solo orgânico Resíduos orgânicos	Amônia Gás carbônico Gás sulfídrico Hidrogênio Metano Nitrogênio Oxigênio
Organismos vivos			Bactérias Algas Vírus	Algas Zooplâncton Peixes	Amônia Gás carbônico Metano
Fontes antropogênicas	Íons inorgânicos Metais pesados Moléculas orgânicas Cor		Organoclorados Corantes Bactérias Vírus	Sólidos inorgânicos Compostos orgânicos Óleos e graxas	Cloro Dióxido de enxofre

A qualidade da água pode ser avaliada através de diversos parâmetros que traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. Por isso a importância de se conhecer as características da água, abordadas neste capítulo, que permitem caracterizar sua qualidade entre as suas diversas aplicações.

4.1 – Ciclo Hidrológico

A água é encontrada na atmosfera na forma de vapor, líquida e/ou sólida, percorrendo o chamado ciclo hidrológico (Figura 4.1) onde o movimento da água em cada uma das fases do ciclo, é feito de modo aleatório, variando no espaço e tempo.

O maior reservatório de água é formado pelos oceanos, onde está armazenada 97,3% da água do planeta, enquanto 2,10% correspondem aos estoques das calotas polares e apenas 0,60% às águas doces continentais. Destas, 0,58% encontram-se nos aquíferos e somente 0,02% nos rios e lagos.

O ciclo hidrológico, pode ser descrito a partir da evaporação das águas dos oceanos, mares, lagos e rios. Com a condensação do vapor forma-se nuvens a partir das quais há precipitação. Do volume que precipita, parte não atinge o solo, porque evapora ou porque fica retida pela vegetação (interceptação). Da parte que atinge o solo, parte se infiltra, e ao atingir o limite de infiltração do solo, escoam superficialmente preenchendo depressões e canais naturais que se concentram nos vales, formando os rios e, finalmente, os mares, os lagos e os oceanos. O escoamento superficial constitui uma resposta rápida à precipitação e cessa pouco tempo depois dela. A parte da água que não infiltra nem escoam superficialmente se evapora, mantendo-se o equilíbrio do ciclo hidrológico.

A água que se infiltra no solo, eventualmente atinge uma zona totalmente saturada, formando o lençol subterrâneo, que pode interceptar uma vertente subterrânea, retornando à superfície.

Os processos do ciclo hidrológico ocorrem, na atmosfera e na terra, pelo que se pode dividir o ciclo da água em dois ramos: aéreo e terrestre.

A água que precipita nos continentes se reparte em três parcelas: uma que é reenviada para a atmosfera por evapotranspiração e duas que produzem escoamento superficial e subterrâneo.

Esta repartição é condicionada por vários fatores, uns de ordem climática e outros associados às características físicas do local onde incide a precipitação (tipo de solo, seu uso e estado do subsolo).

Assim, a precipitação ao incidir numa zona impermeável, origina evaporação direta e escoamento superficial, que se acumula e fica disponível à superfície. Incidindo num solo permeável, pouco espesso, assentado sobre uma formação geológica impermeável, produz escoamento superficial, e às vezes, escoamento subsuperficial. Em ambos os casos não há escoamento subterrâneo, que ocorre no caso de a formação geológica subjacente ao solo ser permeável e espessa.

Nas áreas de mineração, utiliza-se de um sistema de drenagens superficiais para captar as águas pluviais e aquelas de influência na mineração e leva-las para as barragens de decantação. Deste modo, desvia-se as águas que poderiam intervir no processo, das áreas de lavra, de deposição de estéril e acessos, promovendo seu armazenamento para uso futuro nos processos de beneficiamento ou lavra do minério.

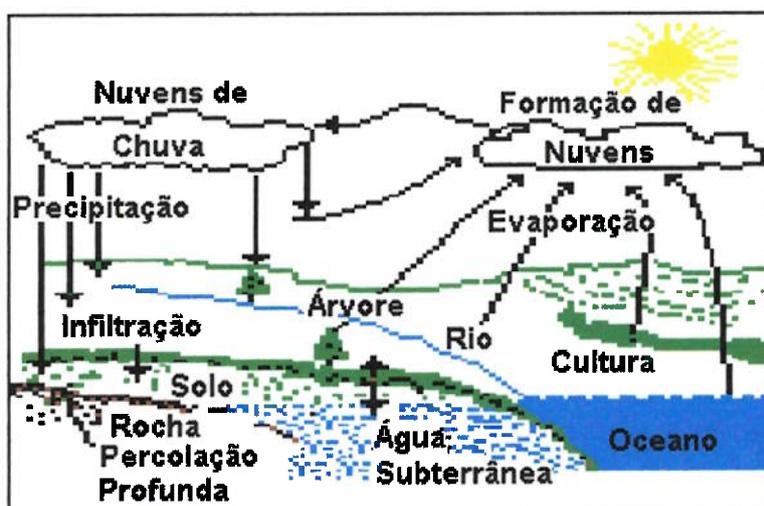


Figura 4.1 – Ciclo hidrológico (BRASIL, 2000).

4.2 – Características Físicas de Qualidade da Água

4.2.1 – Cor

A cor da água é considerada como sendo causada por sólidos dissolvidos. Está associada ao grau de redução da luz ao atravessar o corpo d'água (BRANCO, 1986b ; PORTO *et al.*, 1991 ; PIVELLI, 1996).

A cor das águas naturais pode ser de origem mineral ou vegetal, sendo causada por substâncias metálicas como o ferro ou o manganês, matéria orgânica em decomposição ou por resíduos industriais e esgoto doméstico.

Embora seja um atributo estético, a cor não se relaciona necessariamente com problemas de contaminação. Entretanto, é considerada como um padrão de potabilidade para águas destinadas a consumo humano. Quando empregada na mineração, a cor não é parâmetro eliminatório para sua utilização.

A avaliação de cor é feita pela comparação com um padrão de cobalto-platina cujos resultados podem ser expressos em mg/L Pt. Onde 1 mg/L Pt equivale a 1 uC (unidade de cor) e 1 uH (unidade Hazen). O método de análise de cor da água, utiliza uma solução sólida de cloroplatinato de potássio em cloreto de cobalto, daí o nome de método platina-cobalto.

Quando se considera as dimensões das partículas presentes no corpo d'água (Figura 4.2), é possível separar a cor em:

- cor aparente: ocorre como resultado da reflexão e dispersão da luz nas partículas em suspensão. É considerada por RICHTER & NETTO (1991) como sendo uma “turbidez adicional”;
- cor real ou verdadeira: é causada pela presença de material dissolvido e colóides, cujo tamanho de partícula é inferior a 1 µm.

Segundo RICHTER & NETTO (*op. cit*), o pH é um elemento que interfere na cor das águas já que sua remoção é mais fácil quando se tem baixo pH e a intensidade da cor é maior quanto maior é o pH.

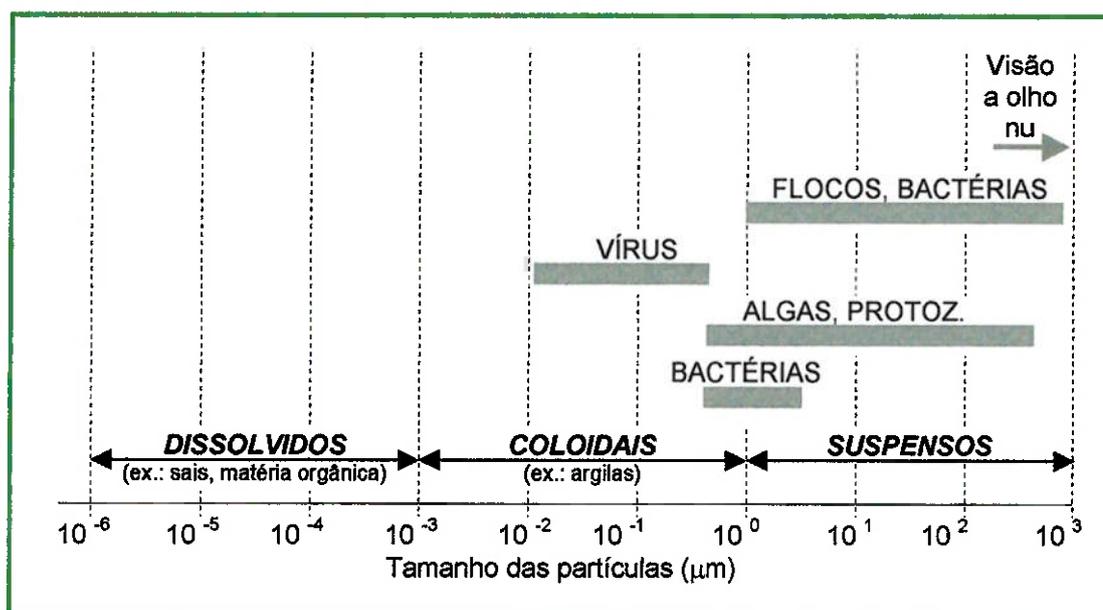


Figura 4.2 – Tamanhos de partículas (SPERLING, 1996).

4.2.2 – Turbidez

A turbidez de uma amostra de água é o grau de redução de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. É provocada por partículas em suspensão, com tamanho variando desde suspensões grosseiras à coloides (Figura 4.2), que provocam a difusão e absorção da luz.

Pode ser provocada por plânctons, algas, detritos orgânicos e outras substâncias como zinco, ferro, compostos de manganês, siltes e argilas, resultantes do processo de erosão ou de despejos domésticos ou industriais.

Em áreas de mineração, os aumentos excessivos de turbidez tem provocado formação de grandes bancos de lodo em rios e alterações no ecossistema aquático (PIVELLI, 1996).

Nos problemas relativos às águas residuárias, os parâmetros cor e turbidez não são normalmente utilizados, dando-se preferência às medidas diretas das concentrações de sólidos em suspensão e dissolvidos. Este fato é possível porque as faixas de concentração de sólidos são elevadas, permitindo precisão adequada nas análises gravimétricas.

Os resultados das medidas de turbidez, podem ser expressos em UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez, ou ainda em mg/L de formazina ou sílica,

dependendo do padrão utilizado na calibração do aparelho de medição. Os resultados expressos desta forma são equivalentes em termos de valores em UNT.

4.2.3 – Sólidos

Os sólidos são classificados de acordo com suas características químicas e físicas (tamanho e estado).

A classificação quanto às características físicas permite separar os sólidos em 03 grupos: suspensão, coloidais e dissolvidos. Já em termos de características químicas, tem-se os sólidos orgânicos e os inorgânicos.

A classificação por tamanho é considerada como uma divisão prática uma vez que se considera os sólidos dissolvidos como sendo aqueles capazes de passar por um papel de filtro de tamanho especificado de 1,2 μm , incluindo nesta categoria os coloides e os efetivamente dissolvidos (PORTO *et al.*, 1991 ; SPERLING, 1996).

Os sólidos de maiores dimensões, que ficam retidos no filtro, são considerados como sólidos em suspensão, que podem ser sedimentáveis ou não, após se deixar a amostra de água em repouso durante uma hora.

A Figura 4.2 mostra a distribuição das partículas segundo o tamanho. Os sólidos dissolvidos são considerados como tendo diâmetro inferior a 10^{-3} μm , os sólidos coloidais como tendo diâmetro entre 10^{-3} e 1 μm , e como sólidos em suspensão aqueles com diâmetro superior a 1 μm .

A classificação química decorre da exposição dos sólidos à uma temperatura elevada (550 $^{\circ}\text{C}$), onde a fração orgânica é volatizada, permanecendo após a combustão apenas a fração inorgânica ou mineral.

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais, as determinações das concentrações das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou voláteis, minerais ou orgânicos).

Em águas naturais superficiais, a concentração de sólidos dissolvidos totais dão idéia das taxas de desgaste das rochas por intemperismo, podendo-se caracterizar a litologia da região através dos íons mais frequentes na água.

A salinidade também está associada aos sólidos dissolvidos totais. Usualmente, é a parte fixa dos sólidos dissolvidos que é definida como a salinidade. Quando presente em grandes concentrações, pode causar alterações de sabor e problemas de corrosão.

Os sólidos em suspensão são limitados na legislação através dos valores de turbidez, uma vez que sua principal influência é na diminuição da transparência da água, impedindo a penetração de luz.

Em mineração, devido à dissolução causada pelo contato das águas com a superfície rochosa, é comum se encontrar altas taxas de sólidos dissolvidos como cloretos, fosfatos, sulfatos, cálcio, ferro, manganês e nitratos que também pode ter os explosivos como origem.

4.2.4 – *Temperatura*

Variações da temperatura são parte do regime climático normal dos corpos d'água naturais, que apresentam variações sazonais e diárias, bem como estratificação vertical, influenciada por fatores como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade.

Outro fator que promove a elevação da temperatura de um corpo d'água, são os despejos industriais e de usinas termoeletricas.

A temperatura é um dos fatores que governam a existência e a interdependência dos organismos aquáticos e influencia grande parte dos outros parâmetros físico-químicos. Em geral, a medida em que a temperatura aumenta de 0 a 30 °C, a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico, a constante de ionização, o calor latente de vaporização e a solubilidade de gases dissolvidos na água, em particular o oxigênio, diminui. Por outro lado, a elevação da temperatura aumenta a velocidade das reações, em particular as de natureza bioquímica de decomposição de compostos orgânicos (PIVELLI, 1996).

A temperatura afeta a atividade química dos contaminantes e a atividade biológica dos organismos no meio ambiente. Deste modo, quanto maior a temperatura, mais tóxicos são os metais pesados e os efeitos nos organismos aquáticos (MORITA, 1993).

Por outro lado, as baixas temperaturas podem ser vantajosas em certos episódios de contaminação, uma vez que as atividades químicas e biológicas são minimizadas, como por exemplo, a toxicidade de efluentes de mineração aos macroinvertebrados aquáticos (E.P.A., 1989 *apud* MORITA, 1993).

4.2.5 – Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica exprime a capacidade da água em transmitir a corrente elétrica. É determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo medida em $\mu\text{mho/cm}$.

Em águas naturais, não se pode esperar que haja uma relação direta entre condutividade e concentração de sólidos dissolvidos totais, porque as águas naturais não são soluções simples. A relação condutividade e sólidos dissolvidos totais só será bem definida em águas naturais de determinadas regiões onde exista uma predominância bem definida de um determinado íon, como no caso de rios que atravessam algumas regiões de solo salino (PORTO *et al.* 1991).

A condutividade elétrica da água pode ser medida com um condutivímetro portátil. Nos modernos condutivímetros os valores de corrente elétrica já estão corrigidos de acordo com a temperatura. Se não, a correção deve ser feita para que os valores sejam dados a 25 °C. Para esta temperatura, encontram-se listados no Quadro 4.2 valores de condutividade elétrica para diferentes composições de água (SCHOELLER, 1962 ; MATTHESS, 1982 *apud* BOLETIM IG, 1993).

Quadro 4.2 – Valores de condutividade elétrica para água a 25 °C (BOLETIM IG, 1993).

Água	Condutividade elétrica ($\mu\text{mho/cm}$)
pura	0,055
destilada	0,5 – 5,0
de chuva	5,0 – 30
do oceano	45.000 – 55.000
subterrânea	30 – 2000

Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos, etc..

A condutividade elétrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas ($\text{pH} > 9$ ou $\text{pH} < 5$), os valores de condutividade são devidos às altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais frequentes são o H^+ e o OH^- .

4.3 – Características Químicas das Águas

As características químicas são os índices mais importantes para caracterizar a qualidade da água. Através destes índices, pode-se:

- classificar a água por seu conteúdo mineral, através da composição de seus íons;
- caracterizar o grau de contaminação e a origem ou natureza dos principais poluentes ou seus efeitos;
- tipificar casos de cargas ou picos de concentração de substâncias tóxicas e apontar as principais fontes;
- avaliar o equilíbrio bioquímico necessário para a manutenção da vida aquática e as necessidades de nutrientes tais como compostos de nitrogênio, fósforo, sílica e ferro.

4.3.1 – Potencial Hidrogeniônico – pH

O termo pH é usado universalmente para expressar o grau de acidez, neutralidade ou basicidade de uma água, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio (H^+) numa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade.

A influência do pH sobre os ecossistemas aquáticos naturais dá-se diretamente devido a seus efeitos sobre a fisiologia das diversas espécies. Mas outros danos de grande impacto podem ser causados devido à precipitação de elementos químicos tóxicos como os metais pesados, o que ocorre em determinadas condições de pH (PIVELLI, 1996).

O pH da maioria das águas naturais é controlado por reações químicas, e sua medida proporciona uma valiosa informação geoquímica pois, o pH intervém de forma direta e indireta no equilíbrio químico.

Em soluções aquosas, o pH é controlado por uma série de reações e condições de equilíbrio (pressão, temperatura, incidência de luz solar, etc.), que ocorrem durante o armazenamento da água. Sendo por isso, indicada a determinação *in situ* do pH.

As águas naturais apresentam valores de pH variando de 5 a 9, sendo controlado pela presença de carbonatos e bicarbonatos e pela presença de ácidos húmicos.

O pH do meio ambiente pode afetar a forma química de um contaminante, sua solubilidade e sua toxicidade, causando, a liberação de metais de sedimentos no meio aquático (WEIS *et al.*, 1986 *apud* MORITA, 1993).

Para a realização de sua medida no local de amostragem, utiliza-se do pH metro (peagâmetro).

De modo geral, as águas de baixo pH, tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de cimento-amianto, enquanto que águas de alto pH tendem a formar incrustações.

4.3.2 – Oxigênio Dissolvido – OD

Todos os organismos vivos dependem de uma forma ou outra do oxigênio para manter os processos metabólicos de produção de energia e de reprodução.

Nos corpos d'água, as concentrações de OD são vitais para a manutenção de condições oxidantes (aeróbias) para degradar a matéria orgânica e para manter, por exemplo, o fósforo no sedimento dos lagos.

A manutenção de níveis adequados de OD é essencial à pesca esportiva e agricultura, pois a imensa maioria dos consumidores numa cadeia ecológica são estritamente aeróbios.

A concentração de oxigênio dissolvido nas águas é um parâmetro de controle da poluição, sendo consideradas como poluídas aquelas águas que apresentam baixa concentração de oxigênio. Águas limpas apresentam concentrações de oxigênio dissolvido elevadas, podendo chegar até um pouco abaixo da concentração de saturação.

A concentração de oxigênio dissolvido na água, depende da temperatura, da pressão do gás exercida sobre a superfície do líquido e dos sais dissolvidos. Assim, considerando-se 1 litro de água, a 20 °C, exposto ao ar à pressão normal ao nível do mar, este litro conterá em solução 9,2 mg de oxigênio (PIVELLI, 1996 ; BRANCO, 1986a).

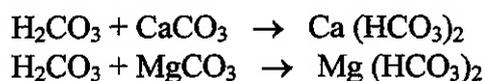
O excesso de oxigênio, principalmente na presença de dióxido de carbono (CO₂), pode causar corrosão em tubulações metálicas. Sua determinação é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e para detectar impactos ambientais como a eutroficação e poluição orgânica. A realização de medições por métodos eletroquímicos fornecem maior precisão e rapidez.

A aeração das águas, é um processo bastante usado na mineração para promover a oxigenação das águas. Essa “introdução de oxigênio no interior das águas”, é um meio eficiente de se promover a diminuição de gases dissolvidos como dióxido de carbono e gás sulfídrico a níveis tratáveis (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1970).

4.3.3 – Dureza

A dureza de uma água é uma medida da sua capacidade de precipitar sabão, isto é, nas águas duras, os sabões se transformam em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote. Assim, a dureza pode ser definida como a soma dos cátions polivalentes expressos numa quantidade equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). A maioria de tais cátions são de cálcio e magnésio (BATALHA, 1986 ; PIVELLI, 1996).

A principal “fonte de dureza” das águas é a sua passagem pelo solo com a dissolução da rocha calcária pelo gás carbônico da água, conforme as reações:



Desta forma, é mais freqüente se encontrar águas subterrâneas com durezas mais elevadas que as águas superficiais.

Nas águas naturais, a dureza é uma condição importante por formar complexos com outros compostos, modificando seus efeitos sobre os constituintes daquele ecossistema. Por isso, a dureza é um parâmetro tradicionalmente utilizado no controle de bioensaios de avaliação de toxicidade de substâncias ou de efluentes.

Uma importância particular da dureza elevada é a sua tendência para o desenvolvimento de incrustação de carbonato de cálcio (CaCO_3), principalmente quando a água está aquecida. Águas com pequena ou nenhuma dureza podem ser corrosivas para equipamentos, dependendo da sua alcalinidade, pH e oxigênio dissolvido.

