

Centro de Tecnologia Mineral CETEM /MCT



PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

VOLUME I

RT 33/2000 – Relatório Técnico elaborado para o SIECESC

REVISÃO 01 - Janeiro 2001

PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

Equipe Técnica:

Coordenador de Projetos Especiais do CETEM

Juliano Peres Barbosa

Coordenador Técnico do Projeto:

Paulo Sérgio Moreira Soares

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

Laura De Simone Borma
Maria Dionísia C. Dos Santos
Mario Valente Possa
Roberto de Barros Emery Trindade
Zuleica Carmem Castilhos

CANMET - Canada Centre for Mineral and Energy Technology

Errol van Huyssteen

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

Cleber José Baldoni Gomes
Fernando Luiz Zancan
Luiz Carlos Gomes França

Janeiro 2001

PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

ÍNDICE

<u>1. INTRODUÇÃO.....</u>	<u>5</u>
<u>2. MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA E ASPECTOS AMBIENTAIS</u>	<u>7</u>
2.1 HISTÓRICO	7
2.2 PRODUÇÃO DE CARVÃO E GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA.....	11
2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À MINERAÇÃO DE CARVÃO.....	15
2.4 OUTRAS FONTES DE CONTAMINAÇÃO.....	19
2.5 SITUAÇÃO ATUAL	20
<u>3. ESTRUTURA DO PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE.....</u>	<u>28</u>
3.1 CARATERIZAÇÃO.....	28
3.1.1 Investigação de campo e ensaios de laboratório	29
3.1.2 Avaliação de risco à saúde humana como indicador de qualidade ambiental	30
3.1.3 Classificação das áreas para implantação de ações corretivas dos danos ambientais	32
3.2 DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA - ALTERNATIVAS DE RECUPERAÇÃO.....	33
3.2.1 Definição e avaliação técnica das opções de recuperação	33
3.3 MONITORAMENTO DA RECUPERAÇÃO E SISTEMAS DE GESTÃO AMBIENTAL	52
<u>4. ESTIMATIVAS DE CUSTO E TEMPO E EXEMPLOS DE MECANISMOS DE FINANCIAMENTO</u>	<u>54</u>
4.1 ESTIMATIVAS DE CUSTO E TEMPO	54
4.2 MECANISMOS DE FINANCIAMENTO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL	58
4.2.1. Objetivos.....	58
4.2.2. Motivações para o estabelecimento de mecanismos de financiamento	59
4.2.3. Exemplos de mecanismos de financiamento para empresas em início de operação ..	59
4.2.4. Exemplos de financiamento para recuperação de minas abandonadas – o caso da Pensilvânia (EUA).....	64
<u>5. GESTÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA</u>	<u>67</u>
5.1 SISTEMA DE GESTÃO INTEGRADO	67
5.2 COMITÊ GESTOR.....	67

6. CONCLUSÕES* 69

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA..... 71

ANEXO..... 76

1. INTRODUÇÃO

A execução de projetos ambientais integrados para recuperação de áreas mineradas é uma prática relativamente recente em todo o mundo. Internacionalmente, os projetos desta natureza iniciaram-se, em maior escala, na década de 60. Os primeiros trabalhos de recuperação, no Brasil, ocorreram em meados da década de 70. E desde então até o final da década de 80, consistiu principalmente na recomposição paisagística e recuperação da cobertura vegetal.

A partir da década de 90 ganhou expressão internacional o conceito de que um projeto de recuperação ambiental de áreas mineradas é uma tarefa multidisciplinar e deve incorporar, necessariamente, o aprimoramento dos métodos de planejamento de lavra, beneficiamento mineral e disposição de rejeitos e estéreis, muitas vezes implicando em uma mudança radical na maneira de planejar o empreendimento mineiro. Foram dados os primeiros passos neste sentido e a indústria mineral tem ainda um longo caminho a percorrer no que diz respeito ao desenvolvimento de tecnologia para a gestão das conseqüências ambientais de suas atividades. Entre estas conseqüências, uma das maiores é a drenagem ácida.

As drenagens ácidas ocorrem em áreas nas quais o mineral a ser lavrado encontra-se sob a forma de sulfetos ou quando sulfetos estão associados à rochas encaixantes. Os resíduos de minas (estéreis e rejeitos provenientes do beneficiamento) ricos em sulfetos, ao ficarem expostos à água e ao ar, oxidam-se gerando acidez.

Quando da avaliação da geração de drenagens ácidas, dois aspectos devem ser levados em conta. Primeiramente, o fato de que seus impactos não se restringem apenas à área minerada, podendo atingir corpos hídricos superficiais e subterrâneos distantes do empreendimento. Além disso, as reações químicas envolvidas no processo usualmente ocorrem durante anos após esgotado o depósito mineral. Alia-se a esses o fato de que a contaminação gerada inviabiliza o uso da água para fins recreativos, agrícolas e de consumo.

O potencial de geração de drenagem ácida, quando avaliado na fase de planejamento do empreendimento mineiro, permite melhor gerenciamento da disposição dos resíduos bem como a adoção de alternativas adequadas de mitigação e controle. Essas medidas, além de minimizar os impactos ambientais ao longo da vida útil da mina, facilitam as operações de recuperação por ocasião do encerramento das atividades.

Um projeto de recuperação ambiental da envergadura daquele necessário à região carbonífera de Santa Catarina somente terá conseqüências positivas caso seja desenvolvido como um programa coordenado de ações conjuntas envolvendo todas as partes interessadas. Deverá ser uma iniciativa de muitas dimensões em que os aspectos técnicos e ambientais associam-se aos econômicos e sociais. Assim, a escolha das melhores alternativas técnicas para cada caso deverá levar em conta as necessidades das empresas, órgãos ambientais, agências reguladoras, comitês gestores de bacia e comunidades, cada qual com o papel que lhe cabe, no sentido de buscar a melhor solução.

Em sua dimensão técnica o aqui denominado Projeto de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense deverá envolver uma fase de conceituação de soluções (Projeto Conceitual) seguida de um Projeto Básico e um Projeto Detalhado. Nas fases de Conceitual e Básico as questões ambientais associadas à indústria carbonífera catarinense instalada às margens das bacias do Rio Araranguá, Urussanga e Tubarão deverão ser tratadas em uma escala regional. Na fase de detalhamento deverão ser desenvolvidas soluções específicas, aplicáveis a áreas progressivamente menores.

Para formulação desta fase Conceitual o SIECESC conta com o trabalho de assessoria técnica do CETEM - Centro de Tecnologia Mineral, órgão do Governo Federal ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia a quem solicitou a produção de um Projeto Conceitual de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense com edição prevista para dezembro de 2000*. Nesta tarefa o CETEM conta com a assessoria técnica do CANMET – Canada Centre for Mineral and Energy Technology, instituto canadense ligado ao Natural Resources Canada, conceituada organização reconhecida internacionalmente por seus importantes trabalhos na área de mineração e meio ambiente e com o qual o CETEM mantém estreita colaboração técnica desde a década de 80.

O presente volume tem por objetivo apresentar ao SIECESC a primeira etapa destes trabalhos. Seu conteúdo lança as bases fundamentais para as fases subseqüentes¹.

¹ O presente VOLUME I do Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense foi originalmente apresentado em sua revisão 00 ao SIECESC em setembro de 2000, os VOLUMES II e III em dezembro de 2000

2. MINERAÇÃO DE CARVÃO EM SANTA CATARINA E ASPECTOS AMBIENTAIS

2.1 Histórico

A Bacia Carbonífera de Santa Catarina, localizada a sudeste do estado, estende-se das proximidades de Morro dos Conventos – Arroio Silva, no litoral ao sul, até as cabeceiras do rio Hipólito, ao norte. No limite oeste, atinge Nova Veneza, e a leste, a linha natural de afloramento vai até Lauro Müller e Brusque do Sul. A Bacia possui um comprimento conhecido de 95 km e uma largura média de 20 km, compreendida na área delimitada pelas coordenadas $28^{\circ}11'$ a $29^{\circ}03'$ de latitude sul e $49^{\circ}10'$ a $49^{\circ}37'$ de longitude oeste (Figura 1).

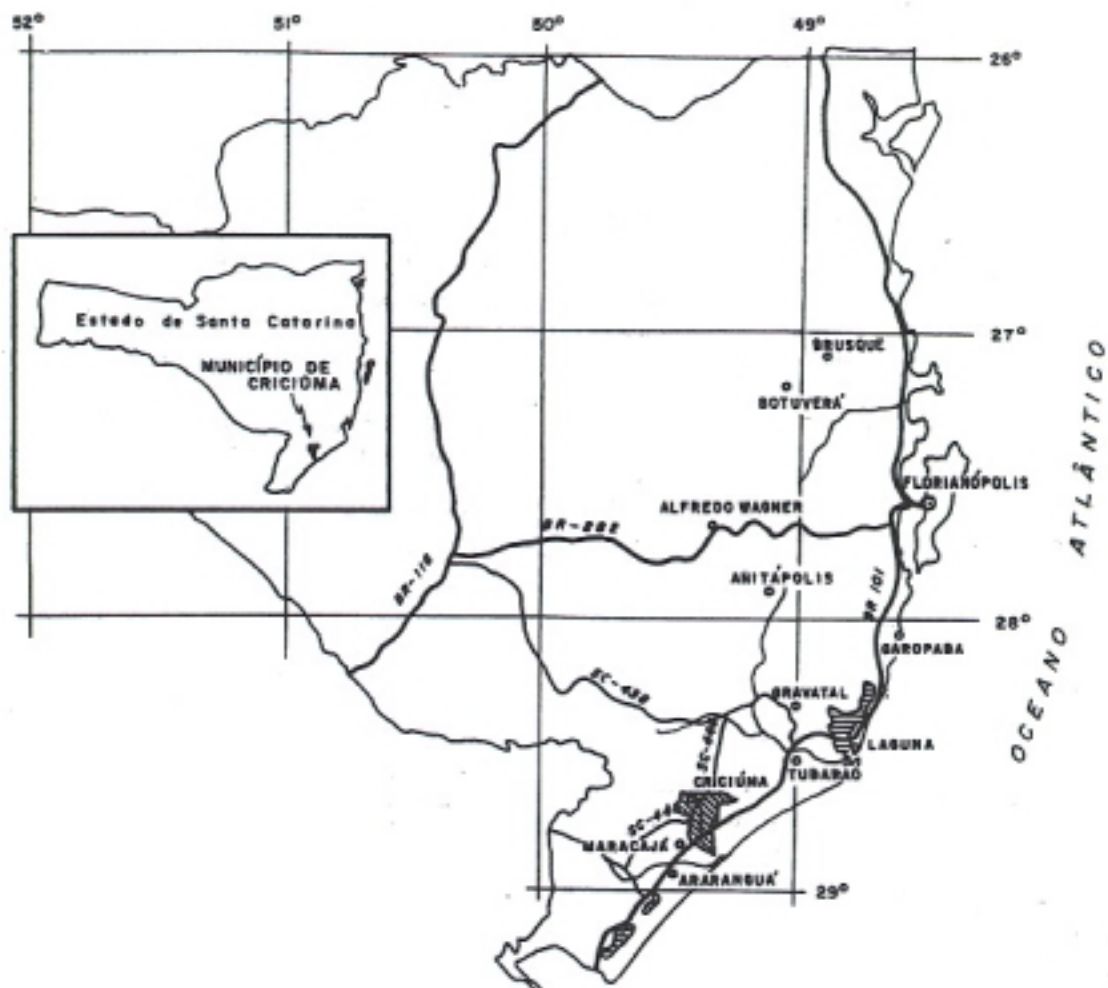


Figura 1 – Mapa de localização da Região Carbonífera de Santa Catarina

A lavra e o beneficiamento do carvão mineral no sul de Santa Catarina apresentaram-se, desde os seus primórdios, como atividades econômicas fundamentais ao desenvolvimento de toda a região e, desde o início de sua exploração econômica, o carvão teve a sua comercialização atrelada a decisões governamentais.