Em resumo, a dureza decorre da presença de compostos de cálcio (Ca), magnésio (Mg), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e cloreto (Cl). O grau de dureza é a quantidade de sais alcalinos contidos, existindo três tipos de dureza:

- dureza total ($\text{DT} = \text{Dt} + \text{Dp}$);
- dureza de carbonatos ou dureza temporária (Dt) que pode ser eliminada com a fervura da água, é a dureza correspondente à alcalinidade;
- dureza permanente (Dp), de não carbonatos (SO_4^{2-} , Cl) que não pode ser eliminada com a fervura da água.

Vários graus de dureza são usados. No Brasil utiliza-se, com maior frequência, mg/L de CaCO_3 , para a classificação das águas (Quadro 4.3). Encontra-se na bibliografia vários valores para a determinação do grau de dureza, como em BOLETIM IG (1993) que estabelece de 320 a 540 de mg/L de CaCO_3 para a água dura e DUARTE (1997) que considera como dura, a água que contém mais de 60 de mg/L de CaCO_3 . Os valores adotados neste trabalho, são os mais frequentemente utilizados.

As águas consideradas duras, tem seu uso bastante limitado pois é salobra, não faz espuma com sabão e é muito perigosa quando usada em caldeiras de máquinas de vapor, devido a formação de crostas de carbonato, ocasionando o superaquecimento e conseqüente explosão.

A dureza pode ser abrandada ou eliminada, pelo tratamento com óxido de cálcio, barrilha, troca de cátions ou uma combinação dos três.

Quadro 4.3 – Classificação das águas segundo a dureza (SAWYER, 1993 ; PIVELLI, 1996).

Grau de Dureza	mg/L de CaCO_3
Brandas	≥ 75
Moderadamente dura	75 – 150
Duras	150 – 300
Muito duras	≤ 300

4.3.4 – Alcalinidade

A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar (tamponar) ácidos a ele adicionados. Esta capacidade depende de alguns compostos, principalmente bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^-) e hidróxidos (OH^-).

Com maior frequência, a alcalinidade das águas ocorre devido a presença de bicarbonatos produzidos pela ação do gás carbônico dissolvido na água sobre as rochas calcárias.

É uma das determinações mais importantes no controle da água, estando relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção da corrosão nas canalizações, válvulas e equipamentos metálicos.

Segundo RICHTER & NETTO (1991), em função do pH, podem estar presentes na água os seguintes tipos de alcalinidade:

- pH 11,0 – 9,4 \Rightarrow alcalinidade de hidróxidos e carbonatos;
- pH 9,4 – 8,3 \Rightarrow carbonatos e bicarbonatos;
- pH 8,3 – 4,5 \Rightarrow somente bicarbonatos;
- pH 4,5 – 3,0 \Rightarrow ácidos minerais.

Os diversos tipos de alcalinidade dependem também da composição mineral, da temperatura e da força iônica.

O sistema químico predominante na água natural é o equilíbrio dos íons de bicarbonato, carbonato e ácido carbônico, tendo usualmente maior prevalência o íon bicarbonato.

A água apresenta alcalinidade até pH 4,5 que corresponde ao limite de conversão de bicarbonatos em gás carbônico. Desta forma, a água pode possuir acidez e alcalinidade simultaneamente na faixa de pH entre 4,5 e 8,3 devido ao equilíbrio gás carbônico/bicarbonato/carbonato, podendo neutralizar uma ação externa através do deslocamento deste equilíbrio, sem que o pH varie demasiadamente.

Isoladamente, a alcalinidade pode não ter maior importância como indicador da qualidade da água; todavia é muito importante para o controle de processos de tratamento de água sendo até mesmo desejável, que não existam grandes variações que possam interferir com a operação do sistema.

Baixos valores de alcalinidade podem dificultar a saturação da água pelo CaCO_3 , que previne a corrosão nas partes metálicas do sistema de abastecimento. Numa água natural, a alcalinidade raramente excede a 400 ou 500 mg/L de CaCO_3 , sendo menos agressiva que as águas tratadas por, geralmente, apresentar matéria orgânica e substâncias inibidoras.

4.3.5 – Óleos e Graxas

As águas originárias das oficinas, de áreas onde se tem grande fluxo de veículos, das áreas de beneficiamento e de lavagem, podem conter porcentagem de óleos e graxas que são facilmente observadas devido a presença de uma película superficial no espelho do corpo d'água.

Esta película impede a re-oxigenação da água e pode revestir as guelras dos peixes, interferindo em sua respiração. Além disso, tem um efeito estético indesejável, uma vez que sua presença na superfície dos corpos d'água é visível a olho nu.

4.3.6 – Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO), é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. É normalmente considerada como sendo a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Frequentemente usa-se um período de 5 dias numa temperatura de incubação de 20 °C, representado por DBO_{5,20}.

Os maiores aumentos em termos de DBO, são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. Sua medida é importante no tratamento das águas porque se utiliza para determinar a quantidade aproximada de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente, para determinar as dimensões das instalações de tratamento e para medir a eficácia do tratamento.

4.3.7 – Salinidade

Para BOLETIM IG (1993), o mecanismo de salinização é um dos mais importantes na geoquímica das águas. Este mecanismo se processa por dissolução e pelo ataque das substâncias contidas nas rochas que a água atravessa. Assim, a água

adquire composição química variada de acordo com as condições bio-climáticas que lhe conferem diferentes graus de agressividade.

4.3.8 – Solubilidade

O contato entre água e rocha, causa a solubilização dos componentes como também a precipitação dos mesmos nas cavidades da rocha. A solubilidade das rochas tende a aumentar com a presença de ácidos orgânicos e inorgânicos e também com o aumento da temperatura. O ataque químico ocorre por hidratação, ou seja, a penetração da água no sistema estrutural dos cristais, apresentando uma variedade na solubilização que depende do tipo de rocha, dos sais, presentes além de fatores como temperatura, pH, pressão e potencial de óxido-redução da solução (BOLETIM IG, 1993).

O grau de solubilidade entre os principais minerais formadores de rochas, varia segundo o grupo a que pertencem, que pode ser:

- compostos salinos solúveis: cloretos e sulfatos;
- compostos menos solúveis: carbonatos;
- insolúveis: sílica.

O Quadro 4.4 mostra a solubilidade de alguns sais para as temperaturas de 20 e 30 °C. Neste quadro, pode-se observar que aumentando-se a temperatura, aumenta-se a solubilidade destes sais. Um comportamento oposto é a solubilidade de CaCO₃ em água pura, que diminui com o aumento da temperatura. A solubilidade dos carbonatos é mais influenciada pela variação da solubilidade do dióxido de carbono (CO₂) (BOLETIM IG, *op. cit.*).

Quadro 4.4 – Solubilidade de alguns sais com a temperatura - g/kg (SCHOLLER, 1962 *apud* BOLETIM IG, 1993).

T °C	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	Na ₂ SO ₄	CaSO ₄	MgSO ₄
20	264,4	255	427	351	160,2	2016	262
30	265,5	272	501	357	291,0	2095	290

A solubilização dos carbonatos, em ordem decrescente, é: magnesita, aragonita, calcita, dolomita, siderita e rodocrosita.

A dissolução depende da temperatura, pressão, bicarbonato e da atividade ou pressão parcial do CO_2 , que é o mais importante (BOLETIM IG, 1993).

4.3.9 – Acidez

A acidez de uma água, corresponde a capacidade em resistir às mudanças de pH causadas pelas bases. Ocorre devido principalmente à presença de gás carbônico livre (pH entre 4,5 e 8,2).

A grande importância no controle da acidez das águas reside nos estudos de corrosão que pode ser provocada tanto pelo gás carbônico (presente em águas naturais) como pelos ácidos minerais (presentes em efluentes industriais).

O parâmetro acidez, medido em mg/L de CaCO_3 , não se constitui, apesar de sua importância, em qualquer tipo de padrão, seja de potabilidade, de classificação das águas naturais ou de emissão de esgotos.

Seu efeito é normalmente controlado pelo valor de pH (SPERLING, 1996):

- pH > 8,2 : CO_2 livre ausente;
- pH entre 4,5 e 8,2 : acidez carbônica;
- pH < 4,5: acidez por ácidos minerais fortes (geralmente resultantes de despejos industriais).

CAPÍTULO 5

LEGISLAÇÃO

Para a utilização da água, as exigências quanto às suas características variam de acordo com o emprego dado. Deste modo, ela deverá apresentar-se isenta de sais e outras substâncias químicas quando for empregada em laboratórios de análise e em processos químicos. Já para os processos biológicos, deverá conter variados tipos de sais e gases em solução necessários para a manutenção da vida aquática, irrigação, alimentação, etc.

Portanto, o termo qualidade da água não se refere a um grau de pureza absoluta ou mesmo próximo desta mas, a um padrão tão próximo quanto possível do natural. Isto é, da água tal como ela se encontra nos rios e nascentes, com suas características condicionadas pela geologia, vegetação e fatores climáticos, antes do contato com o homem.

Em virtude da deterioração e do agravamento de conflitos entre os diversos setores usuários das águas, surgiu a necessidade de um planejamento que permita seu uso múltiplo e permanente. Este planejamento se apoia no desenvolvimento de uma legislação pertinente, sendo necessário saber:

- a) o uso da água, o que pode exigir um fornecimento mais ou menos uniforme;
- b) o uso do solo, na bacia, que pode alterar as características naturais da água, tanto em qualidade como no regime de escoamento.

5.1 – Legislação

Em 14 de outubro de 1975, foi publicado o Decreto-Lei Federal nº 1.413, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais.

A Portaria GM 0013, de 15 de janeiro de 1976, teve, na época de sua publicação, o objetivo principal de estabelecer políticas de utilização das águas

brasileiras, classificando-as em quatro tipos, nos quais os rios estaduais deveriam ser enquadrados. Os padrões de qualidade dos corpos de água e os padrões de emissão de efluentes foram estabelecidos nesta mesma portaria.

A evolução desta portaria, a Resolução CONAMA nº 20 de 18 de junho de 1986, é tratada no item 5.2. A principal modificação, além do aumento do número de classes de água, foi a aceitação de lançamento de efluentes nas águas de classe 1, desde que se atenda a padrões estabelecidos.

À União cabe a competência para legislar sobre as águas, através da Constituição Federal de 1988, e estabelecer os padrões de qualidade das mesmas. No âmbito estadual, os órgãos devem fazer cumprir os critérios federais e efetuar a classificação de qualidade. No que diz respeito à emissão dos efluentes (o quanto e o que pode ser lançado), o Estado tem o poder de fiscalizar, definindo os padrões de emissão em conformidade com os padrões de qualidade.

5.2 – Classificação das Águas

Na esfera federal, a Portaria MINTER nº GM 0013 de 15/01/76, regulamentou a classificação dos corpos d'água superficiais, com os respectivos padrões de qualidade e os padrões de emissão de efluentes.

No Estado de São Paulo estes padrões foram fixados pelo Decreto nº 8.468, de 08/09/76, que regulamentou a Lei nº 997, de 31/05/76, a qual dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. Este decreto define a classificação das águas interiores situadas no território do Estado de São Paulo, segundo os usos preponderantes, variando da Classe 1, a mais nobre, até a Classe 4, a menos nobre. Também são fixados, entre outros, padrões de qualidade para as quatro classes e padrões de emissão para efluentes líquidos de qualquer natureza.

O enquadramento dos corpos d'água do Estado de São Paulo foi estabelecido pelo Decreto nº 10.755 de 22/11/77.

Em 1986, a Portaria GM 0013 foi substituída pela Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, a qual considera que a classificação das águas é essencial à defesa de seus níveis de qualidade, que podem ser avaliados através de uma lista de 11 parâmetros indicadores de qualidade e mais

66 substâncias potencialmente prejudiciais. Estabelece limites para a emissão de poluentes segundo o tipo de poluição, não importando se o corpo receptor tem grande capacidade assimilativa ou não.

Esta Resolução classifica as águas em doces, salobras e salinas, e em nove classes segundo os usos da água e a qualidade que o manancial deve representar (Quadros 5.1 e 5.2).

Os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 20/86 são mais restritivos que os fixados pelo Decreto Estadual 8.468. Por esse motivo, no Estado de São Paulo, para a classificação dos corpos d'água, aplica-se esta Resolução, que segue as necessidades da comunidade e não o atual estado de qualidade do corpo d'água.

Deste modo, o fato de um trecho de rio estar enquadrado em determinada classe não significa, necessariamente, que esse seja o nível de qualidade que ele apresenta, mas sim aquele que se busca alcançar ou manter ao longo do tempo.

No Estado de São Paulo, a CETESB realiza um monitoramento de qualidade das águas interiores, onde considera os dados sócio-econômicos da região, o uso do solo e o uso pretendido dos recursos hídricos. Assim, a CETESB enquadra as águas do rio Sorocaba na Classe 02 da Resolução CONAMA 20/86. São as águas deste rio, que recebem os efluentes da mineração em estudo.

Quadro 5.1 – Limites e/ou condições para definição das classes de água, segundo Resolução CONAMA nº 20/86.

Águas	Salinidade
Doces	≤ 0,5 ‰
Salobras	> 0,5 e < 30 ‰
Salinas	≥ 30 ‰

Quadro 5.2 – Limites e/ou condições para definição das classes de água, segundo Resolução CONAMA nº 20/86.

Águas Doces	
<i>Classe</i>	<i>Uso</i>
Classe especial	a) ao abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção; b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
Classe 1	a) ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e) à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 2	a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; e) à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 3	a) ao abastecimento doméstico após tratamento convencional; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à dessedentação de animais.
Classe 4	a) à navegação; b) à harmonia paisagística; c) à dessedentação de animais.
Águas Salinas	
Classe 5	a) à recreação de contato primário; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies à alimentação humana.
Classe 6	a) à navegação comercial; b) à harmonia paisagística; c) à recreação de contato secundário.
Águas Salobras	
Classe 7	a) à recreação de contato primário; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à criação natural e/ou intensiva (agricultura) de espécies destinadas à alimentação humana.
Classe 8	a) à navegação comercial; b) à harmonia paisagística; c) à recreação de contato secundário.

5.3 – Índice de Qualidade da Água

A qualidade de água é um atributo geral das águas superficiais, independentemente do uso que dela se faz, tendo sido desenvolvidos índices gerais

de qualidade de água. Estes índices fornecem informações a respeito da qualidade da água, dando uma idéia geral da tendência da qualidade ao longo do tempo e permitindo comparação entre diferentes cursos d'água.

Como a água admite uma variedade de usos e, para cada uso são exigidas características específicas, vários Índices de Qualidade foram criados.

Segundo DERÍSIO (1992), o Índice de Qualidade das Águas – IQA, usado no Estado de São Paulo pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, é uma adaptação do índice da National Sanitation Foundation – NSF e se refere ao uso para consumo humano.

A obtenção do IQA da NSF, foi feita através de consulta a 142 especialistas de todas as partes dos Estados Unidos. Esta pesquisa, considerou as opiniões de cada especialista e o consenso do grupo. Deste modo, cada profissional indicou as variáveis de qualidade de água que deveriam ser medidas, o peso relativo das mesmas e a condição em que se apresentava cada uma delas, segundo uma escala de valores.

Foram selecionadas 9 das 35 variáveis inicialmente propostas. Para estas 9, foram então estabelecidas, a juízo de cada profissional, curvas e a variação da qualidade da água, de acordo com o estado ou condição de cada variável. Os julgamentos dos profissionais foram sintetizados em um conjunto de curvas médias, uma para cada parâmetro.

O IQA, é calculado pelo produtório ponderado da qualidade de água correspondente às 9 variáveis: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e resíduo total. Como as variáveis selecionadas não têm todas a mesma importância, foi estabelecido um sistema de ponderação para que se conseguisse uma nota global para a qualidade da água. Como cada parâmetro tem um peso de 0 a 1, e a somatória destes é igual a 1, o IQA é calculado pela fórmula (5.1).

$$\text{IQA} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (5.1)$$

onde:

IQA = Índice de Qualidade das Águas, um valor entre 0 e 100;

q_i = qualidade da i -ésima variável. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

W_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que;

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1$$

em que:

n = número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

π_i = produtório ($q_1^{W_1} q_2^{W_2} \dots q_n^{W_n}$).

No caso de não se dispor do valor de alguma das variáveis citadas anteriormente, o cálculo do IQA é inviabilizado.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA numa escala de 0 a 100, é classificada para abastecimento público, segundo a gradação a seguir:

80 a 100 = ótima

52 a 79 = boa

37 a 51 = aceitável

20 a 36 = ruim

0 a 19 = péssima

O IQA utilizado pela CETESB tem por objetivo avaliar a aptidão que as águas brutas apresentam para a produção de água potável. Anualmente, a CETESB realiza uma avaliação da qualidade das águas superficiais do Estado de São Paulo, cujo resultado é publicado no Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Na Figura 5.1, observa-se para as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos, os resultados dos estudos realizados no ano de 1997, bem como a

rede hidrográfica dos principais cursos d'água do Estado de São Paulo (CETESB, 1998).

No mapa, Níveis Atuais e Tendências da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo, o nível da qualidade das águas é representado pelo seguinte código de cores:

-  Azul: qualidade ótima
-  Verde: qualidade boa
-  Amarelo: qualidade aceitável
-  Vermelho: qualidade ruim
-  Preto: qualidade péssima.

Esta simbologia é usada para colorir os trechos das drenagens que têm a correspondente qualidade.

Já a tendência nos últimos 5 anos, é representado por círculos coloridos que também localizam os pontos de amostragem. Os círculos coloridos indicam:

-  Azul: tendência de melhora
-  Cinza: tendência indefinida
-  Vermelho: tendência de piora.

A importância deste levantamento de tendência, é que ele indica a necessidade ou não de adoção de medidas corretivas quando vier a se constatar que a qualidade das águas de uma drenagem esta piorando no decorrer do tempo.

Existem problemas na utilização de índices de qualidade da água pelo fato de se englobar num só número os valores de diversos parâmetros de qualidade. Isto leva a que não seja imediatamente identificado qual é o problema de qualidade da água que um determinado curso d'água possui, ou mesmo à dificuldade de identificação de tendências de melhoria ou não da qualidade da água, principalmente quando alterações são significativas em apenas alguns parâmetros.