O carvão catarinense foi descoberto em 1822 por tropeiros que desciam a serra do "12", em direção a Laguna. Os primeiros trabalhos de exploração em Santa Catarina ocorreram na região de Lauro Muller. Até 1884 predominavam as pequenas produções, com extração totalmente manual. O transporte do carvão vendável era feito por "carros de boi" até as margens do rio Tubarão, seguindo em canoas até Laguna. Neste ano, entrou em operação um trecho viário ligando Lauro Müller a Imbituba, pertencente à Estrada de Ferro Dona Teresa Cristina. A lavra do carvão, entretanto, continuava manual e o beneficiamento, quando muito, utilizava as chamadas "escolhedeiras", mulheres que faziam a escolha entre o carvão e a pedra (estéril).

Durante a I Guerra Mundial, face ao impedimento da importação do carvão europeu para atender às empresas nacionais de iluminação, gás e ferrovias, a exploração do carvão brasileiro foi incentivada.

Nos anos de 1931 e 1940 foram elaboradas as primeiras leis que obrigavam o consumo, pelas indústrias, de 10 e 20%, respectivamente, do carvão nacional em substituição ao importado. Tal fato, associado ao advento da II Guerra Mundial, proporcionou um significativo aumento da produção nacional do carvão (da ordem de 300 a 500%), bem como de sua rentabilidade. Ocorreram, paralelamente, melhorias nos setores ferroviário e portuário.

Após a II Guerra Mundial, com a inauguração da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda-RJ, abre-se o mercado para o carvão metalúrgico nacional. Nessa mesma época entrou em operação o Lavador Central de Capivari, em Tubarão, cuja finalidade era produzir carvão metalúrgico para as coqueiras da CSN e carvão grosso para as locomotivas, navios e termelétricas. Observa-se, dessa forma, que a produção de carvão sempre esteve ligado ao desenvolvimento de outros setores econômicos.

No período de 1953 a 1970, com maior apoio do governo, foram tomadas diversas iniciativas para ampliar o uso do carvão nacional na geração de energia elétrica, buscar novos mercados e usos para os subprodutos do beneficiamento e melhorar a economicidade da

indústria carbonífera como um todo. Merecem destaque, além da implantação do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda que, em 1980, com uma capacidade instalada de 482 MW, transformou-se no maior complexo termelétrico à carvão da América Latina, o projeto da Indústria Carboquímica Catarinense - ICC, para aproveitar os rejeitos piritosos oriundos do beneficiamento do carvão.

Nos anos 50, mais de 20 companhias de mineração estabeleceram-se em Santa Catarina. Até 1960, a grande maioria das minas fazia a mineração seletiva do banco de carvão, cujo produto continha cerca de 34% de cinzas e 8% de enxofre e era chamado de "carvão lavador", o qual era enviado por via férrea ao Lavador de Capivari. A partir de 1961, abandonada a mineração seletiva, o produto minerado continha de 60 a 65% de estéril, tornando seu transporte antieconômico. Assim, foram instalados pré-lavadores nas bocas das minas para produzir o chamado "carvão pré-lavado", com 28 a 32 % de cinzas, o qual era enviado ao Lavador de Capivari. Os rejeitos xistoso e piritoso produzidos nos jigues dos pré-lavadores foram sendo depositados, durante décadas, próximos aos lavadores, causando grande impacto ambiental, principalmente devido à presença da pirita. Este passivo ambiental até hoje causa danos à região.

Para a Bacia Carbonífera a década de 70 e o início da de 80 marcaram a efetiva diversificação da economia regional, a partir da mecanização nos processos de lavra e de criação de subsídios. O mercado do carvão ampliou-se para além do siderúrgico e termelétrico com novos consumidores nos setores industriais da petroquímica, cimento, alimentação, papel, celulose, fumo, cerâmica e outros.

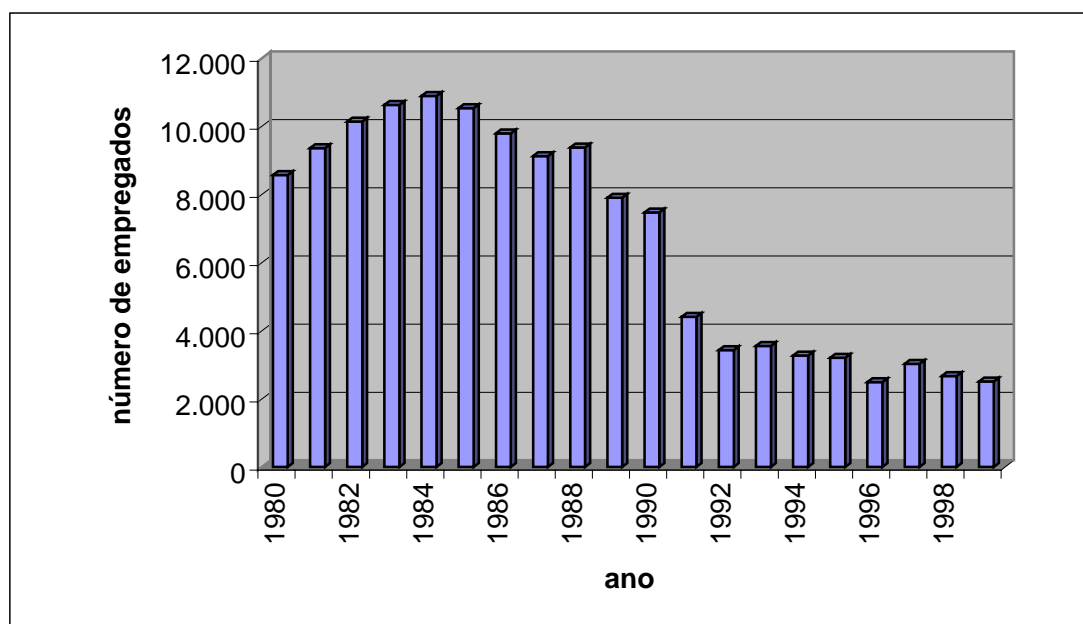
Com as crises energéticas mundiais de 1973 e 1979, o Governo Federal aumentou ainda mais os incentivos à indústria carbonífera, através de subsídios ao transporte e ao consumo do carvão e de financiamentos facilitados às empresas, visando ao desenvolvimento de fontes alternativas de energia no País, em substituição aos derivados de petróleo. Com estas medidas, a produção e consumo do carvão brasileiro atingiram valores máximos, da ordem de 8 milhões de toneladas, em 1986, triplicando os valores de 1975, e conquistando novos mercados, com destaque para o cimenteiro.

Em 1988 foi suspenso qualquer tipo de subsídio ao carvão, delineando o início do seu declínio econômico. A crise maior do setor carbonífero deu-se na "era Collor de Mello", em setembro de 1990, com a assinatura da Portaria Federal nº 801, desregulamentando o setor. Tal fato, indiretamente, acabou com o mercado do carvão metalúrgico no País, reduzindo

abruptamente a produção de carvão em Santa Catarina. Milhares de trabalhadores viram-se, repentinamente, desempregados. A partir de 1990, a produção anual de carvão brasileiro praticamente estabilizou-se entre 5 e 6 milhões de toneladas.

A indústria carbonífera catarinense atingiu seu auge na década de 80, chegando a empregar cerca de 11.000 trabalhadores e prover a subsistência de mais de 66.000 pessoas. O impacto sócio-econômico de seu declínio seria ainda maior se outros serviços correlatos, tais como os de comercialização e os portuários, fossem contabilizados. Assumindo a participação dessas atividades periféricas com igual importância às da mineração, o impacto total sobre o número de empregos na indústria carbonífera poderia ser estimado em 38.000, os quais mantinham mais de 220.000 pessoas. A Figura 2 exibe a evolução da mão de obra ao longo das décadas de 80 e 90.

Figura 2 - Evolução da mão de obra mineira em Santa Catarina – 1980 a 1999



A mineração do carvão sempre exerceu um papel dominante na economia da região sul do estado de Santa Catarina. Segundo a Fundação Getúlio Vargas - FGV, a participação do carvão na economia da região atingiu 30% do PIB na década de 70. Na década de 80, sua participação esteve entre 28,7 e 33,3%. Nos anos 90, mesmo com o declínio da produção, sua contribuição foi de 20,4 a 25,6% para o PIB da região. Naqueles municípios onde não há diversificação da economia, como Lauro Müller e Siderópolis, o carvão contribuiu com 85 a 73% da produção industrial.

Considerando que praticamente toda a produção atual de carvão de Santa Catarina destina-se à geração de energia elétrica, através do Complexo de Usinas Termelétricas Jorge Lacerda, ressalta-se que os resultados sobre o PIB e o emprego são bastante relevantes, sendo mais favoráveis do que aqueles obtidos em usinas hidrelétricas. De acordo com estudos comparativos da FGV, com dados de 1995, dos impactos sobre o PIB sob a óptica da renda (soma da remuneração dos recursos humanos e de capitais empregados, mais os impactos indiretos, incidentes sobre os fatores), foi concluído que para cada R\$ 100,00 de eletricidade produzidas em uma termelétrica, a contribuição ao PIB é de R\$ 131,33 (R\$ 38,52 em salários e ordenados, R\$ 82,07 em rendas de capitais e R\$ 10,74 em impostos indiretos sobre insumos). Já para uma usina hidrelétrica, a contribuição ao PIB é de R\$ 103,33 (R\$ 4,00 em salários e ordenados, R\$ 98,39 em rendas de capitais e R\$ 0,94 em impostos indiretos sobre insumos). Portanto, a usina termelétrica tem uma participação maior no PIB em salários e ordenados e em impostos indiretos sobre insumos, sendo menos concentradora. Além disso, na usina hidrelétrica, 94% dos R\$ 98,39 de rendas de capital na economia estão concentrados na própria atividade, enquanto que na termelétrica, estes recursos distribuem-se pelo sistema produtivo. Dessa forma fica evidente que uma termelétrica tem maior impacto multiplicador sobre a economia do que uma hidrelétrica.

Com base no exposto acima pode-se afirmar que a região de Santa Catarina, em particular o sul catarinense, vem se beneficiando desses efeitos positivos ao longo das últimas décadas.

2.2 Produção de carvão e geração de drenagem ácida

O carvão mineral, no Brasil, constitui-se na maior fonte de energia não renovável. Suas reservas representam cerca de 50%, seguido pela energia nuclear com 27% e petróleo com 8%. O restante é atribuído a gás natural, xisto e turfa.

De um total de 32,3 bilhões de toneladas de reserva estimada de carvão mineral, o Estado de Santa Catarina detém mais de 10% (3,4 bilhões de toneladas).

O carvão é formado por carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre e traços de outros elementos, que constituem sua matéria carbonosa. Esta pode estar associada a rochas (arenito, siltito, folhelhos e diamictitos) e minerais como a pirita. O objetivo fundamental da etapa de beneficiamento é reduzir as impurezas associadas à matéria carbonosa do carvão. As camadas lavradas em Santa Catarina são a Barro Branco, representando cerca de 90% do produto vendável, e o restante, das Camadas Bonito e Irapuá.

A prática usual na região é alimentar o carvão lavrado (ROM - Run of Mine), com cerca de 65% de cinzas e 5% de enxofre, no circuito de beneficiamento (lavador). Inicialmente a alimentação sofre um "scalping" em grelha de 8". A fração passante é britada abaixo de 1 1/4", e alimenta o jig. Esta operação gera 3 tipos de rejeitos: R1 - rejeito piritoso; R2 - rejeito xistoso; R3 - rejeito argiloso.

O produto flutuado no jig é peneirado a 0,5 mm (28 malhas) e o retido (31,5% do ROM) constitui o produto CE4500, com 35% de cinzas e 2% de enxofre. O passante (< 0,5 mm) é desaguado e classificado em ciclones. O produto grosseiro é concentrado em espirais. O concentrado das espirais (3,1% do ROM) é denominado produto CE4500, com 42% de cinzas e 1,3% de enxofre. O estéril e rejeitos grosseiros (R1, R2 e R3), que constituem 56,4% do ROM, são estocados em pilhas. A água e o rejeito dos ciclones, juntamente com o rejeito das espirais, perfazem 9% do ROM e são estocados em bacias de decantação. O desenho esquemático de um circuito típico de beneficiamento está apresentado na Figura 3.

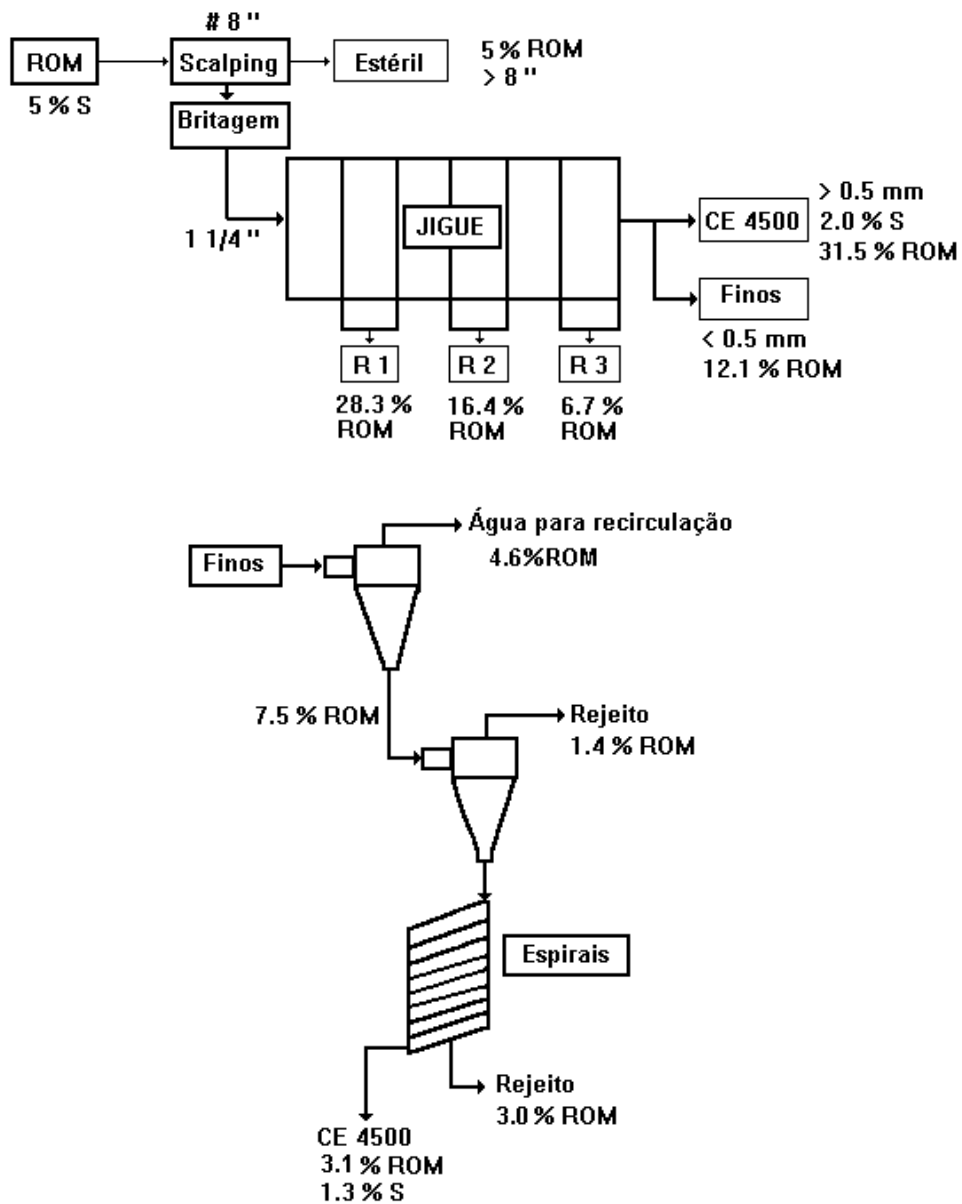


Figura 3 - Circuito típico de beneficiamento nos lavadores de carvão de Santa Catarina para a camada Barro Branco.

O Estado de Santa Catarina é o 2o maior produtor brasileiro de carvão. Em 1999, foram produzidas 2.247.277 toneladas (Tabela 1) representando 39,3% da produção total brasileira de 5.719.607 toneladas. Na Figura 4 é apresentada a produção de carvão vendável brasileiro e de Santa Catarina no período de 1980 a 1999. Nota-se, na figura, uma acentuada queda da produção em 1989/1990, reflexo da citada crise do setor nesse período.

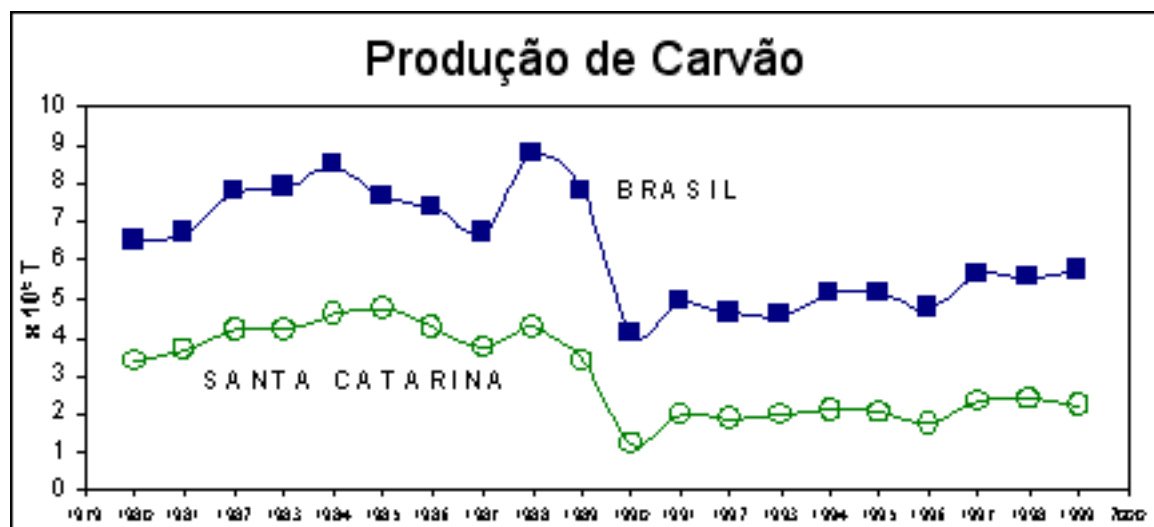


Figura 4 - Produção de carvão do Brasil e de Santa Catarina

Tabela 1 - Produção de carvão em Santa Catarina.

Ano 1980/1999	Carvão de Santa Catarina				
	CE 4500	Metalúrgico	Finos	Antracitoso	Total
1980	1.839.826	1.287.605	256.622	17.003	3.401.056
1981	2.513.613	924.892	207.892	15.304	3.661.701
1982	2.990.465	960.787	235.932	14.139	4.201.323
1983	2.900.197	1.028.523	266.795	15.115	4.210.630
1984	3.301.681	1.009.573	292.645	25.092	4.628.991
1985	3.289.563	1.095.428	312.240	47.525	4.744.756
1986	2.906.158	1.007.523	322.789	33.173	4.269.643
1987	2.744.622	695.528	294.780	33.683	3.768.613
1988	2.992.868	834.968	394.442	26.444	4.248.722
1989	2.293.021	680.227	372.287	20.051	3.365.586
1990	786.898	348.457	64.106		1.199.461
1991	1.886.854	-	78.532		1.965.386
1992	1.684.450	-	142.821	28.540	1.855.811
1993	1.843.764	-	133.766	15.792	1.993.322
1994	1.976.451	-	99.968	18.759	2.095.178
1995	1.978.341	-	79.590		2.057.931
1996	1.678.558	-	70.211		1.748.769
1997	2.241.288	-	90.462		2.331.750
1998	2.311.501	-	85.666		2.397.167
1999	2.145.232	-	102.045		2.247.277

A partir de 1999 e até a edição do presente documento 10 empresas são as maiores produtoras de carvão em Santa Catarina, conforme apresentado na Tabela 2. Essas operam nove minas subterrâneas e duas a céu aberto, enquanto seis pequenas minas e algumas pilhas de rejeito são mineradas por outras pequenas operadoras.

Tabela 2 - Produção de carvão em Santa Catarina em 1999

Empresa	ROM	CE4500	CE5400	CM Finos	Total Carvão
Treviso		19.814			19.814
Carb.Metropolitana S.A.	1.197.611	403.918	11.517	14.306	429.741
Carb. Criciúma S.A.	1.069.780	519.116	2.183	31.204	552.503
Coque Catarinense Ltda		71.902			71.902
Comim e Cia. Ltda.		54.643			54.643
Min.São Domingos Ltda		54.643			54.643
Catarinense	231.985	164.433			164.433
Ind.Carb. Rio Deserto Ltda	1.212.416	446.637	170	20.535	467.342
Cooperminas	293.315	195.956		36.000	231.956
Carb. Belluno Ltda	478.073	200.300			200.300
Total	4.484.073	2.131.362	13.870	102.045	2.247.277

Como já comentado, a geração de drenagem ácida em minas de carvão está condicionada à presença de minerais sulfetados expostos ao oxigênio e à água.

As principais reações químicas associadas à drenagem ácida, em presença de pirita, podem ser representadas pelas seguintes equações:



A reação representada pela equação (a) produz sulfato ferroso e ácido sulfúrico. Posteriormente, o sulfato ferroso pode ser oxidado e produzir sulfato férrico e então passar a hidróxido férrico ou sulfato básico de ferro, de acordo com as reações representadas pelas equações (b), (c) e (d), alterando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

2.3 Aspectos ambientais relacionados à mineração de carvão

A mineração, como qualquer empreendimento industrial, pode gerar impactos ambientais, desde alterações na paisagem, fauna e flora local, à contaminação do solo, água e ar. A

Figura 5 apresenta alguns dos principais aspectos ambientais associados à atividade de mineração e processamento mineral.