MINAS GERAES

Mato Grosso do Sul

Paraná

Região Metropolitana de São Paulo

Níveis Atuais

IQA	QUALIDADE
80 - 100	Bom
52 - 79	Ótima
37 - 51	Aceitável
20 - 36	Ruim
0 - 19	Péssima

IQA - Índice de Qualidade das Águas
 Nota: Níveis mínimos de qualidade das águas (devenir 80% do tempo) e IQA apresentarem-se igual ou superior aos níveis indicados)

TENDÊNCIA NOS ÚLTIMOS 5 ANOS

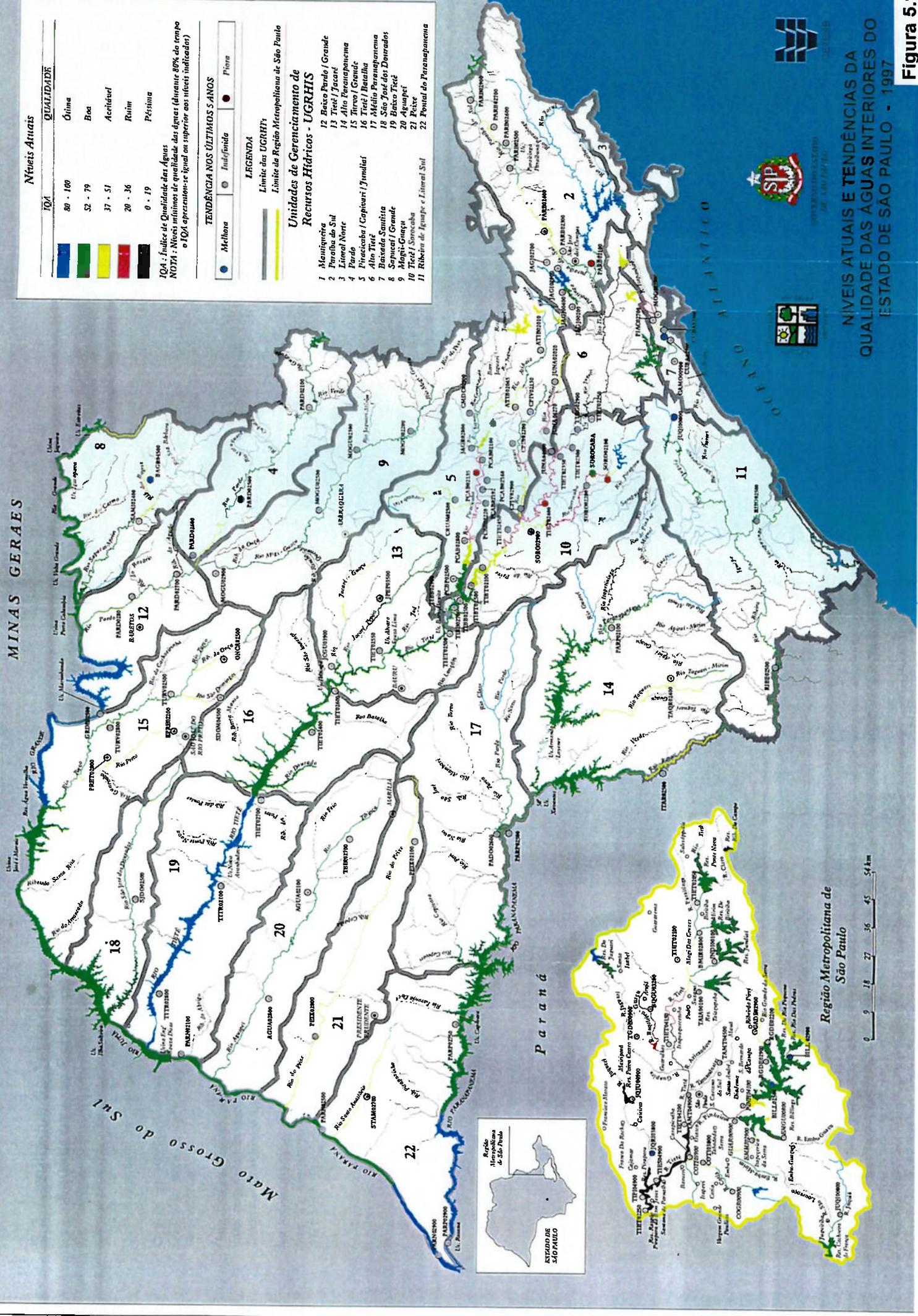
- Melhora
- Indiferente
- Piora

LEGENDA

Limite das UGRH's
 Limite da Região Metropolitana de São Paulo

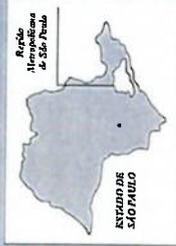
Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRH's

- Maneiraira
- Paraná do Sul
- Itaipava
- Paraná do Norte
- Paraná do Sul
- Paraná do Oeste
- Paraná do Leste
- Paraná do Centro
- Paraná do Sudoeste
- Paraná do Sudeste
- Ribeirão de Itaipava e Itaipava Sul
- Bacão Paró / Grande
- Tietê / Jacaré
- Alto Paranapanema
- Alto Tietê / Grande
- Alto Tietê / Batalla
- Médio Paranapanema
- São José dos Donatões
- Bacão Tietê
- Alto Tietê
- Paraná do Sul



NÍVEIS ATUAIS E TENDÊNCIAS DA QUALIDADE DAS ÁGUAS INTERIORES DO ESTADO DE SÃO PAULO - 1997

Figura 5.1



CAPÍTULO 6

LAVRA DE CALCÁRIO

Na região sul do estado de São Paulo ocorrem calcários metamórficos de elevada pureza que são utilizados para a produção de cimento Portland. Sua exploração é realizada, principalmente, para a produção de cimento Portland.

Na fabricação do cimento Portland, mistura-se calcário e material argiloso em proporções definidas, aquecendo-os a temperaturas acima de 800 °C. A mistura, denominada de clínquer, é posteriormente moído e despachado para embalagem.

6.1 – Geologia Regional

A literatura reconhece para a área que compreende o Estado de São Paulo, dois domínios litoestruturais (Figura 6.1).

Um domínio, o Complexo Cristalino, que cobre cerca de 24% do território leste, sudeste e sul do estado. Encontra-se encoberto por mantos sedimentares e penetrado por pequenas intrusões mesozóicas, representando o embasamento da plataforma.

Os bens minerais explorados na área que compreende o complexo cristalino são, em sua maioria, não metálicos e correspondem a pedra ornamental e britada, talco, bauxita, amianto, água mineral (com importantes estâncias hidro-minerais em Serra Negra e Lindóia), mármore, ardósias, caulim, grafita, rochas calcárias (dolomitos para revestimento e corretivo agrícola, calcários dolomíticos, magnesianos e calcíticos).

O outro domínio é representado pela bacia do Paraná e pelas bacias Terciárias de São Paulo e Taubaté, que estendem-se por cerca de 76% da área do estado, incluindo as unidades sedimentares (litorâneas e aluvionares), bem como as vulcânicas e as intrusivas.

As rochas das bacias sedimentares compõem os sistemas aquíferos de interesse regional que constituem os grandes reservatórios naturais de águas subterrâneas (CETESB, 1998).

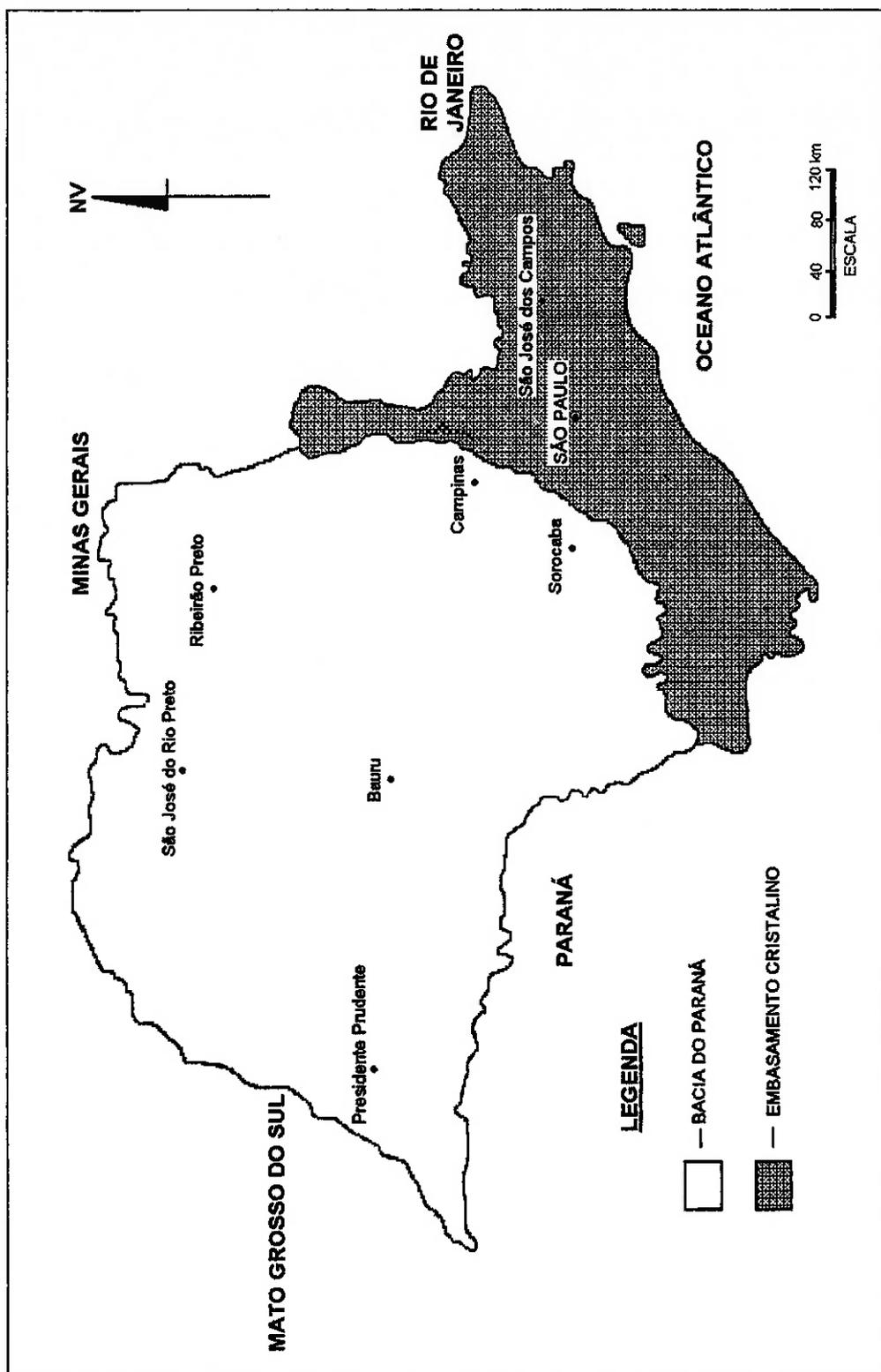


Figura 6.1 – Macrocompartimentação geológica do Estado de São Paulo (IPT, 1981).

O Grupo São Roque estende-se por uma ampla faixa na região nordeste do Paraná, prolongando-se no sul do Estado de São Paulo até as proximidades da Bacia Sedimentar de São Paulo.

Segundo IPT (1981), o Grupo São Roque configura uma faixa de orientação aproximadamente Leste-Oeste até a região a Norte de São Paulo, onde sofre uma suave inflexão para Nordeste. Seus limites são dados a Norte pelas Falhas de Itu e Jundiuvira, a Sul pela Falha de Taxaquara e a Leste-Nordeste pela cunha formada no encontro da Falha de Monteiro Lobato com a de Jundiuvira.

Os epimetamorfitos do Grupo São Roque são principalmente representados por quartzitos e filitos sericíticos e grafitosos. Subordinadamente, ocorrem metacalcários, metadolomitos, metabasito, itabirito e metaconglomerado oligomítico. O conjunto é considerado originalmente vulcano-sedimentar marinho. Essas rochas, penetradas por batólitos e *stocks* graníticos, desenvolveram auréolas de metamorfismo de contato, nas quais ocorrem gnaisses, micaxistos feldspáticos, *hornfels* calciossilicáticos, anfibolitos, quartzitos feldspáticos e mármore com biotita (HASUI *et al.*, 1984).

Os bens metálicos são pouco expressivos no Grupo São Roque. No entanto, ocorre magnetita, ferro, itabirito, ouro, esfalerita, galena, calcopirita, pirita, cobre e manganês. Os bens não metálicos são importantes, destacando-se rochas calcárias que constituem numerosas lentes entre Salto de Pirapora e Caieiras.

Têm-se conhecimento de três faixas de distribuição das rochas calcárias, orientadas no rumo Nordeste-Sudoeste e grosseiramente paralelas ao litoral.

Destas, a de nosso interesse, é a faixa central, constituída predominantemente por calcários puros e calcários dolomitizados distribuindo-se pelos municípios de Apiaí, Iporanga, Capão Bonito e Guapiara. Esta faixa parece prolongar-se ao Norte por Salto de Pirapora, Sorocaba e São Roque, atingindo os arredores da cidade de São Paulo no distrito de Perus (HASUI *et al.* 1969).

Os depósitos de rochas calcárias das minas em estudo, fazem parte da seqüência metassedimentar do Bloco São Roque, formando duas abas de uma provável estrutura sinclinal de camadas cíclicas, centimétricas a métricas de quartzitos, metarenitos e filitos (NOGUEIRA FILHO, 1976 ; BRANQUINHO, 1997).

A direção do eixo deste sinclinal é N60⁰E, mergulhando para sudoeste. Os calcários constituem lentes dentro desta estrutura sinclinal, acompanhados de dobras menores, variando lateralmente para dolomitos e calcários dolomíticos.

Os principais corpos de rochas carbonáticas são constituídos por calcários a calcários magnesianos maciços, microcristalinos, com estratificação e laminação bem desenvolvidos. Via de regra, todos os corpos de calcário são encaixados por calcários dolomíticos e dolomitos. Associadas às lentes de calcário podem existir intercalações de calcário dolomítico, calcário dolomítico grafitoso e dolomito.

Segundo SHIMADA (1999), a área das minas em questão, estaria incluída na Formação Pirapora, em contato possivelmente tectônico com a Formação Estrada dos Romeiros, ambas pertencentes ao Grupo São Roque. As metabásicas, incluídas na Formação Estrada dos Romeiros, são de ocorrência restrita na região de Santa Helena.

6.2 – Aplicação do Calcário

6.2.1 – Fabricação do Cimento

O cimento é conhecido desde a antigüidade, não se sabendo ao certo como se deu sua descoberta. O que se sabe é que os assírios e babilônios usaram a argila como material ligante, obtendo um material de baixa resistência. Por sua vez, os egípcios obtiveram uma ligação bem mais rígida e resistente usando argamassas de calcário e gesso, enquanto os romanos, adicionando cinza vulcânica ao calcário, obtiveram um cimento de grande durabilidade (CASTANHEIRA NETO, 1981).

Esta fórmula teria sido perdida na Idade Média, voltando a ser estudada no século XVIII.

Segundo SHIMADA (*op.cit*), vários materiais teriam sido experimentados resultando em:

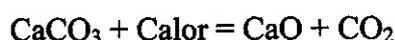
- cimento hidráulico, quando o inglês John Smeaton, em 1756, teria misturado cal hidráulica e tufo vulcânico italiano em proporções iguais;
- “cimento de Parker” ou “cimento romano”, como resultado da calcinação de calcário impuro contendo nódulos de argila, em experimento realizado por James Parker;

- cimento Portland, produzido pelo francês Louis Vicat, ao promover a mistura artificial de calcário e materiais argilosos, resultando em cimento de boa e constante qualidade;
- cimento Portland, patenteado em 1824 pelo inglês Joseph Aspdin que teria produzido cimento artificial feito pela calcinação de calcário argiloso. O cimento foi chamado de Portland, pois o concreto que se obtinha com ele assemelhava-se a uma famosa pedra de construção proveniente da ilha de Portland, nas vizinhanças da Inglaterra.

Segundo SHIMADA (1999), Aspdin teria se utilizado dos conhecimentos adquiridos por seus antecessores, chegando a um produto que diferia pouco do cimento de Louis Vicat. Vários autores contestam o crédito dado a Aspdin como o inventor do cimento e até mesmo o nome já teria sido utilizado em comentários de John Smeaton.

O cimento Portland manteve basicamente a mesma composição até as últimas décadas, a partir de quando apresentou variações, pela adição de componentes diversos. Pode ser utilizado como pasta (cimento mais água), argamassa (pasta mais areia), concreto (argamassa mais agregado – pedra britada), ou concreto armado (concreto mais armação de aço).

Quando o calcário é aquecido a temperaturas acima de 700 - 800 °C, ele se decompõe em dióxido de carbono (CO₂) e óxido de cálcio (CaO) - cal queimada, segundo a fórmula:



A cal queimada, quando misturada com água e deixada ao ar livre, absorve o CO₂ revertendo a reação química acima e endurecendo. A cal umedecida e misturada a areia é uma argamassa conhecida desde a antiguidade e muito usada para fabricação de tijolos.

Se uma pequena porcentagem de argila é queimada juntamente com o calcário, um tipo diferente de liga (clínquer) é conseguida através de processos que envolvem calcinação, sinterização e peletização. O cimento é então obtido através da moagem do clínquer com aditivos como gesso, escória siderúrgica, pozolanas e o próprio calcário.

a – A indústria cimenteira no Brasil

A história do cimento no Brasil, tem início em 1888, quando se iniciou a instalação de uma fábrica de cimento Portland na região de Sorocaba. Até o ano de 1926, quando realmente se considera implantada a indústria brasileira de cimento, foram feitas várias tentativas de produção de cimento. Por esta época, o consumo de cimento no Brasil era da ordem de 400.000 toneladas anuais, cabendo ao produto importado suprir quase totalmente as necessidades do país (CASTANHEIRA NETO, 1981).

Em 1997, a indústria de cimento no Brasil apresentava uma capacidade instalada de 45 milhões de toneladas, distribuída por 60 fábricas localizadas em 19 estados da Federação. Neste ano, a produção nacional de cimento apresentou um crescimento de 10,1% em relação a 1996 (CIMENTO, 2000a).

A região Sudeste concentrava 58,0% da produção nacional, seguida pelas regiões Sul e Nordeste (15,0%), Centro-Oeste (10,0%) e Norte (2,0%). A produção na região Sudeste em 1997 foi da ordem de 22 milhões de toneladas. Nesta região, localiza-se o principal produtor e o principal consumidor de cimento do Brasil, Minas Gerais e São Paulo, respectivamente. No primeiro semestre de 2001, esta situação tem se mantido, como ilustra a Figura 6.2.

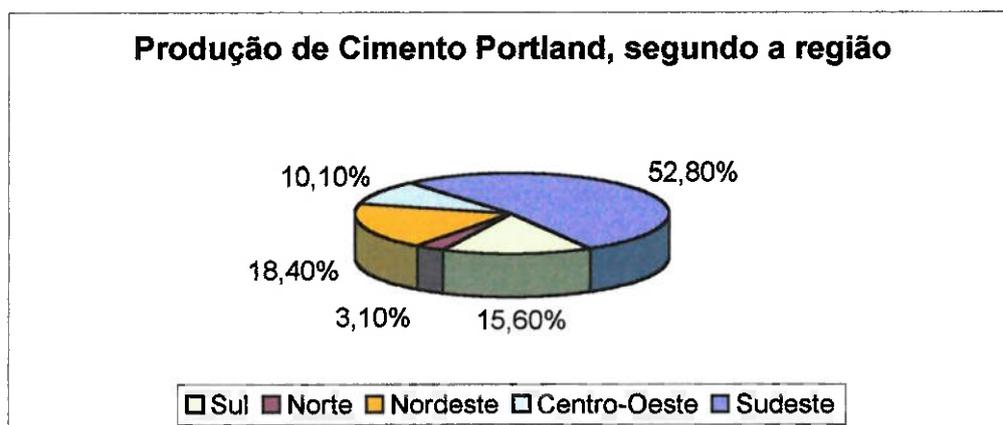


Figura 6.2 – Produção de cimento Portland segundo a região no primeiro semestre de 2001 (SINDICATO do CIMENTO, 2001).

Em 2000 o estado de São Paulo apresentava um déficit na produção de cimento da ordem de 4 milhões de t/ano, sendo este déficit coberto pelo Estado de Minas Gerais, que apresenta um excesso superior a 4,5 milhões de t/ano (SINDICATO DO

CIMENTO, 2000). Esta situação se mantém no primeiro semestre de 2001. A Figura 6.3 ilustra o consumo de cimento Portland para o para este período em todas as regiões do país.

A indústria brasileira de cimento opera com padrões tecnológicos internacionais. O marco fundamental da evolução tecnológica do setor ocorreu no período compreendido entre 1969 e 1978, com a opção pelo processo por via seca em substituição ao tradicional processo por via úmida, que representava 84% da produção em 1969 e 28% em 1978. Atualmente, o processo por via seca representa 98% da capacidade instalada do parque cimenteiro nacional, gerando uma economia de combustível de cerca de 25%, com ganhos de produtividade de até 20%, apesar de consumir mais energia elétrica (6 a 8%) e representar um investimento adicional de cerca de 30%, quando comparado ao processo por via úmida.

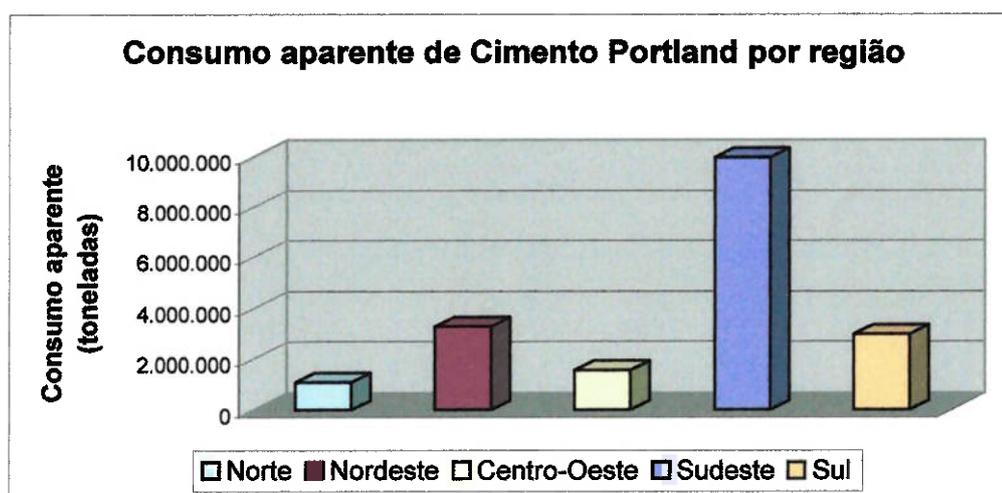


Figura 6.3 – Consumo aparente de cimento Portland segundo a região no primeiro semestre de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001).