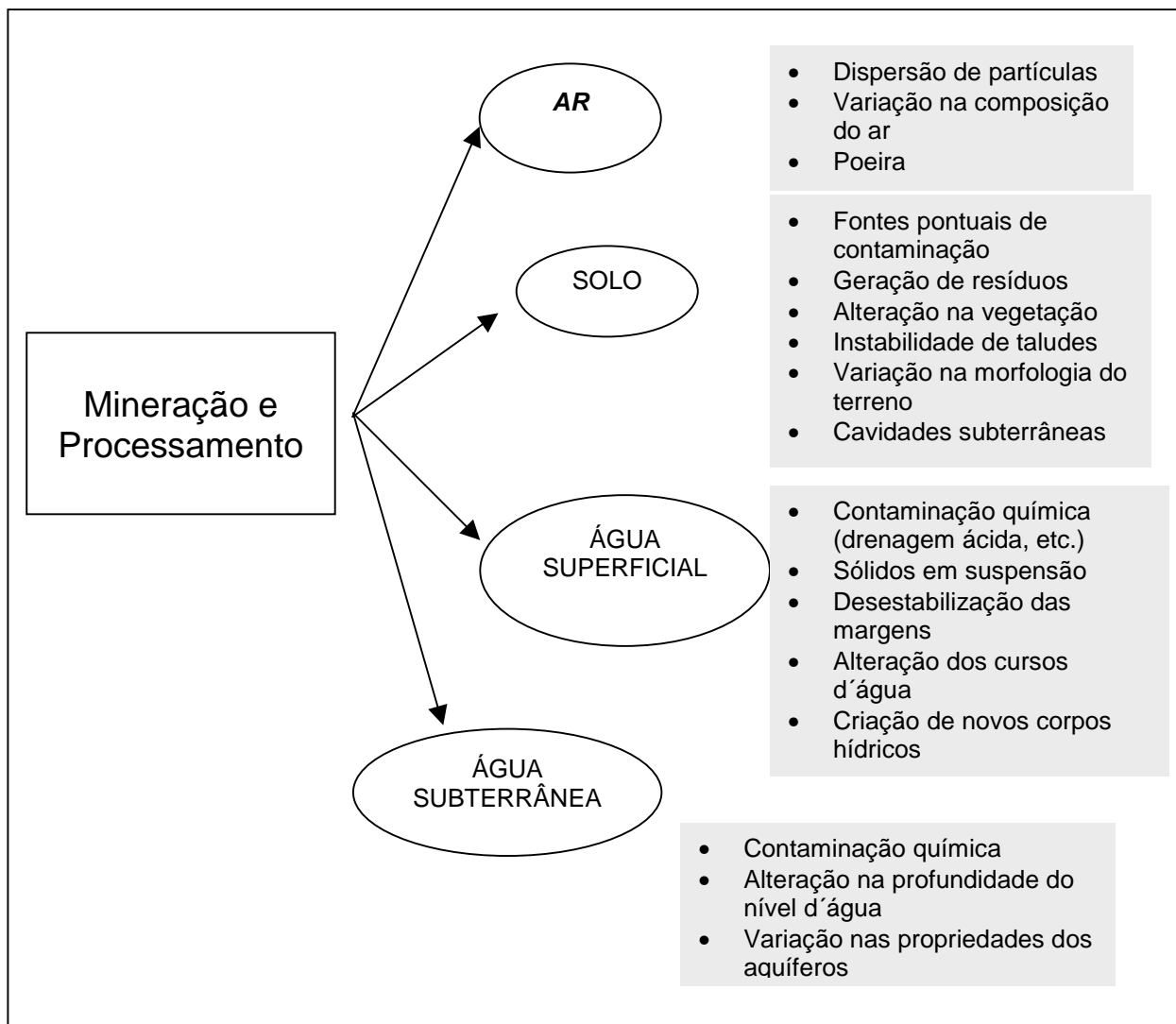


Figura 5 – Aspectos das atividades de mineração e processamento relativos aos vários compartimentos ambientais

Na região carbonífera de Santa Catarina a poluição hídrica causada pelas drenagens ácidas é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração, beneficiamento e rebeneficiamento (Alexandre e Krebs, 1995). Esta poluição é decorrente da percolação da água de chuva através dos rejeitos gerados nas atividades de lavra e beneficiamento, alcançando os corpos hídricos superficiais e/ou subterrâneos.

A Foto 1 ilustra um corpo hídrico superficial, na região carbonífera de Santa Catarina, com qualidade comprometida pela drenagem ácida. A coloração avermelhada é típica deste comprometimento. A Foto 2 apresenta a drenagem ácida oriunda de uma boca de mina abandonada na mesma região. Observa-se coloração também característica da presença de óxidos e hidróxidos de ferro.



Foto 1 – Corpo hídrico superficial, na região carbonífera de Santa Catarina, com qualidade comprometida pela drenagem ácida



Foto 2 – Drenagem ácida oriunda de uma boca de mina abandonada na região carbonífera de Santa Catarina.

A Foto 3 mostra área na região carbonífera de Santa Catarina onde material estéril está em contato com águas superficiais contaminadas pela drenagem ácida.



Foto 3 – Área na região carbonífera de Santa Catarina onde material estéril encontra-se em contato com águas superficiais contaminadas pela drenagem ácida.

A Foto 4 apresenta depósito de rejeito do beneficiamento de carvão. Esses rejeitos expostos a chuvas e ao oxigênio do ar são também potenciais fontes de geração de drenagens ácidas na região.



Foto 4 – Depósito de rejeito do beneficiamento de carvão na região carbonífera de Santa Catarina

A mineração de carvão na região tem também potencial de contaminação do solo em áreas não cobertas por material estéril e por depósitos de rejeitos. Isto se dá através da inundação de regiões não contaminadas com águas de drenagens ácidas.

Na região, a poluição do ar, associada à atividade de mineração do carvão, ocorre principalmente como consequência do manuseio de material particulado produzido no

processo de lavra e beneficiamento/rebeneficiamento e da geração de SOx a partir da combustão espontânea que ocorre nos depósitos de rejeito.

A Foto 5 apresenta uma vista aérea de uma instalação de beneficiamento de carvão e áreas adjacentes. Nota-se a alteração da paisagem e a grande proximidade entre essas instalações e núcleos habitacionais. Observam-se ainda corpos hídricos com coloração avermelhada característica da contaminação por drenagens ácidas.



Foto 5 – Vista aérea de uma instalação de beneficiamento de carvão e áreas adjacentes na região carbonífera de Santa Catarina

2.4 Outras fontes de contaminação

Além dos resíduos e efluentes da mineração de carvão, outros fatores podem contribuir também para o impacto ambiental observado na bacia carbonífera de Santa Catarina. Dentre estes, incluem-se efluentes da indústria cerâmica, metal-mecânica, química, alimentícia, de atividades agro-industriais (fecularias, riziculturas, etc.), de minerações de argila e de fluorita, além dos despejos sem tratamento de esgotos municipais domésticos, industriais e comerciais nos cursos d'água da região. A Tabela 4 apresenta os potenciais impactos ambientais associados a essas atividades.

Tabela 4 – Potenciais impactos ambientais associados a outras atividades na região carbonífera de Santa Catarina em adição à mineração de carvão.

Atividade	Potencial impacto ambiental
Extração de argila	Inundação de áreas, erosão, vossorocas, alteração da qualidade do solo, assoreamento, degradação visual
Cerâmicas	Contaminação hídrica ⁽¹⁾ , contaminação atmosférica ⁽²⁾ , ruídos, resíduos sólidos perigosos e inertes
Curtume	Contaminação hídrica ⁽³⁾ e atmosférica (odores, gás sulfídrico e gases de caldeira)
Galvanoplastia	Contaminação hídrica e atmosférica, descarte de resíduos sólidos ⁽⁴⁾
Fundição	Efluentes aquosos tóxicos e emissões atmosféricas ⁽⁵⁾
Indústrias químicas	Contaminação hídrica ⁽⁶⁾
Indústria têxtil	Contaminação hídrica ⁽⁷⁾ e atmosférica (odores, gases tóxicos e emissão de particulados)
Riziculturas ⁽⁸⁾	Contaminação hídrica com altas cargas de matéria orgânica e compostos organo clorados e fosfatados
Urbanização	Degradação dos recursos naturais afetando áreas de nascente e de recarga de aquíferos e de acervo paisagístico; esgotos domésticos e disposição de resíduos urbanos

(1) alteração da turbidez e coloração dos corpos hídricos por sólidos em suspensão e material argiloso, presença de sulfatos, cloretos, fluoretos, boro, matéria orgânica e metais pesados (chumbo e zinco em solução e em suspensão).

(2) material particulado, óxidos de enxofre, de nitrogênio e carbono (SO_x, NO_x e CO₂), cloretos, fluoretos, amônia e boro.

(3) efluentes ricos em matéria orgânica, sais de cromo, sulfatos, cal, gás sulfídrico dissolvido, colóides, sabões, alteração do pH natural, coloração.

(4) presença de metais pesados, cianetos, sulfetos e fluoretos, alteração do pH natural, sais dissolvidos, ternsoativos, vapores ácidos e fumos aquecidos.

(5) SO_x, NO_x, CO₂, material particulado e óxidos metálicos.

(6) sólidos em suspensão, ácidos ou álcalis, sais tóxicos (fluoretos, fosfatos, sulfatos), solventes orgânicos, graxas, óleos, metais dissolvidos, alteração de temperatura etc.

(7) efluentes fortemente alcalinos, ricos em matéria orgânica, elevado DBO, cloro, hipoclorito e bissulfito de sódio.

(8) cultura e beneficiamento de arroz.

2.5 Situação Atual

Ao longo dos últimos 30 anos foram realizados diversos estudos com diferentes graus de profundidade e amplitude acerca dos impactos ambientais associados à indústria carbonífera catarinense. Alguns dos mais importantes trabalhos não acadêmicos sobre o tema foram levados a cabo com apoio do poder público municipal, estadual, federal e do SIECESC.

O SIECESC patrocinou um estudo de engenharia realizado pela empresa IESA - Internacional de Engenharia concluído em julho de 1983 que propôs, à luz das tecnologias

disponíveis na ocasião, alternativas técnicas para o tratamento de efluentes e resíduos sólidos produzidos pela mineração do carvão em Santa Catarina.

A SDMA/MITSUBISHI CORP/ CHIYODA- DAMES & MOORE CO - Japan International Cooperation Agency – JICA financiou parcialmente trabalhos sobre poluição hídrica decorrente da mineração realizados no início da década de 80 e depois em 1997 em associação, no primeiro caso com o DNPM, e depois com a Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina.

O Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina – PROGESC, resultado de um Convênio celebrado entre a prefeitura Municipal de Criciúma, a UNESCO, a FATMA e a CPRM produziu, em meados da década de 90, relatórios ambientais abrangendo o Município de Criciúma e contemplando diversas disciplinas.

O DNPM realizou, em 1999, um Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Araranguá destacando o papel da indústria carbonífera na poluição hídrica regional.

Em agosto de 2000, o SIECESC elaborou um mapa preliminar da Região Carbonífera de Santa Catarina na escala 1:50.000 (Mapa 01, anexo a este documento) abrangendo as Bacias Hidrográficas dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga nas suas porções atingidas pela mineração de carvão, apresentando rios e estradas principais, cidades, localidades, áreas mineradas a céu aberto e de depósitos de rejeitos, bacias de águas ácidas, cavas de mineração e localização de minas e usinas de beneficiamento.

O mapa foi elaborado com base nos dados apresentados no relatório da JICA de outubro de 1997 a partir de levantamento aerofotogramétrico realizado em 1996, e com base nas informações contidas nos relatórios do DNPM de dezembro de 1999, que abrange somente a Bacia do Rio Araranguá. Especificamente para esta bacia foi realizada uma tentativa de conciliação entre os dados da JICA e aqueles disponíveis no DNPM. Dada a discrepância entre os dados, manteve-se a base, a localização e a extensão das áreas apontadas pela JICA (por apresentar a pior situação) e adotou-se a nomenclatura indicada pelo DNPM. Atualmente, o mapa está sendo aprimorado com base em foto-satélite georreferenciada e será detalhado a partir de informações obtidas das carboníferas e, complementadas onde necessário, por levantamentos de campo. Informações constantes desses estudos foram utilizadas para elaboração do presente documento.

Dados de DNPM/CPRM (1984), Alexandre e Krebs, 1995 e DNPM (1999) foram utilizados para a análise preliminar sobre a evolução da qualidade das águas superficiais na Bacia do Rio Araranguá em intervalos de 4 (1995 a 1999) e 14 anos (1984 a 1999) como se segue. A poluição hídrica oriunda da mineração de carvão, como mencionado anteriormente, tem origem em diversas etapas do processo de mineração. Os parâmetros os usualmente utilizados como indicadores de impactos em águas superficiais decorrentes dessa atividade são: pH, potencial de oxi-redução, condutividade elétrica, turbidez, acidez total, sólidos totais, oxigênio dissolvido, demanda biológica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), detergentes, fosfato total, nitrogênio, sulfatos, óleos e graxas, e metais dissolvidos, entre eles, cádmio, chumbo, cromo, cobre, zinco, ferro, manganês (Alexandre e Krebs, 1995; DNPM, 1999). Valores admissíveis para tais parâmetros em águas superficiais estão expressos na Resolução CONAMA N° 20 de 18.06.1986, publicado no Diário Oficial da União em 30 de julho de 1986 (CONAMA, 1992).