As aquisições e fusões que ocorreram nos últimos anos na indústria cimenteira, provocaram uma concentração de fábricas com pequenas empresas sendo absorvidas pelos grandes grupos, ocasionando uma reestruturação do mercado.

Atualmente, o mercado de cimento brasileiro é dividido por 10 grupos empresariais que juntos produziram 18.790.109 toneladas entre janeiro e junho de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001). A Votorantim Cimentos lidera a produção com cerca de 42% do mercado. O grupo João Santos com 12% é seguido por Holdercim e Cimpor com 9% cada. Em seguida, com 8% do mercado de produção de cimento,

encontram-se a Lafarge e a Camargo Corrêa. A CP – Cimento tem 5% e os demais produtores somam o mercado com cerca de 12%.

O Grupo Votorantim com 10 fábricas, produziu em 2000, cerca de 16,6 milhões de toneladas, o que correspondeu a 41,87% da produção nacional de cimento. Em segundo lugar está o Grupo João Santos, com produção de 4,5 milhões toneladas de cimento no mesmo período. A Figura 6.4 ilustra a produção de cimento no Brasil por grupo industrial, onde se observa a liderança mantida por estes que estes grupos no primeiro semestre de 2001, com produção de 7,7 e 2,2 milhões de toneladas de cimento para os grupos Votorantim e João Santos, respectivamente (SINDICATO DO CIMENTO, 2001).

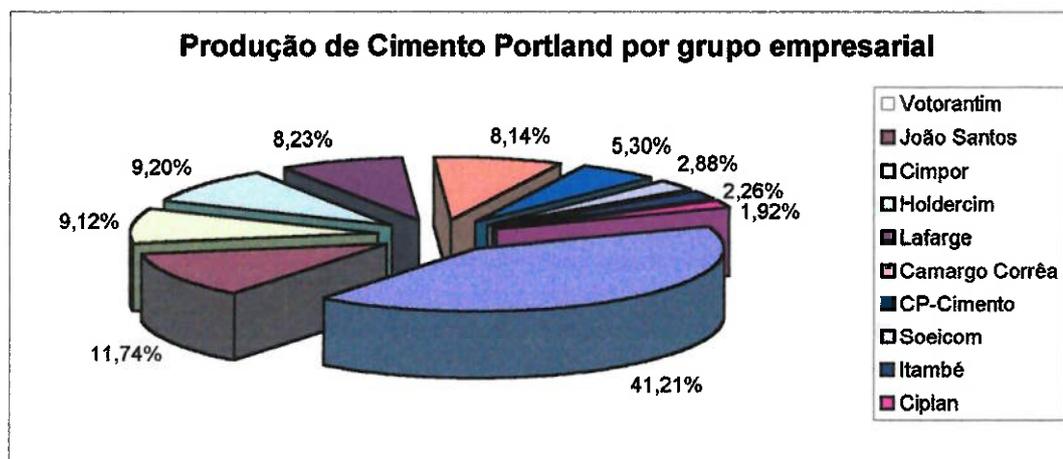


Figura 6.4 – Produção de cimento por grupo industrial, dados relativos à produção do primeiro semestre de 2001 (SINDICATO DO CIMENTO, 2001).

b – Processo de produção de cimento Portland

O cimento Portland é feito pela mistura e calcinação de materiais calcários e argilosos, em proporção que depende essencialmente de sua composição química e da composição que se deseja obter para o cimento Portland quando terminado o processo de fabricação.

A produção de cimento, tem início com a lavra da matéria-prima, rocha carbonática (de 75 a 80%) e argila (de 20 a 25%), ou outros componentes que contenham os mesmos componentes químicos (Figura 6.5). Além de matérias-primas naturais, algumas fábricas usam produtos artificiais como a escória de alto-forno, ou o carbonato de cálcio precipitado (subproduto da indústria de álcalis e de sulfato de

amônia sintético). Consomem-se, em pequena proporção, areia, refugos de bauxita e minério de ferro para a ajustagem da composição da mistura. Adiciona-se gesso (na proporção de 4 a 5%) para regular o tempo de endurecimento do cimento (SHREVE & BRINK, 1997).

O processo industrial de produção de cimento Portland tem início com as unidades de britagem primária e secundária, onde se reduz a granulometria da matéria-prima.

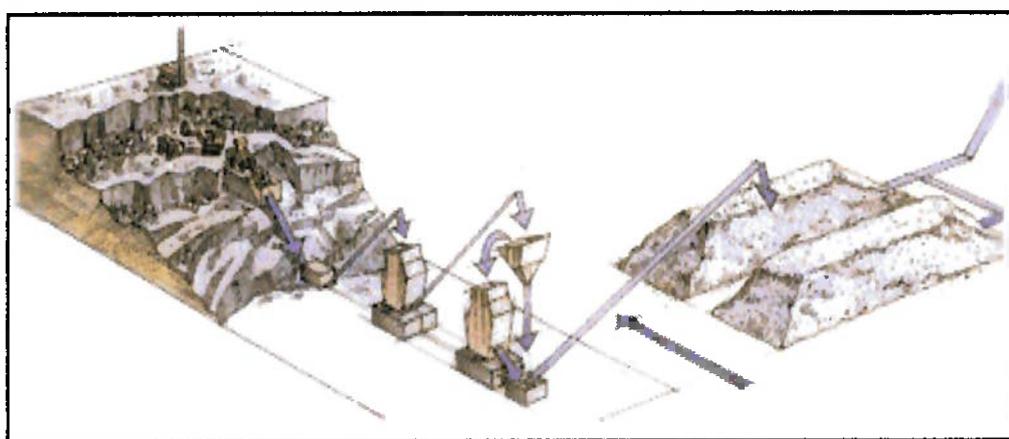


Figura 6.5 – Esquema da extração e beneficiamento de calcário em uma mina a céu aberto (CIMENTO, 2000b).

Após a extração e britagem da matéria-prima, esta passa por um processo de homogeneização. Em seguida, esta mistura é finamente moída para obtenção do cru (Figura 6.6).

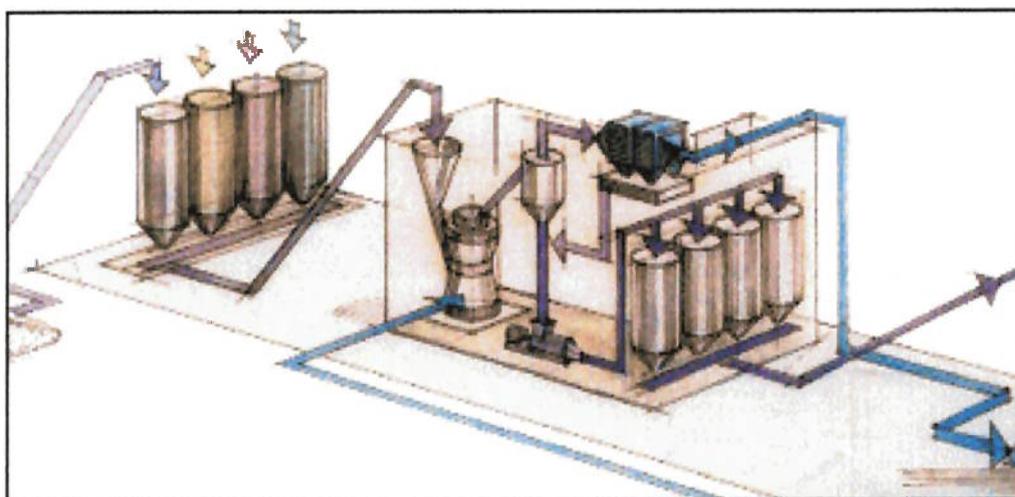


Figura 6.6 – Homogeneização e moagem da matéria-prima (CIMENTO, 2000b).

Posteriormente a mistura é cozida em forno rotativo a temperatura de 1.450 °C (Figura 6.7). Esta mistura sofre uma série de reações químicas complexas deixando o forno com a denominação de clínquer.

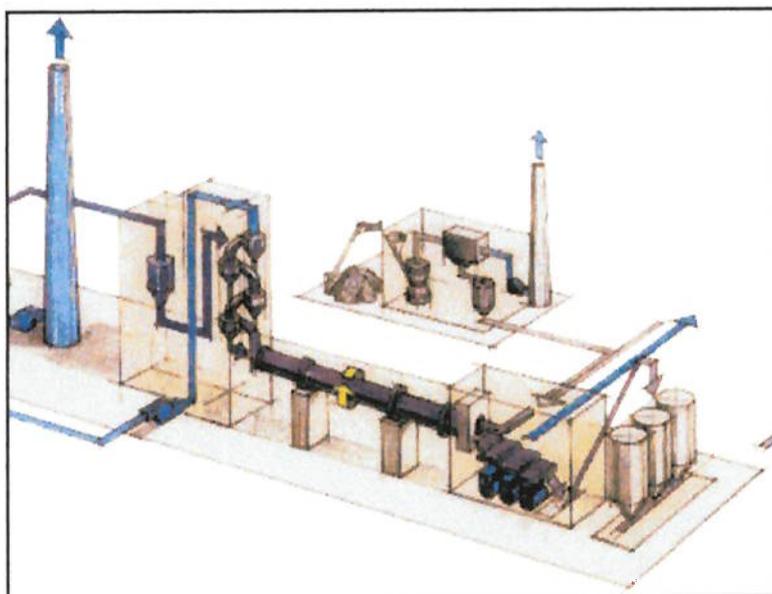


Figura 6.7 – Cozimento da mistura em forno rotativo (CIMENTO, 2000b).

Finalmente o clínquer é reduzido a pó em um moinho de cimento, juntamente com 3 - 4% de gesso, que tem a função de retardar o endurecimento do clínquer (Figura 6.8).

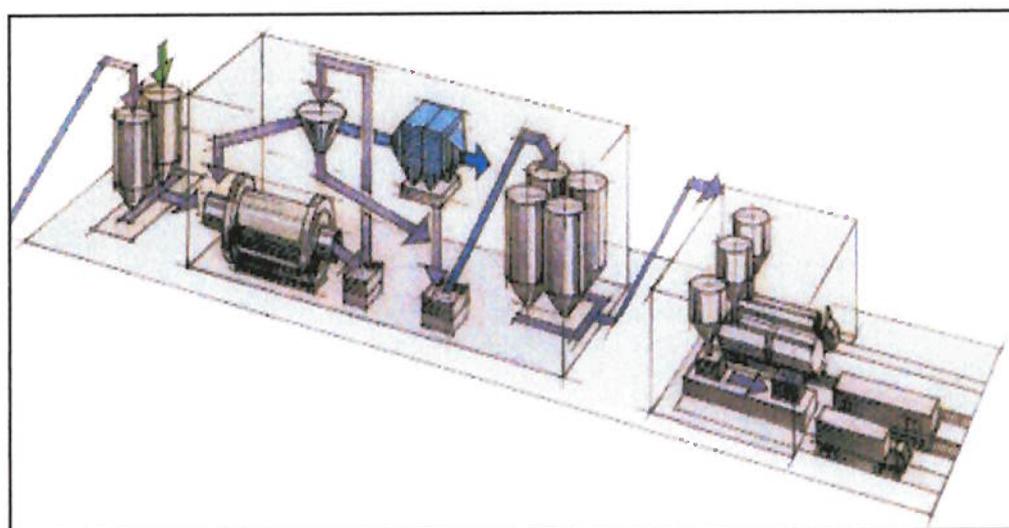


Figura 6.8 – Esquema de moagem e envazamento do clínquer (CIMENTO, 2000b).

Atualmente, há dois métodos para a fabricação do cimento, os processos a seco e a úmido. Nos dois, os minérios são extraídos e beneficiados de forma parecida. A diferença está nos processos de moagem, mistura e queima.

No processo a seco, os materiais são britados grosseiramente, passam por moinhos giratórios ou de martelos, são secados, classificados e cominuídos mais finamente em moinhos tubulares e depois classificados pneumaticamente. Misturado, este material seco e pulverizado, entra diretamente no forno rotatório, onde ocorrem as reações químicas. O calor é proveniente da queima de óleo, gás ou de carvão pulverizado. O produto final sai do forno como uma massa granular dura, denominada de clínquer. O clínquer é descarregado do forno em arrefecedores pneumáticos, que abaixam rapidamente a temperatura até a faixa de 100 – 200 °C. A pulverização, seguida pela moagem fina em moinhos tubulares de bolas e pelo ensacamento automático, completa o processo (SHREVE & BRINK, 1997).

No processo de fabricação por via úmida, a matéria-prima é moída com água e sai dos moinhos sob a forma de uma pasta, contendo cerca de 35 a 45% de água e é bombeada para grandes tanques cilíndricos, onde se processa durante várias horas a operação de homogeneização.

O processo úmido foi originalmente utilizado na fabricação industrial de cimento e é caracterizado pela simplicidade da instalação e da operação dos moinhos e fornos. Além disso, consegue-se uma excelente mistura e se produz muito pouca sujeira, requerendo sistemas simples de despoeiramento.

O processo seco tem a vantagem determinante de economizar combustível, já que não se tem água para evaporar no forno. Comparativamente, um forno de via úmida consome cerca de 1.250 kcal por kg de clínquer contra 750 kcal de um forno por via seca.

O forno de um processo por via seca é mais curto que um forno por via úmida, porém suas instalações de moagem e do forno são muito mais complexas. A homogeneização é mais difícil e as instalações requerem equipamento de despoeiramento muito mais complexos.

c – Matéria-prima

O principal condicionante da composição da rocha carbonática destinada à produção de cimento Portland, é o teor de magnésio, que deve ser no máximo de 4%. A rocha deve conter ainda, um mínimo de 42% de óxido de cálcio (CaO) e máximo de 10% de sílica (SiO₂) (CPRM, 1972 *apud* SHIMADA, 1999).

Bigarella classifica as rochas calcárias segundo os teores de óxido de magnésio (MgO) e óxido de cálcio equivalentes, podendo-se estabelecer 5 classes de calcários e dolomitos (Quadro 6.1). Destes calcários, apenas os calcários calcíticos e magnesianos são utilizáveis na fabricação de cimento. Com MgO acima de 3%, na farinha, passa-se a ter um constituinte nocivo no clínquer, expresso na forma de periclásio, que pode sofrer lenta expansão no concreto, rompendo-o (SHIMADA *op. cit* ; HASUI, 1977).

Quadro 6.1 - Classificação de rochas calcárias (BIGARELLA 1956 *apud* HASUI, 1977).

	MgO (%)	MgO/CaO
Calcário calcítico	0,0 - 1,1	0,00 - 0,02
Calcário magnesiano	1,1 - 4,3	0,02 - 0,08
Calcário dolomítico	4,3 - 10,5	0,08 - 0,25
Dolomito calcítico	10,5 - 19,1	0,25 - 0,56
Dolomito	19,1 - 22,0	0,56 - 0,72

Ainda segundo SHIMADA *op. cit*, a argila também deve apresentar especificações químico-mineralógicas. Ela deve conter sílica, alumínio e ferro em teores que permitam atender aos parâmetros químicos exigidos para a fabricação do cimento, tendo ainda Na₂O inferior a 3,0%, K₂O inferior a 4,0% e o menor conteúdo possível de quartzo. Se presente em excesso, os grãos de quartzo dificultam a moagem, implicam em maior consumo energético e dificultam a reação quando grossos.

6.2.2 – Calcário Agrícola – Corretivos

Define-se como corretivo todo material que, quando aplicado ao solo, corrige uma ou mais características desfavoráveis às plantas.

Uma das principais limitações relacionadas às rochas calcárias para corretivo é a granulometria. Quando a rocha apresenta-se grosseiramente cominuída, têm uma difícil assimilação no solo e quando apresenta-se finamente pulverizada, é assimilada com muita rapidez e parcialmente arrastada pelas enxurradas.

Para o seu emprego como corretivo, as rochas calcárias precisam obedecer a duas especificações básicas:

- a soma dos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO) deve ser no mínimo 38%;
- o material deve ser 100% passante em peneira nº 10 Tyler (abertura de 2 mm) e 50% em peneira nº 50 Tyler (abertura de 0,3 mm).

Essa especificação de granulometria tem sido obtida com o emprego de moinhos de martelo.

6.2.3 – Cal Hidráulica

Embora não existam especificações para o calcário empregado na fabricação da cal, o mercado consumidor desse produto vem se tornando cada vez mais exigente, forçando os produtores a conhecer melhor a composição das rochas calcárias que utilizam. Este conhecimento é importante não só para definir o tipo de cal, mas principalmente porque a presença de água e de matéria orgânica causa fenômenos de crepitação, que podem desintegrar a rocha em aquecimento, impedindo a sua total calcinação.

A localização da indústria de cal hidráulica no estado de São Paulo subordina-se a duas condições principais:

- tendo em vista a menor temperatura de dissociação, que varia de 480 °C para o dolomito a 898 °C para a calcita e o menor calor de dissociação desta última em relação à primeira (menos 10% aproximadamente), as jazidas de

dolomito, notadamente as de alto teor em carbonatos, como na região de Itapeva, são as mais adequadas;

- considerando ser a lenha o combustível utilizado pelos produtores de cal, a existência de terras para reflorestamento, a custo adequado, constitui, também, forte atrativo.

6.2.4 – *Fundente Siderúrgico*

O cal para fundente em metalurgia, é usado para formar escórias fluidas de silicatos de cálcio, que facilitam a eliminação das impurezas dos minérios. Para esse fim usa-se calcário puro ou magnesiano e também dolomito (ABREU, 1973).

A existência de reservas disponíveis, de relativo vulto, com teores considerados adequados para cal de aciaria, somente foi comprovada na região entre Salto de Pirapora e Votorantim, com toneladas recuperáveis a céu aberto, da ordem de 13 milhões de toneladas.

Grande parte das jazidas da faixa Salto de Pirapora-Votorantim apresenta condições de lavra a céu aberto relativamente difíceis, devido à espessura do capeamento e problemas de drenagem. Essas dificuldades são, entretanto, compensadas pela situação geográfica, o que tem feito com que sejam bastante pesquisadas.

6.2.5 – *Outros Usos*

Geralmente, as rochas calcárias destinadas a outros usos são obtidas paralelamente ou como um subproduto da extração para a fabricação de cimento ou da cal. Dentre eles pode-se citar:

- a - fabricação de vidro: para essa finalidade o calcário contribui com o cálcio para a formação do silicato complexo que é o vidro. O consumo de calcário varia entre 10 e 20% das cargas, havendo tipos de vidro cristal em que não se utiliza o calcário (ABREU, 1973);

- b - produtos químicos: podem ser citadas como as mais importantes a produção de carbonato de cálcio precipitado, de cloreto de cal, de carbonato de cálcio e diversos sais de cálcio;
- c - fabricação de plásticos;
- d - papel;
- e - rações de animais.

As rochas e minerais de natureza calcária destinados a vários usos industriais dependem principalmente de suas características químicas. Somente no caso de sua utilização como brita é que as suas características físicas são mais importantes.

6.3 – A Empresa de Mineração

A Fábrica de Cimento Votorantim opera em Santa Helena, município de Votorantim, desde a década de 30. Localiza-se próximo à Região Metropolitana de São Paulo, grande centro consumidor de material de construção, o que permite a adoção de técnicas pouco usuais no aproveitamento de bens minerais de baixa densidade econômica. Por ter os custos com o transporte reduzido, tornou-se viável a extração de calcário em mina a céu aberto e subterrânea.

A decisão pela lavra subterrânea de calcário, também teve como fator decisivo a proximidade de exaustão das reservas a céu aberto e a viabilidade técnica da lavra subterrânea (ESTON, 1992).

Atualmente, têm-se nesta empresa, três cavas desenvolvidas para a extração de calcário que são as minas Pastinho, Baltar e Placa, além de uma mina subterrânea, denominada Baltar subterrânea (Foto 6.1). A mina subterrânea foi desenvolvida no mesmo corpo mineralizado que a mina Baltar a céu aberto.

A mina Placa teve a lavra paralisada por se ter outros corpos de calcário com melhor composição química para a fabricação de cimento. Com a paralisação das atividades e o quase abandono da cava, formou-se um lago, no qual se desenvolveu um ecossistema. Nas águas da lagoa, tem-se criação de peixes, o crescimento de girinos e toda uma cadeia alimentar necessária à sua manutenção.