Três bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina são consideradas impactadas pela atividade mineradora de carvão: a Bacia do Rio Araranguá, do Rio Tubarão e do Rio Urussanga. Cerca de 80% da produção de carvão da região localiza-se na Bacia do Rio Araranguá (SNIEC, 1983), e, de acordo com SDMA/MITSUBISHI CORP/ CHIYODA-DAMES & MOORE CO (1997), o volume total de rejeitos e estéréis depositados nas áreas destas três bacias hidrográficas perfaz mais de 370 milhões de m³ de material (rio Araranguá, 223 milhões de m³, rio Tubarão, 91 milhões de m³ e rio Urussanga, 58 milhões de m³), ocupando uma área total de 4,7 mil ha (rio Araranguá, 2,9 mil ha, rio Tubarão, 1,2 mil ha e rio Urussanga, 600 ha).

Utilizando-se dados analíticos apresentados por Alexandre e Krebs (1995) e DNPM (1999), foi feita uma avaliação das mudanças nas condições hídricas na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá para um período de 4 anos.

Na Tabela 5 são apresentados resultados de análises químicas de águas superficiais em pontos de amostragem coincidentes em ambos os trabalhos citados. Estes pontos localizam-se no rio Sangão e seus afluentes Maina e Criciúma. Para identifica-los, adotou-se aqui a mesma nomenclatura usada em DNPM (1999). Desta forma, os pontos examinados foram:

- Rio Maina: 031 e 035
- Rio Criciúma : 045
- Rio Sangão : 038 e 044

As variações de pH e sulfato ocorridas no intervalo de 14 anos na Bacia do Rio Araranguá são também apresentadas na Tabela 5, utilizando-se dados analíticos de DNPM/CPRM (1984) e DNPM (1999). Os rios considerados neste caso foram o Mão Luzia e seus afluentes Pio e Fiorita. Para identificação dos pontos de amostragem foi também adotada a nomenclatura utilizada em DNPM (1999). Desta forma os pontos avaliados são:

- Rio Fiorita: 024
- Rio Pio : 013
- Rio Mãe Luzia : 01; 012; 017; 021; 048

Para cada rio, a seqüência de pontos de amostragem apresentada na Tabela 5 está relacionada às estações de monitoramento localizadas no sentido de sua nascente para sua foz.

Tabela 5 - Contaminação de águas superficiais da Bacia do Rio Araranguá

Ano-Estações	pH	SO ₄ (mg.L ⁻¹)	Metais (mg.L ⁻¹)				
			Cu	Pb	Zn	Fe	Mn
CONAMA (Classe I)	6 a 9	250	0,02	0,03	0,18	0,3	0,1
Rio Maina							
1995- RM 01	2,63	3095	0,52	0,12	4,25	252	4,23
1999- 031	6,3	11	<0,01	<0,02	<0,05	0,8	0,1
1995- RM 02	2,7	2171	0,5	0,1	4,4	414	5,3
1999- 035	2,8	1634	<0,11	<0,02	1,74	268	4,4
Rio Criciuma							
1995- RC 01	3,88	200	0,2	0,16	0,19	2,72	0,83
1999- 045	5,41	167	<0,01	<0,02	0,07	2,2	0,5
Rio Sangão							
1995- RS 02	2,72	1683	1	0,05	3,42	227	4,78
1999- 038	2,98	762	0,02	<0,02	1,62	94,3	2,2
1995- RS 03	2,74	1500	0,28	<0,02	3,79	207	5,47
1999- 044	2,38	1033	0,06	<0,02	1,95	110	3,1
Rio Pio							
1984- 096	4.1	160					
1999- 013	6.13	18					
Rio Fiorita							
1984- 068	3	1650					
1999- 024	3.2	422					
Rio Mãe Luzia							
1984- 013	8.8	26.8					
1999- 01	6.8	9					
1984- 087	3.7	66					
1999- 012	4.2	107					
1984- 083	5.1	124					
1999- 017	3.5	165					
1984- 078	6.3	98					
1999- 021	3.58	175					
1984- 007	3.2	470					
1999- 048	2.8	427					

Os valores apresentados nessa tabela referem-se, respectivamente, às médias de concentrações anuais de coletas de água mensais ou bimensais para dados de Alexandre e Krebs (1995) e de coleta única para os dados de DNPM (1999) para os rios Maina, Criciúma e Sangão. Para o rio Mãe Luzia, os valores são de coleta única como registrados em DNPM/CPRM (984) e DNPM (1999).

Na Tabela 6 é apresentado o fluxo dos elementos em quilograma por dia (kg.d^{-1}) e o percentual de decréscimo de cada um na avaliação temporal na bacia dos rios Maina e Sangão. Os valores foram calculados com base na vazão média anual ou na vazão mensal constante dos trabalhos anteriormente citados.

A Tabela 7 refere-se ao incremento de fluxo específico ($\text{kg.d}^{-1}.\text{km}^{-1}$) desses elementos, calculado através de balanços de massa utilizando-se o fluxo entre os pontos de amostragem considerados nos rios Maina e Sangão.

O incremento de fluxo específico é calculado pela diferença de fluxo na saída e na entrada do segmento de rio considerado, dividido pela área ou extensão deste segmento. Neste cálculo foi utilizado o valor de 5 km de extensão para o intervalo considerado no rio Maina e 15km para o intervalo considerado no rio Sangão.

Os resultados demonstraram decréscimo no valor da grande maioria dos parâmetros, exceto no valor do pH.

Houve acréscimo numérico no valor do pH em 6 das 12 estações analisadas; em 2, não houve mudança e em 4 estações o valor do pH decresceu.

Os resultados demonstram decréscimo numérico nos teores de sulfato em 9 das 12 estações estudadas, sendo que, nas 3 estações onde foi verificado aumento nos teores de sulfato, estes teores estão abaixo dos padrões exigidos pelo CONAMA (Resolução N° 20) para rios de Classe I (250mg.L^{-1}). Próximo às nascentes do rio Maina, o decréscimo de sulfato atingiu 2 ordens de grandeza, e pode ser notado inclusive pelo acréscimo significativo no valor do pH (de 2,63 para 6,3), atingindo valor adequado para rios de Classe I. Reduções significativas nos teores de sulfato são mostradas também nos rios Pio (aproximadamente 1 ordem de grandeza) e Fiorita (cerca de 4 vezes).

Para os teores de metais nas águas superficiais, os resultados demonstraram decréscimo numérico nos teores dos 5 metais analisados em 4 das 5 estações estudadas, sendo que apenas o Pb na estação 1995- RS 03/ 1999- 044 não mostrou variação, estando abaixo de $0,02\text{mg.L}^{-1}$ e, portanto, sendo inferior ao valor exigido pelo CONAMA para rios de Classe I que é de $0,03\text{mg.L}^{-1}$.

Para as águas do rio Mãe Luzia, o decréscimo no valor de sulfato está presente em uma das estações, bem como o acréscimo no valor do pH. Embora as águas do rio Mãe Luzia não apresentem, em geral, variações acentuadas para pH e sulfato em nenhuma das estações estudadas, as concentrações de sulfato estão abaixo do exigido pelo CONAMA para rios de Classe I, e apenas na estação próxima à sua foz, os teores de sulfato estão acima do padrão. Como já mencionado, seus afluentes rio Pio e rio Fiorita apresentam acréscimo no valor do pH e acentuado decréscimo nas concentrações de sulfato. Comparando-se as concentrações de sulfato nestes dois afluentes, verifica-se que as concentrações no rio Fiorita se apresentam 20 vezes maiores do que as concentrações encontradas no rio Pio, podendo assim, ser considerado como um importante contribuinte de cargas de sulfato para o rio Mãe Luzia. Entretanto, para este tipo de avaliação recomenda-se a utilização de dados de fluxo e não apenas das concentrações.

Da matriz apresentada na Tabela 6, 70% (21 em 30) das comparações mostraram decréscimo no fluxo de sulfato e de metais nas águas superficiais da Bacia do Rio Araranguá. Os resultados demonstram, portanto, significativos decréscimos para a grande maioria dos elementos em todas as estações estudadas para os rios Maina, Criciuma e Sangão, exceto para a estação de coleta 1995- RS 02 / 1999- 038, que está localizada imediatamente a jusante de uma bacia de decantação ou cava de mineração.

Dados de vazão dos rios Fiorita, Pio e Mãe Luzia em 1984 nas estações não estavam disponíveis na ocasião desta análise o que impediu a análise das variações temporais de contaminação nestes rios.

A interpretação dos resultados de incremento específico de fluxo de sulfato e de metais nas águas superficiais dos rios Maina e Sangão como colocado na Tabela 7 está relacionada também aos valores de fluxo total, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Fluxo de sulfato e de metais nas águas superficiais da Bacia do Rio Araranguá.

Ano-Estações	SO ₄ (kg.d ⁻¹)	Metais (kg.d ⁻¹)				
		Cu	Pb	Zn	Fe	Mn
1995- RM 01	7718	1,30	0,30	10,7	628	10,5
1999- 031	25	0,02	0,05	0,11	1,8	0,23
% decréscimo	99,7	98,3	85,0	99,0	99,7	97,9
1995- RM 02	57692	13	2,66	117	11001	141
1999- 035	67919	4,5	0,83	72	11139	183
% decréscimo	-17,7	65,6	68,7	38,3	-1,3	-29,6
1995- RC 01	412	0,4	0,3	5,6	5,61	1,71
1999- 045	313	0,02	0,04	4,1	4,1	0,94
% decréscimo	24,0	95,4	88,6	66,5	26,4	45,2
1995- RS 02	143001	84,9	4,25	19287	19287	406
1999- 038	205038	5,38	5,38	25374	25374	591
% decréscimo	-43,8	93,7	-26,7	-50,0	-31,6	-45,7
1995- RS 03	438409	78,2	5,58	1058	57803	1527
1999- 044	436668	25	8,45	824	46499	1310
% decréscimo	0,4	67,6	-51,4	22,1	19,6	14,2

Tabela 7 - Incremento de fluxo específico de sulfato e de metais nas águas superficiais da Bacia do Rio Araranguá, no segmento de rio considerado.

Ano-Estações	SO ₄ (kg.d ⁻¹ km ⁻¹)	Metais (kg.d ⁻¹ km ⁻¹)				
		Cu	Pb	Zn	Fe	Mn
1995-RM02-RM01	9994	2,3	0,4	21,2	2074	26,1
1999- 035- 031	13579	0,9	0,1	14,4	2227	36,5
1995- RS03-RS02	19360	-0,4	0,08	-1200	2567,6	74,7
1999- 044-038	15441	1,3	0,2	-1600	1408,3	47,8

Assim, é natural que se observe acréscimos no incremento do fluxo específico no rio Maina para a época de 1999, uma vez que ocorreram significativos decréscimos na contaminação à montante deste rio, e menores decréscimos a jusante do mesmo. Os decréscimos nas concentrações de Cu, Pb e Zn são expressivos tanto à montante quanto à jusante deste rio, de forma que os incrementos são menores em 1999 do que em 1995.

Para o segmento considerado no rio Sangão houve decréscimo nos incrementos de sulfato, Fe e Mn e acréscimos de Cu e Pb. Entretanto, é importante observar os decréscimos à montante e à jusante nos fluxos de Cu, de aproximadamente 94% e 68%, respectivamente.

Para o Zn, houve acréscimo a montante e decréscimo à jusante, sendo que, tanto em 1995 quanto em 1999, grande parte da carga de Zn é acumulada ou diluída neste segmento de rio.