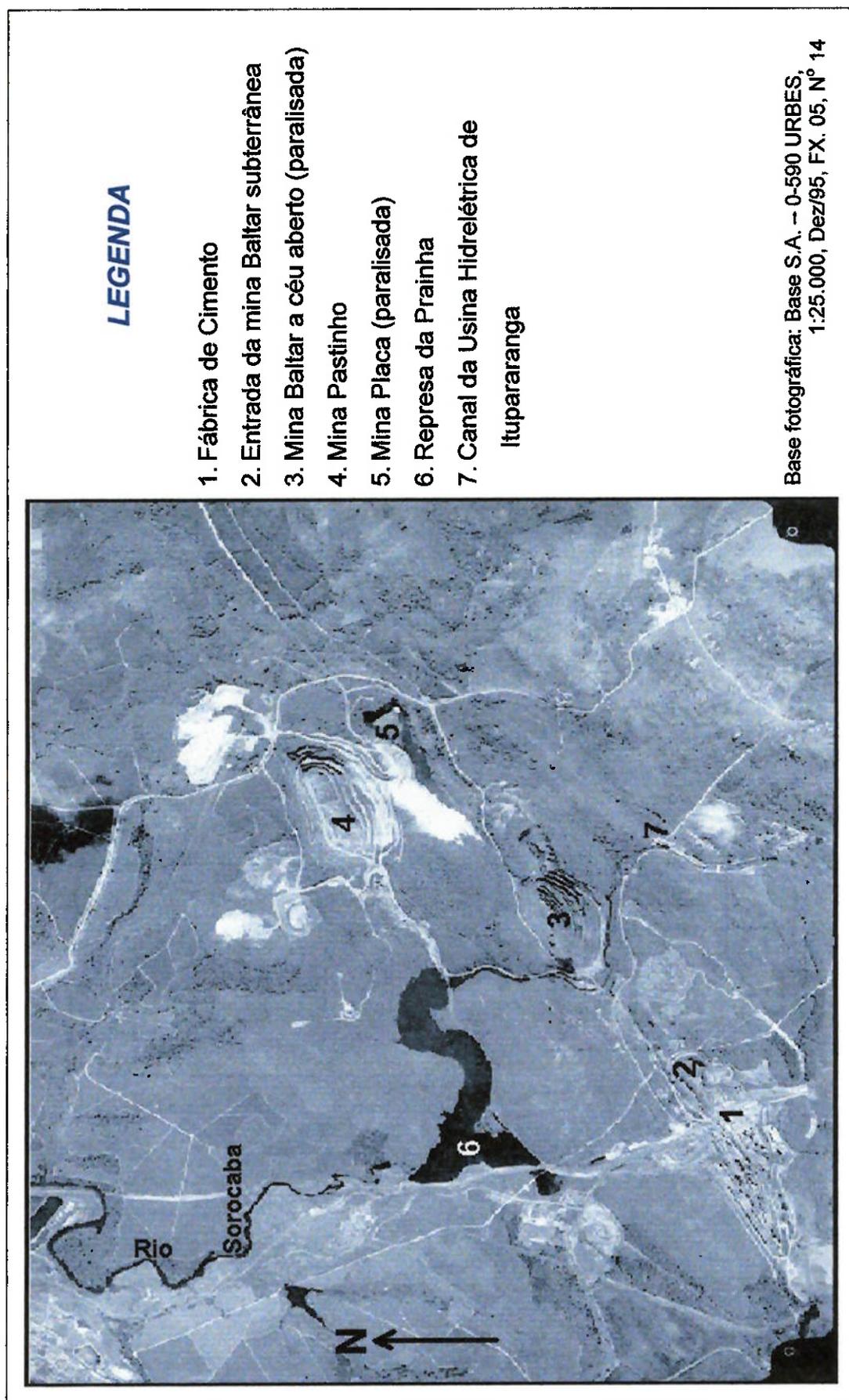


Foto 6.1 – Vista aérea da mineração.

Atualmente, a mina Pastinho é a única que se encontra em plena operação, à céu aberto. Juntamente com o minério extraído na mina subterrânea, alimenta a fábrica de cimento instalada na mesma área (Foto 6.1).

6.3.1 – A Lavra a Céu Aberto e em Subsolo

Na mina a céu aberto, o calcário é obtido por lavra em bancadas (Foto 6.2); na subterrânea, é utilizado o método por subníveis com perfurações longas. Os salões medem 110 metros de altura por 40 metros de largura e 80 metros de comprimento. A mina subterrânea tem 38 km de túneis e alcança mais de 200 metros abaixo da superfície.

A produção inicial da mina subterrânea, se deu em 1981 com 1 milhão t/ano, posteriormente evoluindo para cerca de 3 milhões t/ano.

O projeto da lavra subterrânea inclui, em suas fases principais: desmonte em salões por subníveis, carregamento e transporte do minério com equipamento convencional sobre pneus, britagem primária em britador giratório e elevação do minério à superfície por correias transportadoras. Existem serviços complementares de ventilação, bombeamento de água, energização, oficina de manutenção, refeitório e ambulatório. O acesso se dá por rampa com cerca de 1.850 metros de comprimento, 12,4% de inclinação, com 7,5 x 5,0 metros de seção, que permitem o acesso à mina de máquinas, equipamentos e pessoal.

6.3.2 – Drenagem Local

O Rio Sorocaba, principal corpo hídrico da região, nasce na vertente ocidental da Serra do Mar, no município de Ibiúna, passando pelos municípios de Votorantim, Sorocaba indo desaguar no rio Tietê, pela margem esquerda. Este rio é um dos principais formadores da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Sorocaba/Médio Tietê (UGRHI – 10). Suas águas são utilizadas para o abastecimento público e industrial, recepção de efluentes domésticos e industriais e irrigação de plantações.

Ao cortar a área da mineração de calcário em Votorantim, este rio é formado pelo canal de escoamento da Usina Hidrelétrica de Itupararanga e pela Represa da Prainha.



Foto 6.2 – Lavra em bancadas na mina Pastinho.

No trecho que corresponde ao lado sudoeste da mina do Baltar a céu aberto, o rio Sorocaba é canalizado em função da infiltração de água que ocasiona problemas para o desenvolvimento da mineração subterrânea instalada sob seu leito.

A canalização deste trecho foi realizada com o intuito de minimizar a infiltração de águas superficiais através do revestimento das margens e do fundo da drenagem nos pontos em que a infiltração de água era mais crítica (Foto 6.3).

Durante o desenvolvimento dos trabalhos, o curso do rio sofreu um desvio temporário, para facilitar a retificação do leito e o revestimento das margens. Para isso, o atual curso do rio foi dividido em dois canais, cujo divisor pode ser observado no detalhe da Foto 6.3. Este divisor só é visível em época de estiagem.

Os problemas ocasionados pela infiltração, decorrem do fato de estar, a mina subterrânea localizada abaixo do leito do rio. Neste caso, o grande volume de infiltração

das águas, causava interferência com as obras de abertura de galerias e da lavra do calcário.



Foto 6.3 – Trecho do rio onde se observa o revestimento das margens. No canto direito inferior, observa-se o detalhe do revestimento das margens e o divisor de canais. (Data: maio/99)

Atualmente, tem-se uma barragem construída no interior da mina subterrânea, para o acúmulo de água proveniente da infiltração de água no solo e maciço rochoso a partir de precipitação, dos trechos da drenagem não canalizados e das lagoas formadas no fundo das cavas a céu aberto.

Após os períodos de chuva, quando estas lagoas atingem aproximadamente 30 metros de profundidade, a empresa bombeia as águas acumuladas, esvaziando o lago. Esta operação visa diminuir o volume de água acumulada e seu conseqüente peso sobre a mina subterrânea.

As Fotos 6.4 (a) e (b) foram tiradas de pontos próximos, oferecendo a vista da lagoa cheia na cava da mina Baltar a céu aberto, no mês de janeiro de 1999, e seca, no mês de maio do mesmo ano. Na foto 6.4 (b) é possível observar, pela marca deixada no

talude da cava (indicada por uma seta), o nível atingido pela lagoa em seu período de maior cheia.



Foto 6.4 (a) – Lagoa cheia no fundo da cava da mina Baltar a céu aberto.

Foto 6.4 (b) – Lagoa seca no fundo da cava da mina Baltar. Atenção para o carro de passeio, abaixo da seta, usado como escala. A seta indica o nível máximo atingido pela lagoa.

As águas acumuladas no fundo das cavas não são provenientes apenas das precipitações pluviométricas. Elas correspondem também às águas de infiltração e percolação. A Foto 6.5 mostra um talude da cava a céu aberto molhada por água de escoamento superficial.

A água que infiltra no solo e corpo rochoso, é captada por drenos e canaletas e conduzida até o reservatório subterrâneo, sendo posteriormente bombeada para a superfície e lançada no trecho canalizado do rio (Foto 6.6).



Foto 6.5 – Talude da cava da mina Baltar céu aberto.



Foto 6.6 – Água bombeada da mina subterrânea e canaleta.

6.3.3 – Problemas Devidos a Condicionantes Geotécnicos

Na mineração a céu aberto, tem-se presente os riscos de deslizamento nos taludes que podem afetar grandes volumes de rocha e solo, afetando tanto a reserva mineral quanto o estéril.

A tipologia e mecânica destes processos é muito variada. Entretanto, é comum que os problemas envolvendo estabilidade estejam relacionados com uma drenagem insuficiente do talude. Muitas vezes, barreiras estruturais ou litológicas, não permitem que se proceda à drenagem do terreno, o que acaba por favorecer sua instabilidade.

Uma outra circunstância, relativamente freqüente, em que ocorrem deslizamentos, se dá quando a escavação ultrapassa o nível piezométrico. Nestes casos,

os taludes que antes eram estáveis, podem deixar de ser devido à presença de umidade residual e dos materiais drenados.

Em outros casos, os movimentos de terra podem ocorrer como consequência da reativação de um antigo deslizamento ou devido a uma descontinuidade estrutural do terreno.

As tecnologias para combater estas instabilidades visam sempre uma drenagem prévia do talude através de sondagens, bombeamento, etc.. Em todo o caso, é necessário estudar as condições de estabilidade do terreno seco e drenado, de acordo com os parâmetros geotécnicos da rocha.

A exploração mineral localizada abaixo do nível piezométrico, requer o rebaixamento do nível. Normalmente, estas áreas apresentam um contexto geológico heterogêneo e com barreiras hidrogeológicas muito diversas, podendo formar aquíferos ou setores não drenados com grande carga hidráulica. Sob estas condições, pode ocorrer irrupção de volumes catastróficos de água e lama. Nos locais em que ocorre, estas inundações tem deixado centenas de vítimas e grandes perdas econômicas.

Quando existe o risco de inundação em mina subterrânea, é importante:

- controlar o nível de água nas minas abandonadas e próximas;
- medir a pressão da água nos afluxos da mina;
- avaliar o impacto da irrupção de água nas rotas de fuga e na ventilação da mina;
- determinar o tempo mínimo necessário para avisar, evacuar e resgatar os mineiros.

Com bastante frequência estas irrupções de água tem relação com a presença de falhas e de cavidades carsticas, por onde normalmente se tem fluxo de água.

CAPÍTULO 7***PROCEDIMENTO PARA AMOSTRAGEM DE ÁGUA
EM MINERAÇÃO***

O desenvolvimento de um procedimento metodológico para a amostragem de água pela atividade de mineração deve ser detalhado em função do bem mineral extraído e do meio ambiente físico em que se situa o empreendimento.

Isto porque a mineração é uma atividade que se distingue de todas as outras por apresentar situações como diversidade de bens minerais, em diferentes formas e condições de jazimentos. A estas complexidades naturais, aliam-se aquelas provenientes da utilização de tecnologias específicas para a extração e beneficiamento do minério.

Várias técnicas de amostragem podem ser utilizadas, sendo que sua escolha ocorrerá em função dos objetivos da campanha, do meio onde será coleta a amostra e dos recursos disponíveis.

Os métodos normalmente utilizados consistem no uso de um recipiente para a coleta da amostra e seu envio para laboratório em tempo hábil para se processar a análise química. O uso de instrumentos de monitoramento contínuo ou de leitura instantânea, ainda é bem pouco difundido devido aos altos custos dos aparelhos.

Este procedimento de amostragem procura elencar itens preparatórios para a realização da amostragem, considerando a contribuição que trazem às etapas seguintes, de modo a estabelecer um roteiro para a realização de uma campanha de amostragem de água.

A norma NBR 12.649 – Caracterização de Cargas Poluidoras na Mineração, de setembro de 1992, e o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água da CETESB (1988), auxiliam na elaboração e realização da campanha de amostragem por abordarem, respectivamente, os impactos possíveis de ocorrerem e uma descrição das diversas metodologias de coleta de amostras.

Para que a campanha de amostragem seja bem sucedida, é importante termos sempre claro:

- a substância mineral que forma a jazida;

- as condições de ocorrência do minério e o meio físico em que se encaixa;
- as interações que ocorrem, entre o meio físico e o minério, incrementadas pela tecnologia utilizada;
- o objetivo da realização da pesquisa;
- os recursos disponíveis.

Todos estes elementos contribuem, em maior ou menor peso, para o estabelecimento dos parâmetros a serem analisados.

7.1 – Definição do Objetivo

Uma campanha de amostragem de água surge devido a uma ocorrência ou pela intenção de se obter referências para comparação posterior ou com padrões estabelecidos pela legislação, determinando os recursos disponíveis e a extensão de realização do estudo.

Assim, uma campanha de amostragem pode ser realizada com o objetivo de:

- definir o *background* para qualidade da água antes da implantação do empreendimento;
- monitorar a qualidade das águas para a verificação da conformidade com os padrões de qualidade fixados e a avaliação da tendência de qualidade ao longo do tempo;
- determinar ou quantificar a contaminação do corpo hídrico local e/ou regional em relação a acidentes ou lançamentos;
- avaliar o emprego de técnicas de remediação ou de prevenção da poluição;
- desenvolver pesquisa em função de algum sistema a ser implantado.

A definição por um destes objetivos ou conjunto deles, influencia diretamente na determinação dos pontos, na metodologia utilizada e na periodicidade da amostragem, podendo acrescentar ou mesmo excluir a análise de alguns parâmetros.

O objetivo de um plano de amostragem visa assegurar que as campanhas de amostragem forneçam dados de qualidade e em quantidade satisfatórios ao projeto em execução.

7.2 – Pesquisa sobre a Área e Processos

O estabelecimento dos procedimentos de amostragem, devem ser baseados em dados sobre o empreendimento ou similar, obtidos com a realização de uma pesquisa bibliográfica e de campo.

Inicialmente, deve-se realizar uma visita a área, com o objetivo de levantar informações sobre as:

- técnicas de extração e beneficiamento do minério, bem como do tratamento dado aos rejeitos e efluentes. Devem ser considerados os insumos e produtos trabalhados na área;
- ocorrência histórica de acidentes, lançamentos ou disposição de estéril ou rejeito que possam impactar a rede hídrica devido a maior exposição aos agentes de poluição;
- a realização de campanhas de monitoramento anteriores;
- dados sobre a geologia da jazida, de modo a conhecer sua litologia e geomorfologia, detalhando em mapa a ocorrência de surgência d'água, drenagens naturais e de captação de escoamentos superficiais, pontos de lançamento de efluentes, etc.;
- as interferências causadas sobre o meio físico e que podem potencializar a poluição.

Estas informações irão possibilitar o estabelecimento de diretrizes que auxiliam na execução do projeto, sem que esforços repetidos ou desnecessários sejam realizados.

Nesta fase, deve-se consultar a legislação e publicações que forneçam dados sobre o tipo de jazimento em estudo e que tratem dos impactos geralmente acarretados por sua exploração. A NBR 12.649 – Caracterização de Cargas Poluidoras na Mineração, fixa diretrizes que permitem a caracterização qualitativa do potencial poluidor e modificador pela mineração, a partir de análise dos parâmetros de qualidade da água.

A norma é apresentada na forma de uma matriz, onde na horizontal, encontram-se listadas as etapas de desenvolvimento de um empreendimento mineral. Na vertical, apresentam-se os parâmetros do meio físico potenciais de serem alterados. Quando a

etapa desenvolvida pode potencializar o impacto de determinado parâmetro, este item é assinalado.

A norma foi desenvolvida, considerando 26 substâncias minerais, o tipo de lavra, os possíveis efluentes naturais ou resultantes de reações introduzidas nas várias etapas da mineração e o apoio em comparação com os limites de emissão dos poluentes estabelecidos pela legislação vigente (NBR 12.649).

O Quadro 7.1 é um exemplo da matriz desenvolvida para o estudo de calcário em lavra a céu aberto. A análise deste quadro, permite considerar para os parâmetros gerais, duas situações capazes de causar o incremento dos parâmetros restantes. Assim, destacam-se:

- a - A presença de sólidos, presente em maior intensidade em todas as fases do projeto, que em seus diferentes tamanhos, pode ocasionar o incremento da turbidez, do pH, da alcalinidade e da dureza.
- b - A presença do lençol freático, cujo rebaixamento pode ser necessário e que, caso executado de modo impróprio, pode acarretar a poluição, a alteração no volume de água superficiais ou mesmo a subsidência do solo na região.

7.3 – Localização dos Pontos de Amostragem

Analisando-se as informações obtidas com a pesquisa de área, que devem permitir a visão geral de localização da rede hídrica na bacia hidrográfica, pode-se definir os pontos de amostragem, locando-os em mapa ou planta da área. A seleção dos locais de amostragem, devem ser justificadas com a finalidade de utilização dos resultados.

A definição destes pontos deve considerar o acesso e as possíveis limitações ou interferências aos pontos de amostragem, além da disponibilidade de apoio local para armazenamento e transporte do material de coleta e amostras, a situação das vias de acesso e o tempo necessário para a realização dos trabalhos.

Estabelecendo inclusive, o roteiro de amostragem em função das informações históricas de contaminações, das características do corpo a ser amostrado e das vias de acesso. Por exemplo, a definição do ponto de amostragem, deve considerar a ocorrência de zonas de estagnação ou zonas de mistura, que podem afetar a distribuição ou volatilização de componentes na água.

7.4 – Amostragem de Água

A seguir serão discutidos os procedimentos para a coleta de amostras de água, tratando-se da coleta de amostras simples e compostas em águas superficiais e subterrâneas.

A escolha de uma técnica correta para coletar amostras é de suma importância, estando envolvidos dois aspectos: o dispositivo de amostragem e o método operacional.

Os dispositivos ou equipamentos de amostragem não serão necessários quando estiverem disponíveis instrumentos ou sensores que possam ser diretamente imersos no corpo d'água, como, por exemplo, os sensores para medição de condutividade elétrica e oxigênio dissolvido.

Quando estes dispositivos não se encontram presentes, devem ser consideradas as características do corpo amostrado, se superficial ou subterrâneo para então se definir se a coleta será realizada manualmente ou com auxílio de equipamentos.

7.4.1 – Amostras Simples e Compostas

Amostras simples de água são coletadas em um único ponto, de um único local e sobre um único intervalo de tempo, enquanto as amostras composta, são coletadas em diversas profundidades durante um determinado intervalo de tempo, correspondendo a uma mistura onde se obtém a qualidade média do corpo d'água no período considerado.

É importante lembrar que alguns parâmetros não podem ser amostrados pelo sistema de composição de amostras, devido a volatilização que podem sofrer pela exposição ao ar.

A coleta de amostras simples ou compostas podem ser realizadas para as águas superficiais e subterrâneas.

7.4.2 – Amostragem de Água Superficial

A amostragem de águas superficiais podem ser realizadas em córregos, rios, lagos e represas, requerendo em alguns casos o uso de equipamentos especiais para auxiliar em sua realização. Geralmente, o equipamento necessário para a coleta de águas superficiais é mínimo, utilizando-se do próprio frasco como ferramenta de amostragem.

Cuidados devem ser tomados com a determinação do ponto de coleta, evitando-se áreas onde possa ocorrer estagnação da água ou locais próximos à margem interna das curvas. Nestas áreas, podem ocorrer concentrações de contaminantes, o que deve ser evitado.

A amostragem em rios e córregos, devem ser realizadas de jusante para montante, para evitar que restos de contaminantes na água, provenientes dos sedimentos de fundo, sejam coletados.

Quando ocorrer a descarga de um efluente ou drenagem em um pequeno curso de água, é recomendado que se realize a coleta de amostras a montante e a jusante do ponto de lançamento, com a inclusão opcional de pontos adicionais para avaliar o grau de poluição ou assimilação de carga orgânica ao longo do trecho em estudo.

Na amostragem de grandes cursos de água, deve-se tomar cuidado especial com as distâncias requeridas para que ocorra a mistura dos lançamentos de poluentes no corpo receptor. O que pode ocorrer em velocidades diferentes quando se considera a mistura na direção lateral (de uma margem a outra), mais lenta, e a mistura na direção vertical (da superfície ao fundo) mais rápida.

A amostragem de qualquer corpo d'água deve ser suspensa durante e logo após chuvas e enxurradas que possam aumentar significativamente a vazão do curso de água, a não ser que se desejem dados sobre a quantidade da água durante uma enxurrada ou das alterações ocasionadas na drenagem pelo aumento, descontrolado, de água e sedimentos.

Em lagos e reservatórios, a amostragem depende totalmente dos objetivos, tais como estudo de sedimentação de material sólido, dispersão e degradação de poluentes orgânicos, distribuição e comportamento de metais e pesticidas, eutrofização e carga de nutrientes, adequabilidade das águas à recreação, indústria e abastecimento público, etc.. Cada caso requer uma metodologia específica tanto de coleta, quanto de análises e interpretação de dados (CETESB, 1987).

7.4.3 – Amostragem de Água Subterrânea

As águas subterrâneas apresentam características qualitativas relacionadas com as estruturas geológicas por onde circulam e as adquiridas de fontes externas que, devido à infiltração, promovem a contaminação do lençol subterrâneo.

A coleta de água subterrânea, é realizada através da instalação de poços de amostragem que possibilitam a introdução de um instrumento coletor.

Se estiverem disponíveis informações de qualidade da água, a ordem de amostragem dos poços deve seguir do poço menos contaminado para o poço mais contaminado, evitando-se a contaminação cruzada das amostras.

A hidroquímica da água subterrânea é diferente da encontrada nas águas superficiais. Sua exposição às condições normais da atmosfera pode resultar numa perda substancial da integridade da amostra. Por isso, estas devem ser preservadas de maneira que se previna qualquer mudança química da amostra.

7.4.4 – Instrumentação

Informações qualitativas úteis sobre a água podem ser derivadas de certos parâmetros gerais determinados por métodos analíticos de considerável experiência histórica. Tais parâmetros incluem pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos, sólidos totais em suspensão, acidez ou alcalinidade, dureza, demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido.

Métodos para muitas substâncias inorgânicas também estão bem estabelecidos, como para vários metais, cloretos e carbonatos.

Para a determinação de substâncias inorgânicas na água, instrumentos baseados em eletroquímica e técnicas óticas, espectroscopia de emissão e de absorção têm sido utilizados. Exemplos incluem eletrodos íon-sensitivos e procedimentos espectrofotométricos para muitos compostos. Em geral, a tendência moderna é analisar simultaneamente vários elementos na mesma amostra e a análise por absorção atômica para metais tem caminhado nessa direção.

Programas ambientais freqüentemente podem requerer mais de 100 amostras diárias para análise em um único instrumento, e a análise multi-elementar oferece, assim, significativo ganho em eficiência.

Para substâncias orgânicas, poucas técnicas clássicas são utilizáveis. Uma exceção notável é a análise de fenóis, para os quais foram desenvolvidos métodos colorimétricos sensíveis até 5 ppb. Cromatografia de gás, espectroscopia de infravermelho e espectrometria de massa têm fornecido a maior parte das ferramentas essenciais.

Dados de monitoramento de água são também largamente obtidos por instrumentos operados manualmente no laboratório, usando amostras trazidas do local. Por outro lado, procedimentos automáticos estão se tornando cada vez mais comuns.

Muitos instrumentos de laboratório podem ser automatizados até certo grau, pelo menos, mas as duas principais aproximações do monitoramento automático envolvem transdutores ou sensores eletroquímicos e métodos químicos via úmida. Na primeira abordagem o sensor é simplesmente inserido na amostra (ou no corpo de água) sem alterar sua natureza físico-química. Na segunda, reagentes são adicionados à amostra e medições colorimétricas são realizadas após as reações desejadas terem sido completadas. As principais restrições a estes sistemas de monitoramento são a limitada variedade de sensores disponíveis e, em alguns casos, desempenho insatisfatório dos mesmos.

Equipamentos baseados em transdutores ou sensores normalmente podem medir temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez, pH, intensidade de insolação, cloreto, potencial de oxi-redução. Sondas seletivas para fluoreto, nitrato, cianeto, sulfeto e cobre também são usadas.

Sistemas baseados em sensores podem ser projetados para monitorar rios e correntes continuamente e sem a necessidade de operadores, exceto para manutenção periódica e para leitura, gravação ou envio de dados para um ponto central, como um centro de computação.

7.5 – Procedimentos Pós-amostragem

Os procedimentos pós-amostragem envolvem o preparo das amostras para transporte e a descontaminação dos equipamentos utilizados.

Em alguns casos, pode ainda englobar a realização de medição de certos parâmetros em campo, como pH, condutividade elétrica, a temperatura do corpo d'água no instante de amostragem, etc.. Nestes casos, recomenda-se que a realização das

medidas seja feita logo após a coleta da amostra. Quando possível, as medidas devem ser efetuadas diretamente no poço ou corpo d'água superficial.

Após a coleta das amostras, deve-se prepara-las para o transporte, em alguns casos, é necessária a adição de preservante para garantir a integridade da amostra. Em outras situação, apenas a refrigeração da amostra é suficiente. Deve-se lembrar que os métodos de preservação são limitados e têm a intenção de retardar ações biológicas, hidrólises de compostos químicos e complexos voláteis.

A descontaminação dos equipamentos utilizados na amostragem, pode ser realizada no próprio local de amostragem, através da lavagem com detergentes e água.

CAPÍTULO 8

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo de caso desenvolvido nesta pesquisa foi realizado em uma empresa de mineração de calcário localizada na região de Sorocaba, estado de São Paulo, onde se canalizou o rio para possibilitar o desenvolvimento da mineração subterrânea de calcário.

Os resultados apresentados neste trabalho provem de 2 diferentes campanhas de amostragem realizadas em períodos distintos, uma referente a dados regionais e outra a dados locais, quando se aplicou o procedimento apresentado anteriormente.

Assim as amostragens são referentes à:

- campanha de monitoramento da qualidade das águas superficiais realizada pela CETESB para a bacia hidrográfica do rio Sorocaba, no ano de 1999;
- campanha de medição de parâmetros de qualidade da água realizada especificamente na mineração de calcário.

8.1 – Dados Regionais

Os dados regionais foram compilados do “Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 1999”, produzido pela CETESB.

Neste relatório, é apresentada a distribuição dos corpos d’água, em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHIS, onde foram definidos pontos para a amostragem de água, como pode ser observado na Figura 5.1 do Capítulo 5, para a campanha realizada no ano de 1997.

Destas unidades, a de número 10 – Tietê/Sorocaba, abrange a área de desenvolvimento deste estudo.

No rio Sorocaba, a CETESB definiu 6 pontos de amostragem (Figura 8.1), que são:

- a - SOIT 02 100 – localizado no reservatório de Itupararanga, no meio do corpo central, em frente à Praia do Escritório;

- b - SOIT 02 900 – localizado no reservatório de Itupararanga, próximo a barragem, na estrada que liga Ibiúna a Votorantim;
- c - SORO 02 100 – localizado na Ponte do Pinga-Pinga, no município de Sorocaba, corresponde a uma área de vegetação rasteira, com margens estáveis e leito arenoso. Para este ponto, a amostragem é realizada de cima da ponte, coletando a amostra da parte central do rio. O ponto está localizado a cerca de 10 km a jusante do Reservatório de Votorantim.
- d - SORO 02 200 – localizado em uma ponte na estrada municipal que liga Sorocaba à rodovia Castelo Branco, em Itavuvu. Este ponto monitora o rio Sorocaba após este já ter recebido a maior parte de sua carga poluidora;
- e - IPAN 02 500 – localizado no córrego Ipanema, ponte no km 12,5 da estrada que liga Sorocaba a Iperó. Um dos afluentes da margem esquerda do rio Sorocaba;
- f - SORO 02 900 – localizado na ponte que liga Laranjal Paulista à localidade de Entre Rios. O ponto está localizado a 10 km a montante da desembocadura do rio Sorocaba no Tietê.

O Quadro 8.1 mostra o índice de qualidade das águas para estes 06 pontos no ano de 1999, apresentado através de uma convenção de cores.

Dos pontos de amostragem definidos pela CETESB, os que mais se aproximam da mineração são:

- SOIT 02 900, localizado a montante do empreendimento. Neste ponto de coleta, as águas são utilizadas para a geração de energia elétrica e captação para abastecimento urbano e industrial. Os resultados obtidos com a análise da amostra são apresentados no Quadro 8.2;
- SORO 02 100, localizado a jusante do empreendimento. Este trecho de rio encontra-se sob a influência das áreas urbanas de Votorantim e Sorocaba, sendo que, tanto a montante quanto a jusante do ponto de monitoramento, a água do rio é utilizada como receptora de efluentes líquidos industriais e domésticos e para abastecimento industrial. A jusante, as águas do rio também são utilizadas para abastecimento urbano. Os resultados obtidos com a análise da amostra são apresentados no Quadro 8.3.

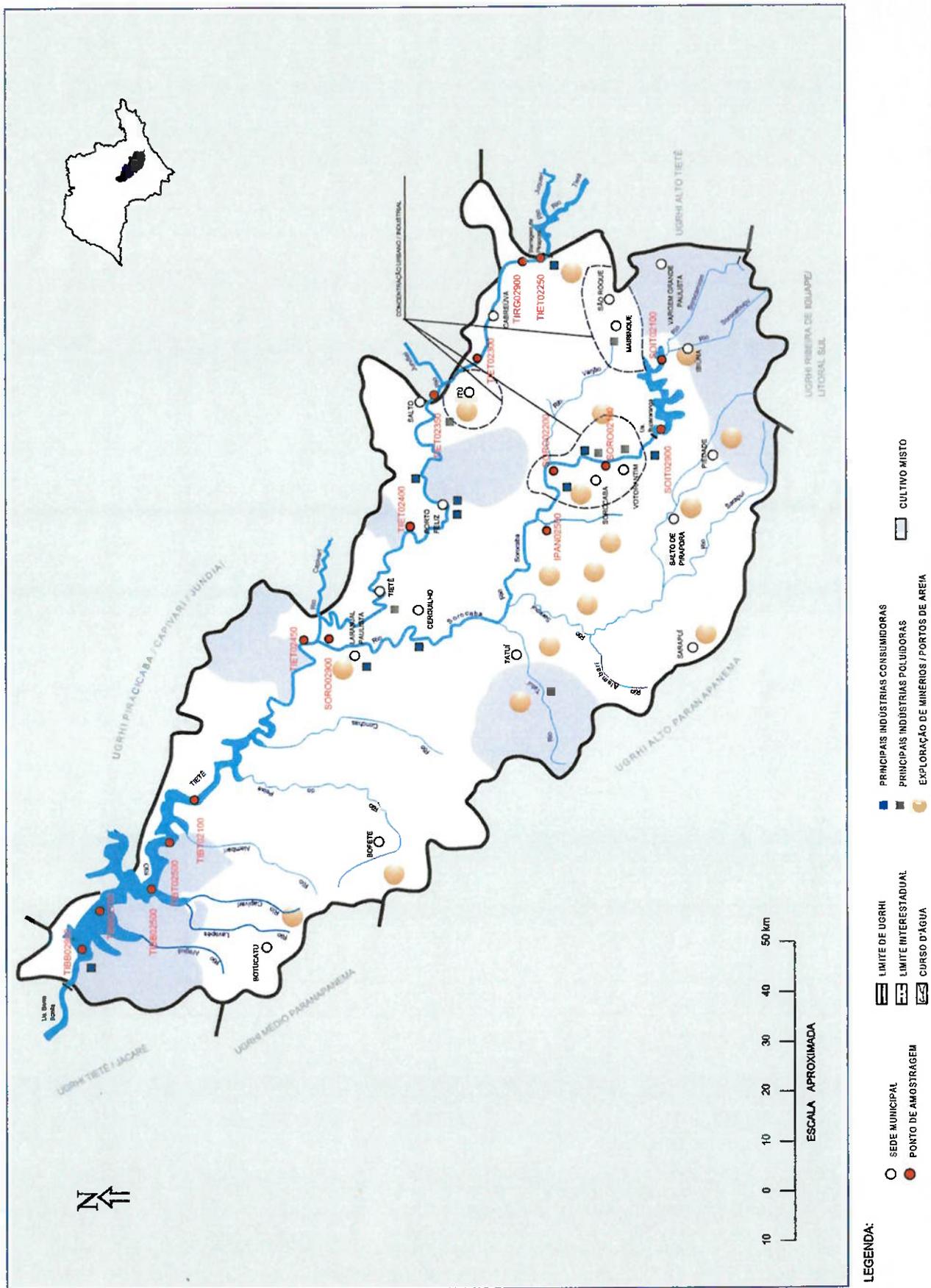


Figura 8.1 – UGRHI 10 – Sorocaba e Médio Tietê (CETESB, 2000).

Quadro 8.1 – Índice de qualidade das águas – IQA (CETESB, 2000).

Ponto de amostragem	Ago 1999	Set 1999	Out 1999	Nov 1999	Dez 1999	Jan 2000	Fev 2000	Mar 2000	Abr 2000	Mai 2000	Jun 2000	Jul 2000	Média
SOIT 02 100		Qualidade Ótima		Qualidade Ótima		Qualidade Ótima		Qualidade Ruim		Qualidade Ótima			Qualidade Ótima
SOIT 02 900		Qualidade Ótima		Qualidade Boa		Qualidade Ótima		Qualidade Ótima		Qualidade Ótima		Qualidade Ótima	Qualidade Ótima
SORO 02 100		Qualidade Aceitável		Qualidade Aceitável		Qualidade Aceitável		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim	Qualidade Ruim
SORO 02 200		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim		Qualidade Ruim		Qualidade Aceitável	Qualidade Aceitável
IPAN 02 500		Qualidade Ótima		Qualidade Boa		Qualidade Boa		Qualidade Boa				Qualidade Ótima	Qualidade Ótima
SORO 02 900		Qualidade Aceitável		Qualidade Boa		Qualidade Aceitável		Qualidade Boa		Qualidade Boa			Qualidade Boa

Legenda:
■ Qualidade Ótima ■ Qualidade Boa ■ Qualidade Aceitável ■ Qualidade Ruim ■ Qualidade Péssima

Quadro 8.3 - Resultados dos parâmetros analisados para o ponto SORO 02 100 (CETESB, 2000).

RESULTADOS DOS PARÂMETROS E INDICADORES DE QUALIDADE E QUANTIDADE DAS ÁGUAS - 1999													
LOCAL: RIO SOROCABA, PONTE DO PINGA - PINGA, AV MARGINAL, NO MUNICÍPIO DE SOROCABA													
CÓDIGO DO LOCAL: 00SP10669SORO02100				CLASSE : 2				UGRHI - 10 : SOROCABA / MÉDIO TIETÉ					
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
INFORMAÇÕES DE CAMPO													
NÚMERO DA AMOSTRA		14566		14631		14777		14906		15082		15247	
DIA DA COLETA		6		16		18		20		21		23	
HORA DA COLETA		17:00		13:00		11:20		10:40		11:30		11:30	
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim		Não		Não		Não		Não		Sim	
COLORAÇÃO		Marrom		Marrom		Marrom		Turva		Marrom		Marrom	
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS													
TEMPERATURA DO AR (°C)		22		30		20		23		24		30	
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		25		25		20		19		22		23	
pH	6,0 a 9,0	7,2		7,1		7,2		7,0		7,0		6,9	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	5,2		6,3		5,7		5,4		4,9		3,5	
DBO _{5,20} (mgO ₂ /L)	5	* 10		* 6		* 10		* 15		* 16		* 12	
DQO (mgO ₂ /L)		52		<17		<17		34		37		44	
NITRATO (mgN/L)	10,00	0,41		<0,20		<0,20		0,28		<0,20		<0,20	
NITRITO (mgN/L)	1,000	0,040		0,020		0,050		0,040		0,050		0,030	
AMÔNIA (mgN/L)	# 0,50	0,17		0,45		* 1,40		* 2,10		* 3,07		* 1,84	
KJELDAHL (mgN/L)		0,50		1,90		2,30		3,53		3,18		2,76	
NITROGÊNIO TOTAL (mgN/L)		0,95		2,12		2,55		3,85		0,25		2,99	
ORTOFOSFATO SOLÚVEL (mgP/L)		<0,010		0,020		0,080		0,110		0,210		0,050	
FÓSFORO TOTAL (mgP/L)	0,025	* 0,170		* 0,160		* 0,230		* 0,210		* 0,540		* 0,120	
RESÍDUO FILTRÁVEL (mg/L)	500	85		95		84		66		82		129	
RESÍDUO NÃO FILTRÁVEL (mg/L)		247		13		22		10		30		36	
RESÍDUO TOTAL (mg/L)		332		108		106		76		112		165	
TURBIDEZ (UNT)	100	* 125		25		10		10		20		15	
CLORETO (mg/L)	250,0	10,5		7,1		7,9		9,7		11,4		11,4	
SURFACTANTES (mg/L)	0,50	0,04		0,14		0,07		<0,04		0,30		0,27	
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		115		95		102		133		145		132	
ALUMÍNIO (mg/L)	0,10	* 6,18				<0,10		* 0,57				* 1,72	
BÁRIO (mg/L)	1,00	0,13				<0,08		<0,08				<0,08	
CÁDMIO (mg/L)	0,001	<0,001				<0,001		<0,001				<0,001	
CHUMBO (mg/L)	0,03	<0,05				<0,02		<0,02				<0,02	
COBRE (mg/L)	0,02	0,02				<0,004		0,01				0,005	
CRÔMO TOTAL (mg/L)	# 0,05	<0,05				<0,05		<0,05				<0,05	
NÍQUEL (mg/L)	0,025	<0,010		<0,010		<0,010		<0,010		<0,010		* 0,070	
MERCÚRIO (mg/L)	0,0002	<0,0002				<0,0003		<0,0002				<0,0003	
ZINCO (mg/L)	0,18	0,03				0,05		0,02				0,03	
FERRO (mg/L)		8,19		1,01		0,96		0,67		0,95		2,44	
MANGANÊS (mg/L)	0,10	* 0,22		0,10		* 0,14		0,08		0,08		* 0,55	
FENÓIS (mg/L)	0,001	* 0,020				* 0,039		* 0,006				* 0,006	
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS													
COLIFORME FECAL (NMP/100mL)	1,0E+03	* 5,0E+05		* 3,0E+03		* 1,3E+06		* 5,0E+05		* 1,7E+06		* 5,0E+06	
PARÂMETROS HIDROBIOLÓGICOS													
CLOROFILA-a (µg/L)													
FEOFITINA-a (µg/L)													
PARÂMETROS ECOTOXICOLÓGICOS													
TESTE DE AMES													
TA98-S9 (revertentes/L)													
TA98+S9 (revertentes/L)													
TA100-S9 (revertentes/L)													
TA100+S9 (revertentes/L)													
TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA				Não Tóxico		Agudo		Não Tóxico		Não Tóxico			
DADOS DE QUANTIDADE													
VAZÃO MÉDIA DIÁRIA (m ³ /s)													
VAZÃO MÉDIA MENSAL (m ³ /s)													
IQA - ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS													
IQA		35		59		44		40		37		38	
CLASSIFICAÇÃO		Ruim		Boa		Aceitável		Aceitável		Aceitável		Aceitável	

(#): PADRÕES DE QUALIDADE ESTABELECIDOS NO REGULAMENTO DE LEI 997/76, APROVADO PELO DECRETO ESTADUAL NÚMERO 8468/76

(*): NÃO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DE QUALIDADE DA RESOLUÇÃO CONAMA 20/86 OU DO REGULAMENTO DE LEI 997/76, APROVADO PELO DECRETO ESTADUAL NÚMERO 8468/76

(i): CONFORMIDADE INDEFINIDA QUANTO AO LIMITE DA CLASSE, DEVIDO À ANÁLISE LABORATORIAL NÃO TER ATINGIDO OS LIMITES ESTABELECIDOS PELA LEGISLAÇÃO VIGENTE

Os resultados obtidos para os outros 4 pontos de amostragem da CETESB não serão considerados para análise por se localizarem distantes da área de estudo, apresentando características bastante diferentes das ocorrentes na área da mineração devido ao lançamento de efluentes diversos.

8.1.1 – Análise dos Dados

O IQA calculado para a bacia hidrográfica do rio Sorocaba, mostra que nas áreas de menor concentração urbana/industrial, representadas pelo dados fornecidos para o lago da Usina de Itupararanga e córrego Ipanema, as águas apresentam qualidade ótima.

Na região de Votorantim e Sorocaba, devido ao lançamento de grande volume de efluentes urbanos e industriais, o IQA apresenta qualidade ruim, correspondendo ao pior quadro calculado para a bacia.