Com base nessa comparação temporal pode-se concluir que houve melhora na qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá nos segmentos dos rios analisados no período entre 1984 e 1999 (rios Pio, Fiorita e Mãe Luzia) e entre 1995 e 1999 (rios Maina, Criciúma e Sangão).

A identificação dos fatores que ocasionaram esta melhora foge ao escopo da presente análise embora seja possível identificar fatos que devem ter contribuído para ela ocorrerem. Entre esses: as ações individuais realizadas pelas empresas mineradoras no sentido de minimizar a descarga de efluentes acidificados e a estabilização natural de alguns depósitos de rejeito e estéreis que, com o decorrer do tempo, podem ter esgotado sua capacidade de geração de acidez.

3. ESTRUTURA DO PROJETO CONCEITUAL PARA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA SUL CATARINENSE

A recuperação de uma área minerada, como aqui concebida, implica na mitigação dos impactos ambientais das atividades que ali se desenvolvem ou desenvolveram, com o objetivo de restaurar o local ao seu estado original ou o mais próximo possível deste. Isso requer a aplicação de um modelo de solução de problemas que tem início com a coleta sistemática de informações para caracterização da área, seguida da análise de dados e de um diagnóstico sobre sua situação atual. A etapa seguinte é a indicação de soluções de engenharia que levem à mitigação dos problemas ambientais diagnosticados e a realização de ensaios que validem estas indicações. O modelo é então complementado com a concepção de um sistema de monitoramento para avaliação, ao longo do tempo, do desempenho da aplicação das soluções. As etapas do modelo podem ser representadas pelo diagrama de blocos do Fluxograma 1 (Anexo).

3.1 Caracterização

De acordo com a abordagem proposta no Fluxograma 1, a etapa de Caracterização contempla investigações de campo e trabalhos de laboratório. O objetivo é localizar e caracterizar as potenciais fontes de contaminação e as trajetórias ao longo das quais os contaminantes podem ser transportados e elaborar uma análise envolvendo a avaliação do risco à saúde humana como indicador da qualidade do meio ambiente.

Além disso, a etapa de Caracterização fornece subsídios para a futura seleção de alternativas de engenharia de recuperação e classificação de áreas para efeito de implantação das ações corretivas e contribui para o estabelecimento de uma base de dados de monitoramento das soluções de recuperação adotadas.

3.1.1 Investigação de campo e ensaios de laboratório

As Tabelas 8 e 9 apresentam alguns dos principais parâmetros usualmente empregados para a caracterização das fontes potencialmente poluidoras e do ambiente receptor. Como fontes potencialmente poluidoras consideram-se os resíduos sólidos gerados nas atividades de extração e beneficiamento do carvão mineral bem como os efluentes líquidos ou emissões gasosas deles provenientes. Como ambiente receptor, a água, solo e ar.

Tabela 8 – Caracterização das fontes potencialmente poluidoras

Trabalhos de campo	<ul style="list-style-type: none"> • Inventário das minas ativas e abandonadas; • Levantamento da situação atual das minas ativas, incluindo práticas de lavra e beneficiamento, práticas de disposição de resíduos sólidos e lançamento de efluentes líquidos; • Levantamento da taxa de geração de resíduos das minas ativas; • Identificação e inventário dos pontos de descarga; • Determinação da distância entre as fontes poluidoras e as águas superficiais e subterrâneas; • Sondagens • Investigação hidrogeológica 		
	EMISSIONES GASOSAS		
	<ul style="list-style-type: none"> • SO_x • Particulados 		
	EFLUENTES LÍQUIDOS		
	<ul style="list-style-type: none"> • Medidas de vazão das descargas dos efluentes • pH • Eh • Oxigênio dissolvido • Sólidos em suspensão 		
Trabalhos de laboratório	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato • Metais dissolvidos (As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) 		
	RESÍDUOS SÓLIDOS		
	ENSAIOS FÍSICOS	ENSAIOS QUÍMICOS	ENSAIOS ESPECIAIS
	<ul style="list-style-type: none"> • Permeabilidade • Granulometria • Ensaios Geotécnicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Enxofre • Metais (As, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Zn) • Teor de matéria orgânica 	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de geração de drenagem ácida (balanço ácido-base, caracterização de agentes neutralizantes, etc.) • Caracterização mineralógica • Ensaios de lixiviação

Tabela 9 – Caracterização do ambiente receptor

Trabalhos de campo	
<ul style="list-style-type: none"> • Levantamento de dados climatológicos • Balanço hídrico • Dados de vazão dos rios • Pontos de captação de água (incluindo poços profundos) 	
ÁGUA SUBTERRÂNEA, SUPERFICIAL E SEDIMENTOS	
<ul style="list-style-type: none"> • pH, Eh, acidez total • Sulfato • Metais pesados (idem Tabela 8 – ensaios químicos) • Sólidos em suspensão • Oxigênio dissolvido • Condutividade elétrica • Turbidez • Caracterização dos sedimentos dos principais rios 	
SOLO	
Subjacente ao resíduos dispostos	Das áreas circunvizinhas aos depósitos de rejeitos
<ul style="list-style-type: none"> • Concentração de metais pesados e pH do solo • Capacidade de retenção de metais pesados; • Variações do pH; • Permeabilidade; 	Ensaio especiais para avaliação do solo quanto aos possíveis usos: agropecuária, lazer, áreas urbanas e industriais, etc.)
AR	
<ul style="list-style-type: none"> • SO_x • Particulados 	

3.1.2 Avaliação de risco à saúde humana como indicador de qualidade ambiental

A Organização Mundial da Saúde (OMS) tem enfatizado, desde a década de 70, a importância de um componente relacionado à saúde humana (definida como “o completo estado de bem-estar físico, mental e social, e não apenas a ausência de doença”) além daquele relacionado à saúde do meio ambiente, nas avaliações de impactos ambientais de empreendimentos econômicos. O objetivo é atingir as condições necessárias para o bem estar humano, físico, mental e social, conforme os princípios do desenvolvimento sustentável. Além disso, na Resolução CONAMA N° 001 de 23.01.1986, a proteção à saúde humana é o objetivo prioritário a ser alcançado nas ações de proteção ao meio ambiente.

A comparação entre os valores permitidos pela Legislação Brasileira com aqueles medidos nas águas superficiais não assegura a ausência de risco potencial à saúde humana e ao meio ambiente, sobretudo pela possibilidade de ação tóxica aditiva dos diferentes contaminantes e de múltiplas vias de exposição potencial.

Há dificuldade em usar o risco associado a um agente químico particular como medida do risco total representado por todos os agentes poluentes em um determinado local ou região. Sabendo-se ainda que os poluentes movem-se de um compartimento ambiental para outro, a estimativa da intensidade da poluição total será mais representativa do que essa estimativa em um único compartimento ambiental.

Por estas razões, as Agências de Proteção Ambiental de vários países têm utilizado metodologias que intencionam correlacionar concentrações de diversas substâncias tóxicas no meio ambiente aos riscos à saúde humana por exposição ambiental. Nos Estados Unidos da América, como resultado de determinação legal em 1988, através de lei chamada “The Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act - CERCLA”, a Agência de Proteção Ambiental daquele país (USEPA) desenvolveu a metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana e ao Meio Ambiente para selecionar ações remediadoras, produzindo prognósticos sobre as condições ambientais. Atualmente, na Inglaterra e em outros 15 países europeus tem-se utilizado a metodologia de avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente como um importante indicador de qualidade ambiental (European Union, 1998).

A metodologia de avaliação de risco à saúde humana e ao meio ambiente (USEPA, 1989) permite analisar o risco potencial da ocorrência de efeitos adversos à saúde humana e ao meio ambiente (no presente e/ou no futuro) provocado quando da liberação de substâncias perigosas por quaisquer atividades antropogênicas (ou naturais) em uma região fisicamente determinada.

A aplicação da metodologia resulta em um índice numérico que relaciona entre si a intensidade da poluição, a exposição e os potenciais riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Este índice utiliza métodos sistemáticos de avaliação dos efeitos adversos dos poluentes (agudos e crônicos) sobre organismos vivos. O método permite a avaliação da área de estudo, considerando suas singularidades.

São singularidades de uma área: tipos de contaminantes, topografia, presença de águas superficiais, vegetação, espécies animais, tipo de solo, proximidade de áreas preservadas,

proximidade de núcleos habitacionais, vias de exposição em função de diferentes hábitos desta população etc.

O conhecimento dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente provê informações sobre a existência de problemas ambientais e o tamanho relativo destes e sobre os níveis de exposição aceitáveis. Outro objetivo que pode ser atingido com a avaliação de risco à saúde humana é o de suprir a comunidade (população local) com informações sobre potenciais perigos de exposição aos agentes químicos.

3.1.3 Classificação das áreas para implantação de ações corretivas dos danos ambientais

Para efeito de classificação das áreas visando a implantação de ações corretivas foram definidos indicadores de impacto ambiental. Esses indicadores, apresentados na Tabela 10, podem ser obtidos a partir dos ensaios de caracterização e utilizados como referência para o monitoramento das melhorias ambientais, após executadas as atividades de recuperação.

Tabela 10 – Indicadores de impacto ambiental

ASPECTOS	IMPACTOS	INDICADORES
1. DRENAGEM ÁCIDA	<ul style="list-style-type: none"> • Acidificação de águas superficiais • Redução de produtividade biológica nos rios • Aumento da concentração de metais nas águas dos rios • Contaminação de águas subterrâneas 	<ul style="list-style-type: none"> • pH, Eh, condutividade elétrica • Oxigênio dissolvido • Concentração de metais pesados • Sólidos em suspensão • Concentração de sulfato • Extensão de rio impactado • Número de poços com qualidade de água inadequada p/ consumo humano • Área agricultável perdida • Balanços de massas de materiais nas bacias hidrográficas
2. REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	<ul style="list-style-type: none"> • Redução de disponibilidade de recursos hídricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de poços secos • Mudança de nível do lençol d'água • Análises químicas da água • Fator de Segurança (estabilidade física dos taludes)
3. EROSIÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Vossorocas • Instabilidade física das margens dos rios • Aumento da carga de sólidos em suspensão nas águas superficiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólidos em suspensão • Fator de Segurança (estabilidade física dos taludes) • Extensão do rio assoreado
4. REMOÇÃO DE	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidência 	<ul style="list-style-type: none"> • Área superficial atingida

PILARES DE SUSTENÇÃO		
5. BOCAS DE MINA E POÇOS	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de bocas de minae poços (abertos/fechados) • Número de minas de encosta abertas
6.COMBUSTÃO DE REJEITOS	<ul style="list-style-type: none"> • Evolução do SO_x, NO_x, particulados, hidrocarbonetos, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade do ar (SO_x) • Área impactada ou área fonte

3.2 Definição de soluções de engenharia - alternativas de recuperação

A etapa de definição de soluções de engenharia para recuperação, representada no Fluxograma 1 pelo bloco “*projeto de recuperação*” envolve basicamente as seguintes ações:

1. Definição e avaliação técnica das opções de recuperação;
2. Avaliação comparativa de custos entre as diferentes opções de recuperação;
3. Avaliação dos impactos sócio-econômicos da recuperação sobre as comunidades vizinhas;
4. Definição do uso futuro para as áreas recuperadas e
5. Planejamento do monitoramento para avaliação da eficácia do plano de recuperação adotado.

De acordo com o escopo previsto para o presente documento, apenas a primeira das cinco ações citadas acima será tratada aqui em detalhe como se segue:

3.2.1 Definição e avaliação técnica das opções de recuperação

A definição e avaliação técnica das opções de recuperação ambiental para a região carbonífera de Santa Catarina deverá envolver tanto as áreas abandonadas quanto ativas tendo os seguintes **objetivos gerais**:

- **A estabilização química dos contaminantes**
- **A estabilização física das áreas de disposição de resíduos e de minas abandonadas**
- **A recuperação paisagística da área (retaludamento e revegetação)**
- **A construção de sistemas de drenagem que evitem a contaminação das águas ou seu descarte sem tratamento**

- **O exame de alternativas de aproveitamento econômico do carvão com redução da geração de rejeitos sólidos**
- **A estabilização química dos contaminantes**

Entende-se por estabilização química o conjunto de iniciativas que visam minimizar a geração e dispersão da contaminação ambiental através da intervenção em sua fonte.