Após passar por estas cidades e receber a contribuição de outros corpos hídricos, ocorre a diluição da poluição e a melhora do índice de qualidade, que passa a ser aceitável na estrada que liga Sorocaba a rodovia Castelo Branco, e de boa qualidade no ponto de monitoramento localizado antes da desembocadura do rio Sorocaba no Tietê.

Apesar de considerar o uso do solo e água da região para a determinação dos parâmetros a serem analisados, a campanha de monitoramento desenvolvida para a bacia do rio Sorocaba, não considera as substâncias características do substrato rochoso representado pela ocorrência de calcário. Deste modo não se tem dados das análises para cálcio, magnésio, carbonato, dureza e alcalinidade, que são constituintes característicos do substrato da região.

A presença destes elementos na água, quando em altas concentrações podem inviabilizar sua utilização, por conferir gosto desagradável a água ou mesmo pela formação de incrustações em tubulações e equipamentos.

Os dados obtidos com as análises das amostras coletadas no reservatório de Itupararanga, indicam que as águas se apresentam com boa qualidade, com não conformidade com os padrões legais apenas para o fósforo total (em três das amostras analisadas), para o alumínio (em todas as amostras) e para os fenóis (em duas das amostras).

Já as amostras coletadas no ponto localizado entre os municípios de Votorantim e Sorocaba, indicam a ocorrência de contaminação por efluentes urbanos e industriais.

A contaminação neste ponto indica o lançamento de efluentes com grande carga orgânica, o que pode ser evidenciado pelas altas concentrações obtidas para as análises de DBO_{5,20}, e coliformes fecais.

Desconformidade com os padrões legais também são observadas para as análises de oxigênio dissolvido, amônia, fósforo total, turbidez (em uma amostra), alumínio, manganês e fenóis.

A ocorrência destes elementos pode ser decorrente do uso nas atividades desenvolvidas na região ou mesmo pela solubilização de rochas ricas nestas substâncias químicas.

8.2 – *Dados Locais*

Decidiu-se realizar a etapa de campo ao mesmo tempo em que se desenvolvia o procedimento de monitoramento apresentado em capítulo anterior.

Isto se deu em função da rápida disponibilização da área para a realização das medidas e pela inexistência de recursos que possibilitasse a análise química em amostras d'água, sendo efetuada apenas a medição de alguns parâmetros de qualidade.

a – Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo tiveram início com uma visita a área da mineração, quando se tomou conhecimento da situação com relação a água presente em superfície e na mina subterrânea.

Nesta ocasião, foi relatada a realização de um estudo anterior da qualidade das águas, desenvolvido pela empresa, que indicava estarem as águas adequadas aos padrões legais. Estes resultados não foram disponibilizados para consulta.

A definição dos pontos de amostragem levou em consideração:

- a inviabilidade de realização de análises químicas devido a inexistência de recursos;

- o acesso difícil aos trechos do rio que se localizam nos limites da área do empreendimento, fora do trecho canalizado;
- o uso de instrumento para a realização de medições.

Assim, decidiu-se por medir parâmetros de qualidade da água nos seguintes pontos (Figura 8.2):

- na casa de bombas, trecho canalizado antes do lançamento da água subterrânea no lado esquerdo do rio – P-01;
- na casa de bombas, trecho canalizado depois do lançamento da água subterrânea no lado esquerdo do rio – P-02;
- na canaleta onde é lançada a água bombeada da mina subterrânea, atrás da casa de bombas – P-03;
- no trecho canalizado do rio em seu lado direito, sobre a ponte antes da casa de bombas – P-04;
- no trecho canalizado do rio em seu lado direito, depois da casa de bombas, próximo a Represa da Prainha – P-05;
- no lago formado na cava da mina Baltar a céu aberto, próximo à bomba d'água – P-06;
- na mina Baltar, água que escoava para o lago formado na cava – P-07;
- no trecho canalizado do rio em seu lado esquerdo, depois da casa de bombas e após o lançamento de água de escoamento – P-08;
- na água de escoamento superficial, próximo a imagem de Santa – P-09;
- após o encontro da água de escoamento superficial e água subterrânea, na canaleta de escoamento – P-10.

A escolha dos pontos no trecho canalizado, considerou o lançamento de águas, no rio Sorocaba, bombeadas da cava da mina Baltar a céu aberto e do lago formado na mina subterrânea.

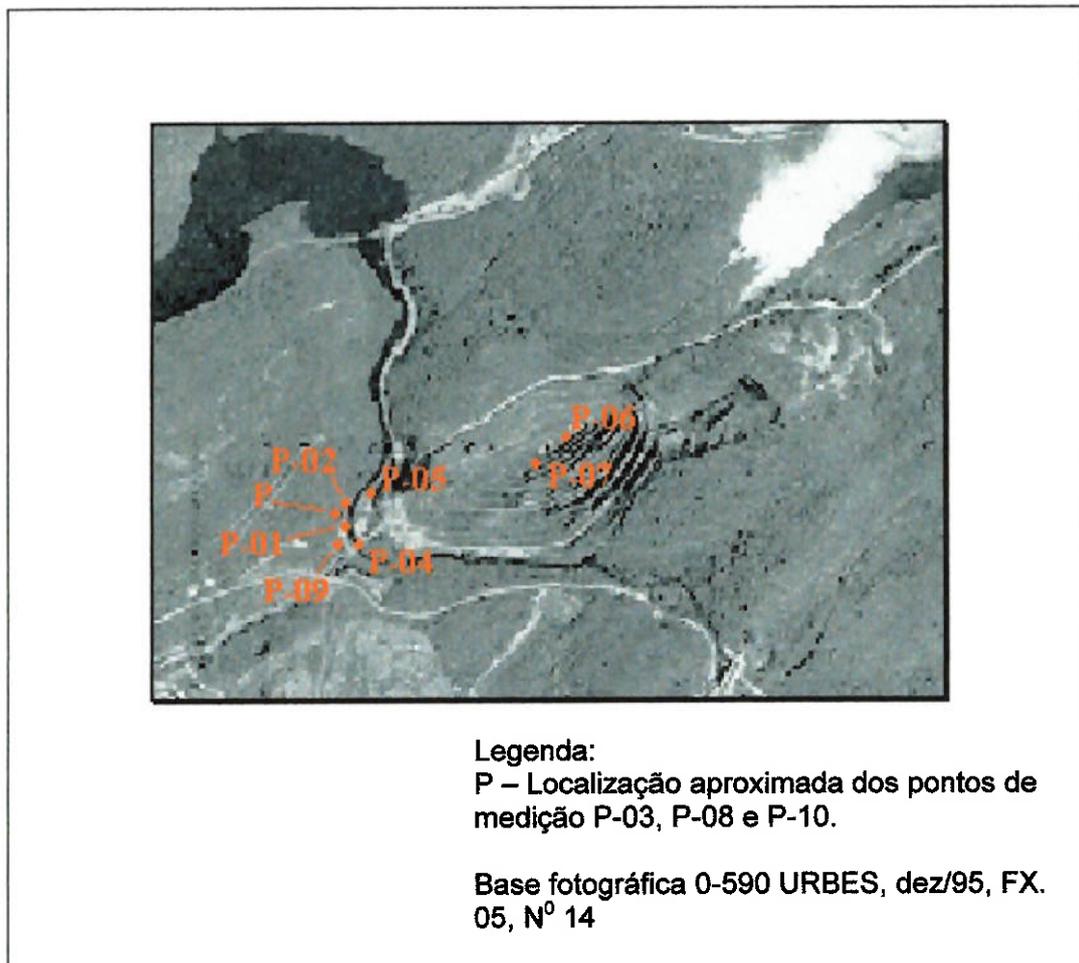


Figura 8.2 – Planta de localização dos pontos de medição de parâmetros de qualidade das águas na empresa de mineração.

b – Realização das medições

Foram realizadas medições mensais pelo período de 5 meses, entre janeiro e maio de 1999, num total de 10 pontos escolhidos para representar o trecho canalizado do rio que corta a mineração em estudo. A Tabela 8.1 apresenta a periodicidade da medição para os pontos escolhidos.

Tabela 8.1 – Periodicidade da medição de parâmetros de qualidade da água.

Ponto	Ano: 1999				
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.
P-01					
P-02					
P-03					
P-04					
P-05					
P-06					
P-07					
P-08					
P-09					
P-10					

Como pode ser observado na Tabela 8.1, em alguns pontos não foram realizadas medições durante todo o período do trabalho, devido a ocorrência de lançamento de água em área não observada anteriormente.

No mês de maio, o nível de água no rio estava baixo, sendo visível o divisor do canal. Como não foi observado o lançamento de água pelo lado direito do rio, decidiu-se por efetuar apenas uma medida e toma-la como representativa para aquele trecho, não se realizando a medida para o ponto P-04.

Ainda no mês de maio, observou-se o escoamento superficial de água, oriunda da lavagem de caminhões em área localizada a montante do ponto de lançamento da água bombeada da mina subterrânea. Foi observada a presença de iridiscencia de óleo na água e o carreamento de sedimentos. Esta água juntou-se àquela bombeada da mina subterrânea, conferindo turbidez a água (Foto 8.1). Assim, decidiu-se pela inclusão de três pontos de amostragem, P-08, P-09 e P-10, localizados como descrito no item anterior.

Para as medições, foi utilizada uma sonda da marca HORIBA, modelo U-10 (Foto 8.2). Este aparelho realiza a medição, nos pontos de amostragem, de seis parâmetros: pH,

condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e, salinidade, bastando para isso, emergir o sensor na água.

Os valores medidos de pH e condutividade são automaticamente processados pela sonda para a temperatura de 25 °C.

O valor da salinidade é obtido convertendo-se a condutividade, podendo ocorrer erros quando são obtidos altos valores de condutividade, devido à presença de íons na amostra.



Foto 8.1 – Turbidez em mistura de águas superficiais e subterrânea, em ponto localizado ao lado da casa de bombas.

A calibração do aparelho era feita no dia anterior ao dia de medição, através da solução padrão de calibração, fornecida pelo fabricante do aparelho. Com isso pretendeu-se garantir a confiabilidade das medições realizadas. As medições foram efetuadas através da imersão da sonda do aparelho em um volume de água coletado ou diretamente no corpo d'água.

Os resultados obtidos com as medições são apresentados nas Tabelas 8-2 a 8.11. Os valores marcados em vermelho apresentam-se acima daqueles sugeridos pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as águas da Classe 2, em que se enquadra o rio Sorocaba.



Foto 8.2 – Sonda HORIBA, modelo U-10.

Tabela 8.2 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-01.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-01						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		10:37	14:00	16:05	13:40	16:00
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Turva	Verde	Verde	Verde	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		24,80	25,20	25,20	26,30	18,80
pH	6,0 a 9,0	6,47	6,66	6,33	6,75	7,92
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	10,22	10,48	9,91	9,86	8,53
TURBIDEZ (UNT)	100	140,00	4,00	6,00	2,00	4,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
SALINIDADE (%)		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.3 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-02.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-02						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		14:01	14:06	16:15	13:50	15:37
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		24,30	25,40	25,20	26,80	19,30
pH	6,0 a 9,0	7,49	6,78	6,23	6,94	7,90
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	11,14	10,55	9,83	10,06	9,01
TURBIDEZ (UNT)	100	23,00	2,00	6,00	3,00	3,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,54	0,09	0,06	0,10	0,06
SALINIDADE (%)		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.4 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-03.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-03						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		10:25	14:01	15:57	14:22	16:07
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Turva	Verde	Verde	Verde	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		26,00	24,30	26,40	25,20	19,30
pH	6,0 a 9,0	6,80	7,49	6,97	7,27	7,96
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	10,28	11,14	9,86	9,79	8,20
TURBIDEZ (UNT)	100	158,00	23,00	8,00	8,00	6,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,08	0,54	0,08	0,08	0,07
SALINIDADE (%)		0,0	0,02	0,00	0,00	0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.5 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-04.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-04						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	
HORA DA MEDIÇÃO		10:00	13:52	15:40	14:01	
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	
COLORAÇÃO		Verde	Verde	Verde	Verde	
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		24,70	25,70	26,50	26,20	
pH	6,0 a 9,0	6,95	6,69	6,23	6,92	
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	10,15	10,51	9,99	9,61	
TURBIDEZ (UNT)	100	3,00	2,00	6,00	4,00	
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,07	0,07	0,08	0,06	
SALINIDADE (%)		0,0	0,00	0,00	0,00	
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.6 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-05.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-05						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		10:10	13:57	15:45	14:13	15:23
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Turva	Verde	Verde	Verde	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		25,30	25,90	26,90	25,60	19,60
pH	6,0 a 9,0	6,47	6,75	6,80	6,86	8,10
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	10,25	10,23	9,56	9,47	9,96
TURBIDEZ (UNT)	100	138,00	4,00	7,00	3,00	3,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,07	0,09	0,32	0,06	0,06
SALINIDADE (%)		0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.7 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-06.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-06						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		11:06	13:37	16:43	14:42	16:40
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Turva	Verde	Verde	Turva	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		28,20	29,50	26,70	27,00	19,30
pH	6,0 a 9,0	7,38	7,58	7,44	7,78	7,84
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	9,67	9,30	9,21	9,46	8,49
TURBIDEZ (UNT)	100	138,00	7,00	2,00	134,00	2,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,34	0,34	0,33	0,35	0,39
SALINIDADE (%)		0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
ÓLEOS E GRAXAS			VISÍVEL			

Tabela 8.8 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-07.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-07						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO		19	23	24	7	20
HORA DA MEDIÇÃO		11:00	13:30	16:32	14:49	16:47
CHUVAS (últimas 24 horas)		Sim	Não	Sim	Não	Não
COLORAÇÃO		Turva	Verde	Verde	Verde	Verde
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)		26,70	29,10	24,60	25,40	17,70
pH	6,0 a 9,0	7,12	7,38	7,36	7,96	8,38
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0	9,88	9,22	10,09	9,73	9,11
TURBIDEZ (UNT)	100	130,00	2,00	1,00	0,00	0,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)		0,25	0,28	0,21	0,34	0,29
SALINIDADE (%)		0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.9 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-08.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-08						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO						20
HORA DA MEDIÇÃO						15:44
CHUVAS (últimas 24 horas)						Não
COLORAÇÃO						Turva
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)						18,90
pH	6,0 a 9,0					7,94
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0					8,88
TURBIDEZ (UNT)	100					51,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)						0,06
SALINIDADE (%)						0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.10 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-09.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-09						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO						20
HORA DA MEDIÇÃO						15:50
CHUVAS (últimas 24 horas)						Não
COLORAÇÃO						Turva
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)						17,90
pH	6,0 a 9,0					8,16
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0					9,47
TURBIDEZ (UNT)	100					356,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)						0,09
SALINIDADE (%)						0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

Tabela 8.11 - Resultados dos parâmetros medidos para o ponto P-10.

RESULTADOS DOS PARÂMETROS MEDIDOS PARA A QUALIDADE DAS ÁGUAS						
LOCAL: P-10						
DADOS DE QUALIDADE	PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
INFORMAÇÕES DE CAMPO						
DIA DA MEDIÇÃO						20
HORA DA MEDIÇÃO						16:13
CHUVAS (últimas 24 horas)						Não
COLORAÇÃO						Turva
PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS						
TEMPERATURA DA ÁGUA (°C)						18,20
pH	6,0 a 9,0					8,12
OXIGÊNIO DISSOLVIDO (mgO ₂ /L)	5,0					8,53
TURBIDEZ (UNT)	100					143,00
COND. ESPECÍFICA (µS/cm)						0,08
SALINIDADE (%)						0,00
ÓLEOS E GRAXAS						

8.2.1 – *Análise dos Dados*

A apresentação dos resultados obtidos com as medições na área da mineração, é feita de modo a permitir a comparação com o padrão de qualidade estabelecido pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as águas da Classe 2, na qual se enquadram as águas do rio Sorocaba.

É importante ressaltar que a Resolução não estabelece padrão para condutividade, temperatura e salinidade. Material flutuante e óleos e graxas, devem ser virtualmente ausentes se considerados os padrões para lançamento de efluente diretamente no corpo d'água.

Os resultados que se encontram em desconformidade com o padrão adotado, foram escritos em vermelho para permitir melhor visualização.

Os resultados obtidos se apresentam, de modo geral, sem grande variação, com valores bastante próximos entre si. A exceção é o resultado da medição de turbidez no mês de janeiro, nos pontos P-01, P-03, P-05, P-06 e P-07.

Esta desconformidade, pode ter sido potencializada pela ocorrência de chuvas na região em tempo inferior a 24 horas da realização da medição, onde se considera que a chuva, teria provocado o arraste de partículas para as águas do rio Sorocaba.

Os elevados valores obtidos para a turbidez nos pontos P-09 e P-10, decorrem do arraste de partículas ocasionado pelo lançamento de água sobre o solo, em região próxima ao ponto de lançamento da água bombeada da mina subterrânea. Este lançamento não havia sido observado nas medições realizadas anteriormente.

As medições para a presença de oxigênio dissolvido apresentam resultados superiores ao estabelecido como mínimo pela Resolução em todos os pontos de medição, indicando a boa oxigenação apresentada pelo corpo de água.

Óleos e graxas só foram visíveis na medição realizada em fevereiro, na forma de iridiscencia, no ponto P-06, localizado no lago da mina Baltar, possivelmente em função de algum vazamento na bomba instalada no lago.

Comparando-se os resultados obtidos nas duas campanhas, observa-se que:

- os valores das medições realizadas na área da mineração para pH são em sua maioria inferiores aos resultados obtidos nas análises da CETESB;
- os valores obtidos para a medição do parâmetro oxigênio dissolvido, indicam que as águas na área da mineração encontram-se mais oxigenadas que as amostras analisadas pela CETESB. Os resultados para as medições na mineração, superiores aos da análise realizada no lago da Represa de Itupararanga, justifica-se pela aeração da água durante seu escoamento natural. Quando comparado os resultados da mineração e da amostra coletada na zona urbana, justifica-se a menor concentração de oxigênio desta última, em função da maior consumo provocado pelas reações químicas de decomposição da matéria orgânica;
- os dados obtidos para turbidez na medição realizada na empresa e no lago da represa, encontram-se bastante próximos, considerando como exceções os pontos P-01, P-08 e P-09 da mineração. Os resultados para turbidez na zona urbana indicam maior presença de sólidos nas águas, estando a água mais turva que nos pontos anteriores de medição;
- os resultados para condutividade específica são bastante distintos, encontrando-se os valores medidos bastante inferiores aos resultados da campanha da CETESB.

Com esta análise, observa-se que o equipamento utilizado na medição dos parâmetros, não fornece dados suficientes para determinar o IQA dentro da área de mineração, o que possibilitaria a comparação com os dados regionais obtidos pela CETESB, indicando a tendência de qualidade para as águas na área de influência direta da empresa.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES

O presente trabalho permite que sejam apresentadas conclusões segundo a escala de abordagem, regional ou local, e segundo o tema desenvolvido.

1. Conclusões considerando a revisão bibliográfica

- O rebaixamento de lençol freático, pode ocasionar sérios danos a estrutura da rocha, ocasionando impactos diretos na qualidade e quantidade de águas e solos;
- A operação de uma mineração é possível de ser realizada adotando-se o gerenciamento ambiental, causando impactos insignificantes sobre o meio físico.

2. Conclusões considerando o procedimento de amostragem

- O procedimento de amostragem de águas é coerente para a aplicação em empresas de mineração, independentemente do minério extraído;
- A coleta de uma amostra de água, por mais simples que possa parecer, requer a adoção de cuidados especiais que visam garantir a confiabilidade dos resultados;
- O uso de instrumentos de leitura instantânea para a realização de medidas de parâmetros de qualidade de água, deve considerar a velocidade de resposta desejada, a precisão requerida, a disponibilidade de eletrodos para substâncias específicas, a aplicação dos dados obtidos e o custo do instrumento.

3. Conclusões considerando os dados regionais

- O objetivo do monitoramento desenvolvido, é avaliar a qualidade das águas interiores do estado de São Paulo de uso para o abastecimento público, identificando trechos de rios onde a qualidade d'água possa estar mais degradada, possibilitando o emprego de técnicas preventivas de controle.

- Para o lago da Usina de Itupararanga:
 - as águas apresentam qualidade satisfatória, atendendo quase a totalidade dos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 20/86 para as águas da Classe 2;
 - o IQA destas águas apresenta tendência de melhora.

- Para o ponto de amostragem da CETESB localizado entre os municípios de Votorantim e Sorocaba:
 - as águas encontram-se poluídas, principalmente, devido ao lançamento de efluentes domésticos e industriais ricos em fenóis, manganês, alumínio, fósforo e amônia;
 - o IQA destas águas apresenta tendência de piora.

- Índice de Qualidade das Águas, é uma forma bastante simplificada de apresentar os resultados obtidos com a realização de uma campanha de monitoramento de qualidade, podendo levar a ocorrência de erros por não possibilitar a identificação do problema de qualidade que um determinado curso d'água possui.

- A campanha de monitoramento não analisou substâncias como cálcio, magnésio, carbonato, dureza e alcalinidade, que são constituintes característicos do substrato rochoso da região. Estas substâncias quando presentes em altas concentrações, podem tornar a água imprópria para consumo humano ou industrial.

4. Conclusões considerando os dados locais

- A inexistência de recursos inviabilizaram a realização de análises químicas, não permitindo que o procedimento de amostragem fosse seguido por completo;
- As medidas efetuadas indicaram a presença de sólidos em suspensão em medição realizada após a ocorrência de chuvas e lançamento de águas provenientes de escoamento superficial próximo ao trecho canalizado do rio. Os

valores medidos são possíveis de assimilação pelo rio Sorocaba sem ocasionar maiores interferências com o meio.

- A comparação dos resultados das análises realizadas pela CETESB e das medições deste trabalho, indicam boa oxigenação das águas.

5. Considerações sobre o desenvolvimento de trabalhos futuros

- O desenvolvimento de estudos futuros, deverão ser realizados considerando a disponibilidade de recursos para custear a realização de pesquisa de campo e análise de dados;
- Estudos que visem o projeto, a instalação e operação de um sistema automático de obtenção de dados em área industrial, considerando a obtenção rápida e confiável de dados de qualidade para a intervenção no sistema operacional;
- O desenvolvimento de projeto de amostragem que possibilite a relação dos resultados obtidos com a análise e o jazimento mineral específico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**. 2. ed. São Paulo, Edgar Blücher / Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Tecnologia, 1973. v. 1, p. 136-56.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Processos simplificados para exames e análise da água**. São Paulo, American Water Works Association / Faculdade de Saúde Pública da USP, 1970. p. 135-40.
- ASSIS, J.C. Folha do Meio Ambiente. **Dolinas de Vazante provocam desastre ecológico em cascata**. [on line]. Brasília, Folha do Meio Ambiente, Caderno Mineração & Meio Ambiente. Disponível: www.folhadomeioambiente.com.br/fma_105/mineracao_105.htm. [Capturado em 06/11/01]
- BATALHA, B. H. L. Padrões de qualidade da água para consumo humano. In: BATALHA, B.H.L., org. **Curso de controle da poluição na mineração: alguns aspectos**. 3.ed. Brasília, DNPM, 1986. v. 1, p. 35-54.
- BOLETIM IG - USP, Série Didática. Geoquímica das águas. São Paulo, n. 5, nov. 1993.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3. ed. São Paulo, CETESB, 1986a. Cap. 4, p. 121-67: A água como meio ecológico.
- BRANCO, S. M. Poluição das águas: definições, parâmetros de avaliação, monitoramento. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Curso de controle da poluição na mineração: alguns aspectos**. 3.ed. Brasília, DNPM, 1986b. v. 1, p. 55-60.
- BRANQUINHO, J. A. Jazidas de calcário da região de Votorantim, São Paulo. In: **Principais depósitos minerais do Brasil**. Coord. de C. SCHOBENHAUS *et al.* Brasília, DNPM / CPRM, 1997. v. 4C, p. 397-402.
- BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Hidrologia**. [on line]. Rio de Janeiro, CPRM. Disponível: <http://cprm.gov.br/rehi/dhid00html>. [Capturado em 18/11/00]
- BRITO, O. E. A. Mineração e meio ambiente. **Mineração e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 42, n. 404, p. 60-6, nov. 1978.
- CASTANHEIRA NETO, A. **A poluição ambiental pela fabricação do cimento**. São Paulo, 1981. 83p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- CIMENTO. Cimento Web. **Estatísticas**. [on line]. São Paulo, Cimento Web. Disponível: <http://cimento.com.br/historia.htm>. [Capturado em 11/11/00a]
- CIMENTO. Cimento Web. **História**. [on line]. São Paulo, Cimento Web. Disponível: <http://cimento.com.br/historia.htm>. [Capturado em 11/11/00b]
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Mapa da UGRHI 10**. [on line]. São Paulo, CETESB. Disponível:

http://www.cetesb.br/InformacoesAmbientais/qualidade_dos_rios/u10.asp. [Arquivo capturado em 18/12/00]

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 1997**. São Paulo, CETESB. 1998. 289 p. (Série Relatórios / CETESB)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. Coord. de E.G. AGUDO *et al.* São Paulo, CETESB, 1987. 150 p.
- CONSTANZO JÚNIOR, J. **Síntese metodológica dos estudos geológico-geotécnicos aplicados ao projeto de mineração**. São Paulo, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. 1985. 60p. (Síntese de Tese, 05)
- DAJOZ, R. A poluição: o panorama das poluições. *In: CHARBONNEAU, J. P. et al. Enciclopédia de ecologia*. São Paulo, EPUSP, 1979. p. 158-250.
- DERÍSIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. São Paulo, CETESB, 1992. Cap. 2, p. 21-106: Recurso água.
- DOWN, C. G. & STOCKS, J. **Environmental impact of mining**. London, Applied Science Publishers, 1978. p. 89-141: Water pollution.
- DUARTE, O.O. **Dicionário enciclopédico inglês-português de geofísica e geologia**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, Petrobras, 1997. 223p.
- ESTON, S. M. **Iluminação de minas subterrâneas: uma análise da situação brasileira**. São Paulo, 1992. 346p., 2 v. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Vocabulário básico de meio ambiente**. Rio de Janeiro, Petrobras, 1992. 246p.
- GUIMARÃES, J. E. P. **Águas de mineração**. S. n. t. 93p. / Mimeografado /
- HASUI, Y. *et al.* A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. *In: Geologia do Brasil: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000*. Coord. C. SCHOBENHAUS *et al.* Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral, 1984. Cap. VII, p. 307-28.
- HASUI, Y. As rochas carbonáticas no Estado de São Paulo. **Mineração e Metalurgia**, n. 393, p. 52-6, dez. 1977.
- HASUI, Y. ; PENALVA, F. ; HENNIES, .T. Geologia do Grupo São Roque. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23.*, Salvador, 1969. **Resumo**. Salvador, SBG, 1969. p. 101-34. (Boletim Especial, 1)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. Alterações potenciais nos processos do meio físico por processos tecnológicos. *In: Alterações no meio físico decorrentes de obra de engenharia*. Coord. N. FORNASARI FILHO. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1992. Cap. III, p. 13-116.

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Mapa geológico do estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 2 v. (Monografias)
- MORITA, D. M. **Tratabilidade de águas residuárias contendo poluentes perigo-sos: estudo de caso**. São Paulo, 1993. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- NOGUEIRA FILHO, J. V. **Alternativas para suprimento de calcário ao estado de São Paulo**. São Paulo, 1976. 75p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ORTOLANO, L. **Environmental regulation and impact assessment**. New York, John Wiley, 1997. p. 249-63: Water quality management.
- PIVELLI, R. P. **Fundamentos químicos do saneamento ambiental**. São Paulo, EPUSP, 1996. / Apostila de curso/
- PORTO, M. F. A. ; BRANCO, S. M. ; LUCA, S. J. Caracterização da qualidade da água. *In*: BRANCO, S.M. *et al.* **Hidrologia ambiental**. São Paulo, EDUSP / ABRH, 1991. p. 27-66. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.3)
- REBOUÇAS, A. C. *et al.* **Águas doces do Brasil**. São Paulo, Escrituras Editora, 1999. 717p.
- RICHTER, C. A. & AZEVEDO NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo, Edgard Blücher, 1991. Cap. 3 , p. 24-40.
- ROVERE, E. L. L. Energia e meio ambiente. *In*: MARGULIS, S., ed. **Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro, IPEA/Brasília, IPEA / PNUD, 1990. p. 11-34.
- SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais :um estudo sobre o passivo ambiental**. São Paulo, 1998. 178 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SÁNCHEZ, L. E. Efeitos e impacto ambiental associados a projetos de mineração. *In*: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Controle ambiental na mineração**. São Paulo, CETESB, 1994a. p. 1-30. (Série Didática Especial, n. 15)
- SÁNCHEZ, L. E. Controle da poluição das águas. *In*: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Controle ambiental na mineração**. São Paulo, CETESB, 1994b. p. 31-47. (Série Didática Especial, n. 15)
- SAWYER, C.N. Hardness. *In*: **Chemistry for environmental engineering**. 3^a Ed. New York, McGraw-Hill, 1978. Cap. 8, p. 377-84.
- SCARLAT, R. T. **Água no processo mineral**. São Paulo, 1995. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SHIMADA, H. **Impacto da prospecção geológica na otimização do processo de produção de cimento portland na fábrica de cimento Votoran, Votorantim, SP**. São Paulo, 1999. 221p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

SHREVE, R. N. & BRINK, J. A. J. Cimentos portland, compostos de cálcio e de magnésio. *In: Indústrias de processos químicos*. 4^a ed. Ed. Guanabara. Cap. 10 p. 138-146. 1997.

SILVEIRA, S. S. B. & SANT'ANNA, F. S. Poluição hídrica. *In: MARGULIS, S., ed. Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos*. Rio de Janeiro, IPEA/Brasília, IPEA / PNUD, 1990. p. 57-84.

SINDICATO DO CIMENTO. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Números**. [*on line*]. São Paulo, SNIC. Disponível: <http://www.sindicatodocimento.com.br/f-numeros.html>. [Capturado em 17/11/01]

SINDICATO DO CIMENTO. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Números**. [*on line*]. São Paulo, SNIC. Disponível: <http://www.sindicatodocimento.com.br/f-numeros.html>. [Capturado em 19/11/00]

SPERLING, V. M. Noções de qualidade das águas. *In: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. v. 1, cap. 1, p. 11-50.

BIBLIOGRAFIA

- ABRÃO, P. C. Impactos ambientais na mineração: um enfoque metodológico. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 1., Brasília, 1985. **Coletânea de trabalhos técnicos**. Brasília, IBRAM, 1985. v. 4, p. 155-69.
- AMBRÓSIO, A. **Perfil analítico do cimento**. Rio de Janeiro, DNPM, 1974. 76p. (Boletim DNPM, 30)
- AMES, J. A. ; CUTCLIFFE, W. E. Construction materials: cement and cement raw materials. *In*: LEFOND, S.J. ed. **Industrial minerals and rocks**. 5.ed. New York, Society of Mining Engineers / AIME, 1983. v. 1, p. 133-59.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Caracterização de cargas poluidoras na mineração - NBR-12649**. Rio de Janeiro, 1992.
- BARTH, F. T. ; POMPEU, C. T. Fundamentos para gestão de recursos hídricos. *In*: BARTH, F.T. *et al.* **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. São Paulo, Nobel / ABRH, 1987. Cap. 1, p.1-92.
- BENETTI, A. ; BIDONE, F. O meio ambiente e os recursos hídricos. *In*: TUCCI, C.E.M., org. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, Ed. da Universidade / ABRH / EDUSP, 1993. v. 4, p. 848-75. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4)
- BRANCO, S. M. Aspectos institucionais e legais do controle da poluição. *In*: BRANCO, S.M. *et al.* **Hidrologia ambiental**. São Paulo, EDUSP / ABRH, 1991. p. 27-66. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3)
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Indicadores da produção mineral**. [on line]. São Paulo, DNPM. Disponível: <http://dnpm.gov.br/estima98.html>. [Capturado em 13/08/99]
- CAMPOS NETO, M. C. Contribuição à litoestratigrafia e estrutura do Grupo Açungui no sudeste do Estado de São Paulo. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4., São Paulo, 1983. São Paulo, SBG, 1983. p. 103-12.
- CARMO, A. J. B. ; RUIZ, M. S ; NEVES, M. R. Rochas calcárias. *In*: RUIZ, M. S. ; NEVES, M. R., coords. **Mercado produtor mineral do Estado de São Paulo: levantamento e análise**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. p. 99-136. (Publicação IPT, n.1822)
- CARR, D. D. ; ROONEY, L. F. Limestone and dolomite. *In*: LEFOND, S. J. ed. **Industrial minerals and rocks**. 5.ed. New York, Society of Mining Engineers / AIME, 1983. v. 2, p. 833-68.
- CARVALHO, M.D. **Calcários dolomíticos da região de Ouro Preto para usos na metalurgia e como rochas ornamentais**. São Paulo, 1998. 127p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.

- CAVALCANTI, R. N. *Mineria, desarrollo y medio ambiente. In: REPETO, F.L. et al. Aspectos geológicos de protección ambiental.* Montevideo, ORCYT/UNESCO, 1995. v. 1, p. 105-10.
- COIMBRA, R.M. *Monitoramento da qualidade da água. In: BRANCO, S.M. et al. Hidrologia ambiental.* São Paulo, EDUSP / ABRH, 1991. p. 400-11. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.3)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Lei de proteção das bacias hidrográficas dos mananciais de interesse regional do Estado de São Paulo.** [on line]. São Paulo, CETESB. Disponível: <http://www.cetesb.br/manan98/manan10a.htm>. [Arquivo capturado em 21/10/98a]
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo - 1996.** São Paulo, CETESB, 1998b. 267p. (Série Relatórios / CETESB)
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Reavaliação dos pontos de amostragem básica de monitoramento da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – 1995. UGRHI10 – Tietê/Sorocaba.** São Paulo, CETESB, 1995. 45p.
- DIAS, E. G. C. S. **Levantamento do mercado consumidor mineral no Estado de São Paulo.** São Paulo, 1983. 126 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- EM Santa Helena, um modelo de mina subterrânea. **Minérios: Extração & Processamento**, n. 43, p. 12-5, set. 1980.
- FORNASARI FILHO, N. **Alterações nos processos do meio físico por mineração.** – Estudo de casos de instrumentos de gerenciamento ambiental. São Paulo, 1995. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo.
- FRAGA, G. P. ; ALVES, E. D. **Controle ambiental da mineração no Estado de São Paulo.** *In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO*, São Paulo, 1989. **Controle ambiental e segurança em mineração.** Coord. W. T. Hennies e S.M. Eston. São Paulo, EPUSP, 1989. p. 66-8.
- FRASCÁ, M. H. B. O. ; TADDEO, J. S. ; YAMAMOTO, J. K. **Rochas carbonáticas pré-cambrianas do estado de São Paulo: principais características geológicas e tecnológicas X aplicações.** *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 38., 1994. **Anais.** Camboriú, SBG, 1994. v. 1, p. 436-8.
- GEOLOGIA do estado. **MINÉRIOS: Extração & Processamento**, São Paulo, n. 37, p. 23, mar. 1980.
- GUIMARÃES, J. E. P. **A cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil.** São Paulo, PINI / ABPC, 1997. p. 28-30, 267-74.
- HENNIES, W. T. ; STELLIN JUNIOR, A. ; GHIZZI, L. C. **Lavra subterrânea de calcário dolomítico em São Paulo.** *In: CONGRESSO ITALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE MINAS*, 3., Verona, 1994. **Anais/Atti.** Parma, PEI, 1994. p. 66-72.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração e meio ambiente**. Brasília, 1992. p. 17-34: Impactos ambientais e formas de controle: recursos hídricos.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Mercado produtor mineral do estado de São Paulo : levantamento e análise**. Coord. por M. S. Ruiz e M. R. Neves. São Paulo, PRO-MINERIO / IPT, 1990. 188 p. (Publicação IPT; n. 1822)
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S. A. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 2 v.
- LARANJEIRA, E. B. **Calcários, calcários magnesianos e dolomitos: aplicações tecnológicas**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia de Minas, 1992. p. 18-20.
- LEINZ, V. Sobre a prospecção de calcário para cimento. **Mineração e Metalurgia**. Rio de Janeiro, v. 10, n. 57, p. 127-8, jan./fev. 1946.
- LOPES, A.B. *et al.* Carbonatos. *In*: CURSO de matérias primas para a indústria de refratários. São Paulo, Associação Brasileira de Cerâmica, 1986. v. 1, p. 184-206.
- MARCOS, F.P. ; MAISON, E.M. Contaminación química de las aguas *In*: **Contaminación e Ingeniería Ambiental**, v. 3: Contaminación de las aguas. Coord. J.L. BUENO *et al.* Oviedo, FICYT, 1997, p. 153-204.
- MASCARENHAS, G. R. *et al.* Monitoramento contínuo de qualidade da água. *In*: SEMINÁRIO BRASIL CANADÁ DE MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE, Brasília, 1990. **Anais**. Brasília, DNPM / Coordenadoria de Economia e Tecnologia Mineral, 1991. p. 178-202.
- MASCARENHAS, G. R. Aspectos ambientais na elaboração do plano de aproveitamento econômico (P.A.E.). *In*: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE CONTROLE AMBIENTAL E SEGURANÇA EM MINERAÇÃO, São Paulo, 1989. **Controle ambiental e segurança em mineração**. Coord. W. T. Hennies e S.M. Eston. São Paulo, EPUSP, 1989. p. 177-87.
- MASCARENHAS, G.R. Controle ambiental da atividade de mineração: algumas técnicas adotadas. *In*: BATALHA, B. H. L.; SILVA, A. S., orgs. **Coletânea de trabalhos técnicos sobre controle ambiental na mineração**. 2.ed. Brasília, MME/DNPM, 1985. p. 23-38.
- MELERO, R. A. L. **A indústria cimenteira no Brasil**. São Paulo, 1996. 151 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MELO, J. C. Mineração e meio ambiente: é possível harmonizar. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 7., Belo Horizonte, 1997. **Anais**. Belo Horizonte, EXPOSIBRAM, 1997. p. IV/25 - IV/40.
- MONOSOWSKI, E. Políticas ambientais e desenvolvimento no Brasil. *In*: MONO-SOWSKIS, E., org. **Planejamento e gerenciamento ambiental**. São Paulo, FUNDAP, 1989. p. 15-24. (Cadernos FUNDAP, n. 16)
- NEGRÃO, F. I. **Caracterização hidrogeoquímica e vulnerabilidade do sistema hidrogeológico cárstico da região de Irecê - Bahia**. São Paulo, 1987. 86p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- OLIVEIRA, P. T. T. M. Recursos Hídricos. *In: Recursos naturais e do meio ambiente: uma visão do Brasil*. 2ª ed. Rio de Janeiro, IBGE, 1996. P.181-9.
- PORTO, M. F. A. Estabelecimento de parâmetros de controle da poluição. *In: BRANCO, S. M. et al. Hidrologia ambiental*. São Paulo, EDUSP / ABRH, 1991. p. 375-90. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3)
- REBOUÇAS, A. C. Gestão sustentável dos grandes aquíferos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8.*, Recife, 1994. *Anais*. Recife, ABAS, 1994. p. 131-9.
- SÁNCHEZ, L. E. Drenaje de minas a cielo abierto. *In: REPETO, F.L. et al. Aspectos geológicos de protección ambiental*. Montevideo, ORCYT/UNESCO, 1995. v. 1, p. 145-54.
- SILVA, N.C.S. Otimização de cavas em minas de calcário para cimento. São Paulo, 2001. 154 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas.
- SILVA, A. B. Prevenção da poluição em águas subterrâneas. *In: BATALHA, B. H. L., org. Curso de controle da poluição na mineração: alguns aspectos*. Brasília, DNPM, 1986. v. 1, p. 99-143.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. *In: TUCCI, C. E. M., org. Hidrologia: ciência e aplicação..* Porto Alegre, Ed. da Universidade / ABRH / EDUSP, 1993. v. 4, p. 35-52. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4)
- SOISSON, H. E. **Instrumentação industrial**. São Paulo, Hemus, s.d. p. 339-52, 662-8.
- SUGUIO, K. **Rochas sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica**. São Paulo, Edgard Blücher / EDUSP, 1980. p. 166-8.
- VENTILAÇÃO de minas subterrâneas. **Minérios: Extração & Processamento**, n. 44, p. 40-5, out. 1980.
- VILLAR, J.A.A. Las aguas continentales de superficie y subterranas como receptores de la contaminación. *In: Contaminación e Ingeniería Ambiental*, v. 3: Contaminación de las aguas. Coord. J.L. BUENO *et al.* Oviedo, FICYT, 1997, p. 31-58.
- VOTORANTIM: 5 km de túneis para chegar ao calcário. **Minérios: Extração & Processamento**, n. 18, p. 24-8, set. 1978.