Na região carbonífera de Santa Catarina as bocas de minas abandonadas e ativas, o material estéril e os rejeitos gerados das operações de lavra e beneficiamento tem provavelmente o papel mais importante entre as fontes de contaminação hídrica associada à mineração de carvão, em função de seu potencial gerador de drenagens ácidas. O fato de que material estéril e rejeitos encontram-se muitas vezes dispersos em áreas de mineração inativas ou abandonadas ou ao longo de estradas, faz com que estes possam ser caracterizados como fonte difusa de poluição o que provavelmente exigirá soluções de estabilização complexas e de caráter regional.

Nas operações de mineração ativas, por outro lado, as fontes geradoras associam-se frequentemente a áreas confinadas, onde é possível aplicar soluções de engenharia de gestão de sólidos e de efluentes líquidos desde a etapa de lavra e beneficiamento, minimizando os impactos ambientais a partir de sua fonte geradora.

A compreensão dos fenômenos que ocorrem no interior das pilhas de rejeito e material estéril em áreas abandonadas ou ativas, é ferramenta necessária à formulação dos cenários de recuperação. Ela deverá ser obtida através da decomposição dos diversos aspectos da área a ser recuperada em seus constituintes (hidrologia, hidrogeologia, clima, topografia, características mineralógicas do rejeito, microbiologia, características do solo nas áreas de disposição de material, etc), considerando os mecanismos a eles associados e avaliando os impactos que a variação de cada um terá na liberação para o ambiente dos vários contaminantes presentes no rejeito.

- **A estabilização física das áreas de disposição de resíduos e de minas abandonadas**

Para estabilização física das bacias de rejeito e das pilhas de estéril, taludes devem ser projetados com inclinações seguras e cobertura vegetal eficiente contra os processos

erosivos, originados pelas ações do vento e da água de chuva. Tanto os taludes quanto o tipo de vegetação devem ser tais que requeiram o mínimo de manutenção possível.

Além desses aspectos, para as minas subterrâneas devem ser desenvolvidas ações que garantam:

- a estabilidade física das áreas submetidas à escavações subterrâneas, que apresentem risco de subsidência em minas ativas e abandonadas; e
- fechamento das bocas de minas subterrâneas abandonadas, ainda abertas;
- **A recuperação paisagística da área (retaludamento e revegetação)**

As áreas impactadas pelas atividades mineiras devem ser tratadas de forma a permitir o uso projetado após a recuperação. Taludes muito íngremes e pouco compactados devem ser evitados. Além disso, deve-se garantir que o material de cobertura desses taludes seja adequado ao crescimento rápido da vegetação. Práticas de hidrossemeadura vêm sendo utilizadas com sucesso na região e seu uso deve ser previsto nas áreas a serem recuperadas.

Para recuperação do ecossistema local e menor necessidade de manutenção, deve ser incentivado o uso de vegetação nativa, muito embora isto seja, às vezes, mais caro e trabalhoso.

A revegetação, quando realizada nos moldes técnicos adequados, evita infiltração de água de chuva nas áreas em processo de recuperação, proporcionando não somente a recuperação paisagística da área como também controle efetivo sobre as drenagens ácidas, processos erosivos e instabilidade de taludes.

A mineração de carvão, a disposição dos rejeitos piritosos ao ar livre, nas margens de estradas, rios e sobre áreas agricultáveis, além de alterar as propriedades e características do solo, promovem a descaracterização da paisagem.

Os principais problemas encontrados em áreas mineradas e reconstituídas com solo são o lento processo de crescimento da vegetação natural e o aparecimento de um rápido e intenso processo erosivo. (Bugin e Costa, 1989).

Em um projeto de recuperação de áreas mineradas deve-se definir e priorizar os diversos objetivos a serem alcançados. Trabalhos realizados na região carbonífera de Santa Catarina (IESA, 1983) sugerem alternativas para a recuperação de áreas degradadas em função dos usos futuros previstos para o solo. Concluiu-se, naqueles trabalhos, que o uso do solo para implantação de culturas ou pastagens é, dentre as alternativas selecionadas para a recuperação das áreas mineradas (cultivos ou pastagens, reflorestamento, área residencial ou urbana, parques de recreação e áreas de lazer e área para conservação da fauna), a menos onerosa. Além disto, ela propicia a formação de um substrato herbáceo e arbustivo, onde a vegetação nativa poderá encontrar condições para se restabelecer.

Os trabalhos de revegetação permitem recuperar áreas de pilhas de estéril, bacias de rejeito e áreas mineradas em geral. A revegetação realizada em talude, ou após a recuperação da morfologia do terreno, deve ser precedida da compactação adequada do substrato da aplicação de camada de solo de cobertura e plantio de espécies vegetais (gramíneas, leguminosas e arbustivas).

Dentre as espécies vegetais rasteiras (gramíneas) as mais indicadas são as gramas pensacola, São Paulo, braquiária humidícula, setária, azevém anual leguminosa, soja perene. Em alguns experimentos de campo, na própria região, a soja perene não apresentou bons resultados. São indicadas também vegetações de porte alto, como a cana de açúcar e o capim elefante. Outras espécies indicadas são *Axonopus compressus*, *Axonopus obtusifolius*, *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria decumbens*, *Digitaria diversinervis*, *Paspalum notatum*, etc. O plantio pode ser direto ou por picoteamento, podendo ser utilizada a hidrossemeadura. Espécies frutíferas podem também ser associadas, tais como ameixeira (*Eriobotria japonica*) e pitanga (*Eugenia uniflora*).

Os solos utilizados para a reconstituição topográfica ou para cobertura dos rejeitos normalmente apresentam baixos teores de matéria orgânica e fósforo, são ácidos e, em geral, são utilizadas camadas de pequena espessura (abaixo de 20cm). Por estas razões o SIECESC - Sindicato da Indústria da Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina desenvolveu a partir de 1997, o projeto hidrossemeadura, iniciou-se em 25 de agosto de 1997 em fase piloto e conta hoje com equipamento de 6000 litros de capacidade, com possibilidade de revegetar no ano de 2000, cerca de 100 hectares de áreas degradadas.

Tem-se utilizado calcáreo dolomítico e calcítico (conchas) para ajuste do pH, na proporção de 100 kg para cada hectare dependendo da qualidade do solo da área a ser recuperada;

tem sido utilizado adubo N-P-K (5-20-10) também na proporção de 100 kg por hectare, ou conforme as necessidades de cada espécie vegetal escolhida e adubos orgânicos (esterco de galinha ou turfa) na mesma proporção de 100 kg por hectare. Os adubos químicos e orgânicos são adicionados às sementes e lançados nas áreas e taludes a serem revegetados. As hidrossemeaduras são realizadas, em geral, de setembro a março com sementes de vegetações perenes e no inverno com sementes de ciclo anual, como o azevém. Em áreas onde o solo necessita de uma melhor correção e adubação, é feito um reforço no período de abril a agosto.

Quanto à ocorrência de vegetação nativa em áreas mineradas abandonadas, atualmente, em alguns locais, às margens dos rios da Bacia do Rio Tubarão há material estéril, suportando apenas a existência de poucos indivíduos de samambaia da tapera (*Pteridium aquilinum*) e de maricá (*Mimosa bimucronata*) (MARCOMIM, 1996).

Idealmente, o nível de recuperação da camada vegetal da área seria considerado completo quando atingida a condição original da região, com o solo recuperado e o desenvolvimento de espécies vegetais nativas.

Para se atingir uma condição próxima a esta é necessária além da análise climatológica e topográfica da área a realização sistemática de análises pedológicas e de caracterização da flora local de forma a alcançar melhores resultados na seleção de espécies a serem utilizadas na revegetação.

Segundo a classificação de Thornthwaite, o clima da região é do tipo mesotérmico úmido, a temperatura anual média varia de 12 a 20°C, com umidade relativa anual de 80 a 85% e precipitação média anual de 1400mm (IESA, 1983; Marcomim, 1996).

Toda a região atualmente influenciada pela mineração de carvão era coberta pela Floresta Perenifolia Hidrófila Costeira. Esta floresta é constituída principalmente por árvores perenifoliadas de vinte a trinta metros de altura, de troncos grossos e copas densas. Ela é caracterizada, também, pela presença de três estratos nítidos, dois arbóreos e um arbustivo, podendo existir um rasteiro. O estrato arbóreo superior é responsável pela estrutura inferior da floresta. A luz penetra de forma incipiente, permitindo a existência dos outros dois estratos. Apresenta-se rica em epífitas, lianas, pteridófitas e musgos. Ela corresponde à cobertura original de toda a região, desde as planícies litorâneas até às encostas da Serra Geral .

Klein (1978) apresentou as formações vegetais primárias do Estado de Santa Catarina. Na região carbonífera catarinense, em especial as nascentes da Bacia do Rio Tubarão, correspondia à Floresta Nebular da Crista da Serra Geral; seguia à leste com a Floresta Tropical do Litoral e Encosta Centro-Sul (dominante na parte central desta bacia), à Floresta Tropical das Planícies Quaternárias do Sul (em direção à foz do rio Tubarão), e no litoral, encontrava-se a Vegetação Litorânea (vegetação de dunas e restinga). Na Floresta Tropical do Litoral e do Centro-Sul, ocupando a maior parte da área, predominava a canela-preta (*Ocotea catharinenses*) e o palmitheiro (*Euterpe edulis*).

Atualmente, as áreas de nascente do rio Tubarão apresentam áreas de cobertura vegetal representada pela Floresta Montana, e áreas sob ação antrópica, caracterizada por agricultura e culturas cíclicas. As culturas cíclicas predominantes são o milho, mandioca, arroz, cana de açúcar, fumo e pastagens.

Pode-se citar como espécies dominantes na Floresta Tropical Meridional das Encostas da Serra Geral, tanheiro (*Alchornea triplinervea*), guamirim (*Calyptanthes lucida*), licurana (*Hyeromima alchorneioides*), camboatá (*Matayba guianensis*), canela preta (*Ocotea catharinensis* e *Ocotea trapezifolia*), seca ligeiro (*Pera glabrata*), laranja do mato (*Sloanea guianensis*), pindaivas (*Xylopia brasiliensis*).

Santos (1992) caracterizou a vegetação das planícies costeiras por pastagens naturais, culturas, ocorrendo relíctos de coqueiros e figueira-do-mato (*Ficus organensis*). Associadas às pastagens naturais ocorrem vegetação arbustiva, samambaias e árvores de porte médio.

Estudos identificaram (Ministério do Interior, 1988) como espécies ocorrentes nos terrenos brejosos e próximos às margens de lagoas e rios, a taboa (*Typhya domigensis*), água-pé (*Eichornia crassipis*), juncos (*Juncus* spp) e alface d'água (*Pistia stratioides*).

A vegetação da área das dunas se distingue quanto à existência de dunas móveis e fixas. Na primeira, a vegetação entremeada é rasteira, dominando o junco (*Juncus* spp), a espartina (*Spartina aliata*), grama rasteira da praia (*Paspalum vaginatum*) e macela graúda (*Senecio crassiflorus*). As dunas fixas apresentam vegetação arbórea e tortuosa, representada por butiazeiros, vassouras, gravatás, rosetas e ipês (Ministério do Interior, 1988).

Pode-se citar espécies nativas da região, encontradas em pilhas de áreas mineradas e nas orlas circundantes, tais como *Passiflora* spp., *Rapanea ferruginea*, *Lantana camara*, *Solanum* spp., *Trema micrantha*, *Cytharexyhum myrianthum*, *Solidago chilenses* e *Senecio brasiliensis*.

- **A construção de sistemas de drenagem que evitem a contaminação das águas ou seu descarte sem tratamento**

Em decorrência do importante potencial de geração de drenagens ácidas observado na região, a definição de alternativas de recuperação deverão prever, onde aplicável, o estabelecimento de drenagens eficientes que direcionem as águas não contaminadas ao redor e para fora das áreas contaminadas. No caso de águas ácidas deverá ser prevista rede de drenagem dirigida a unidades de tratamento, não permitindo sua emissão direta nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, quer por meio do escoamento superficial, quer por meio da percolação.

A minimização da geração de drenagens ácidas deverá ser objetivo sempre presente na definição de alternativas de recuperação ambiental da região. Uma abordagem lógica para esta minimização envolve o ataque do problema em sua origem através da limitação do contato da água e do oxigênio com os sulfetos presentes no material gerador. Tratando-se de rejeitos, os métodos práticos de promover esta limitação de contato incluem:

- 1) Alagamento das áreas de disposição de rejeitos ou elevação do nível d'água dentro delas (coberturas úmidas);
- 2) Cobertura de rejeitos com materiais consumidores de oxigênio ou materiais que inibam a penetração do oxigênio e da água em seu interior (coberturas secas).

Estas duas opções, quando aplicadas de forma habilidosa e apropriada, visam reduzir a combustão espontânea dos sulfetos e, conseqüentemente, a geração de emanações de gases sulfurosos. Outra opção menos sofisticada que pode ser adequada a certos casos envolve:

- 3) Instalação de poços de desaguamento.

Em situações onde esta alternativa não é possível, as técnicas de minimização da geração de drenagens ácidas incluem:

- 4) Isolamento entre resíduos geradores e águas superficiais/águas de minas
- 5) Selagem de minas subterrâneas (técnicas de gestão de águas subterrâneas);
- 6) Coleta e tratamento das soluções ácidas junto ao local de sua geração antes de sua descarga para além dos limites da propriedade - lama de alta densidade (*high density sludge*).

Em situações onde as descargas de ácido das propriedades são pequenas e as condições naturais adequadas pode-se aplicar ainda:

- 7) Sistemas de tratamento passivo biológico e não biológico.

É importante reconhecer que não existe solução única que atenda a todas as situações. As opções de recuperação são particulares para cada área e é normalmente necessária uma combinação das alternativas listadas acima. Pode-se verificar que as opções 1 e 2 objetivam minimizar a geração da drenagem ácida em seu ponto de origem. Opções de 3 a 5 buscam isolar as fontes de contaminação dos veículos (águas superficiais e subterrâneas) através dos quais os contaminantes podem ser transportadas e as opções 6 e 7 objetivam o tratamento da contaminação antes da descarga do efluente da área.

Cada uma destas alternativas é discutida brevemente, a seguir.

Alternativas para mitigação da geração de drenagens ácidas

1) Alagamento de áreas de disposição de rejeitos (coberturas úmidas)

A opção de alagamento é viável apenas em locais onde o nível do lençol freático possa ser restabelecido ou elevado de forma a submergir os rejeitos geradores de ácido. A sua utilização em bacias de rejeito pode ser interessante uma vez que as estruturas para retenção de sólidos e de água, na maioria desses casos, já estão construídas. Por outro lado, a sua aplicação em pilhas de rejeito ou em minas de superfície e minas com drenagem profunda em regiões montanhosas é difícil e cara uma vez que requer a construção de barragens artificiais.

Internacionalmente esta abordagem tem sido utilizada com sucesso para controlar a produção de ácido em rejeitos ricos em sulfeto. Entre os exemplos clássicos desse tipo de

solução destaca-se a recuperação das áreas geradoras de ácido em Elliot Lake no Canadá, apresentado no item 4.1 do presente trabalho.

2) Cobertura de rejeitos com materiais consumidores de oxigênio ou materiais que inibam a penetração do oxigênio e/ou água em seu interior (coberturas secas)

As coberturas secas são projetadas para desviar ou retardar o fluxo de água e de oxigênio para dentro das áreas contendo materiais geradores de ácido. Os materiais normalmente utilizados para efeito de cobertura incluem camadas de solo (de preferência, existentes da região) com diferentes granulometrias e capacidade de retenção de umidade; coberturas sintéticas (PVC) e resíduos sólidos de outras atividades que possuam características adequadas para esse fim. Resíduos provenientes da indústria de papel e celulose vem sendo utilizado com sucesso na recuperação de áreas de depósito de rejeito com elevado teor de enxofre em minerações de cobre no Canadá.

Uma cobertura seca típica, constituída com diferentes tipos de solo, é na realidade um “sanduíche” que contém, da superfície para o fundo:

- Uma camada vegetada que constitui uma barreira à erosão pela ação de água e ventos, apresentando inclinação adequada para permitir o escoamento da água de chuva e sendo plana o bastante para evitar a formação de poças. A vegetação deve estar adaptada às condições locais e ter raízes rasas de forma a prevenir a penetração nas barreiras de infiltração;
- Uma camada de drenagem constituída de areia e brita de forma a prevenir o movimento da água para cima a partir dos rejeitos. Esta barreira, normalmente denominada “barreira capilar” pode também ser coberta por um geotextil de forma a prevenir o entupimento pelos finos da camada superior e deve ser projetada para dar conta de pelo menos cinco vezes a infiltração de cima .
- Uma barreira de infiltração. Esta camada consiste de um material de granulometria suficientemente fina (em geral uma argila) capaz de bloquear o fluxo de oxigênio e água para dentro do material a ser isolado. Esta camada possui, normalmente, cerca de 40 cm a 1 m de espessura, mas a definição correta dessa espessura envolve ensaios de laboratório para obtenção do coeficiente de permeabilidade à água e ao ar do material a ser utilizado.

A Figura 6 ilustra uma opção de cobertura seca, freqüentemente utilizada na recuperação de áreas de disposição de rejeitos. Ela ilustra como a infiltração pode ser reduzida pela aplicação de camadas com diferentes condutividades hidráulicas (k). Mais uma vez vale lembrar que apesar do conceito de projeto parecer relativamente simples, uma investigação multidisciplinar deve ser conduzida para sua implementação.

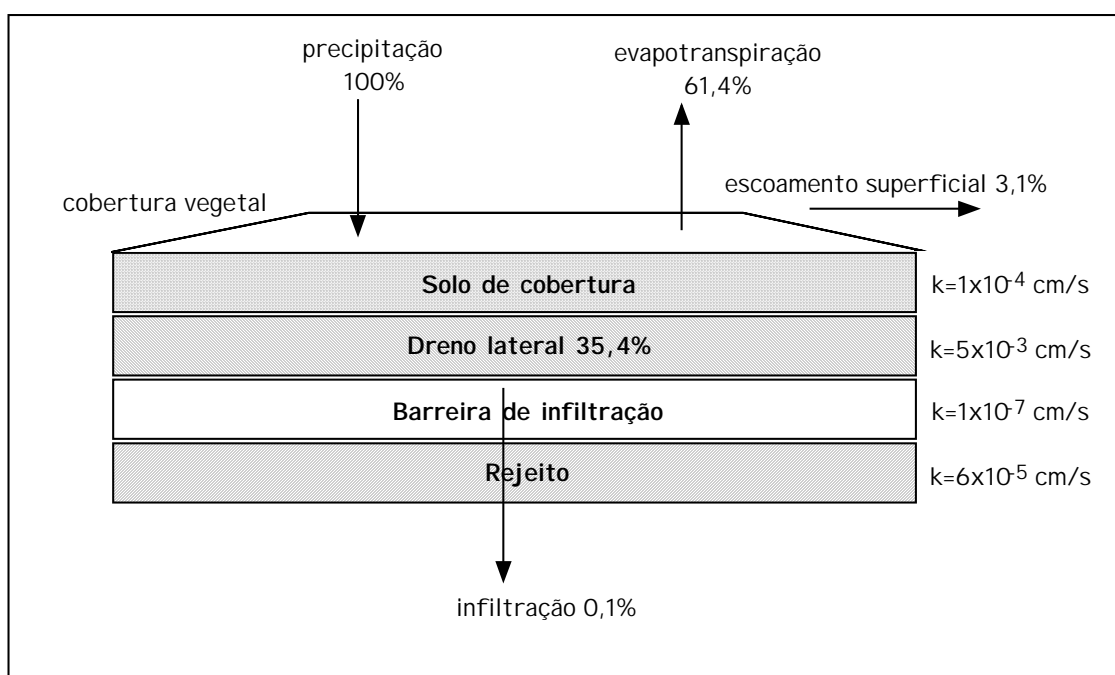


Figura 6 - Cobertura de solo contendo: barreira de infiltração, camada drenante e cobertura vegetal

3) Instalação de poços de desaguamento

Poços de desaguamento são utilizados para drenar, rapidamente, a água para fora das áreas potencialmente geradoras de drenagem ácida. Pode-se drenar a água limpa, evitando que ela seja acidificada pelo contato com os sulfetos ou a água ácida, encaminhando-a para unidades de tratamento. Baseado neste conceito, um variado número de alternativas têm sido empregadas:

- Perfuração e instalação de poços de bombeamento para desaguamento de minas profundas abandonadas;

- Desenvolvimento de muros de dreno de forma a coletar água e fazê-la passar através de canais permeáveis de arenito e calcário;
- Construção de drenos sob a forma de pequenos canais ao longo do piso dirigindo a água para fora da área geradora de contaminação;
- Instalação de drenos de fundo com o uso de rochas grosseiras formando uma camada permeável cobrindo todo o piso da galeria permitindo que a água escoe para fora da galeria no contato entre o material gerador de ácido e o solo.

Para o caso em que águas ácidas são geradas no interior de galerias abandonadas é possível também a instalação de drenos com configuração de chaminé para coletar água acidificada e direcioná-la, através de uma coluna alta e longa constituída de calcário de granulometria grosseira.

4) Isolamento entre resíduos geradores e águas superficiais/águas de minas

a) águas superficiais

A gestão de águas superficiais é empregada para minimizar o contato da fonte de contaminação com as águas superficiais e subterrâneas adjacentes, que podem atuar como veículo através do qual as substâncias potencialmente poluidoras migram para pontos distantes da fonte de emissão. As estratégias normalmente utilizadas englobam a construção de:

- Diques de desvio para minimizar infiltração excessiva;
- Diques de coleta; e
- Bacias de sedimentação e tratamento.

b) isolamento de águas contaminadas de minas – selagem de minas subterrâneas para evitar o transporte de ácido para fora da área

O objetivo deste procedimento é minimizar a poluição ocasionada pela drenagem ácida de minas associada às operações subterrâneas abandonadas através da seleção apropriada do selo. O principal fator que deve ser levado em conta para a seleção do projeto e construção é a pressão hidráulica que o selo deverá suportar quando a selagem estiver concluída. Dois tipos de selos são geralmente empregados :

a) Selos secos (ou de acesso superficial): são instalados onde a pressão hidráulica exercida sobre o selo é pequena ou nenhuma. Suas funções primárias são:

- Eliminar as vias de acesso às minas por razões de segurança; e
- Reduzir produção de drenagem ácida pela limitação do fluxo de ar e água para o interior da mina.

Estes selos são normalmente construídos com blocos de concreto, pedra ou misturas de concreto e cinzas volantes e não apresentam problemas de desempenho mesmo a longo prazo. A ausência de pressão hidráulica permite uma construção simples e de custo reduzido.

b) Selos molhados (com armadilhas de ar): são instalados onde a pressão hidráulica pode alcançar valores elevados. Podem ser de dois tipos:

- **Tipo 1 (encontrado em projetos mais novos)** - selos para minas subterrâneas que atuam como uma barragem de retenção de águas capaz de suportar a pressão hidráulica máxima que corresponde àquela produzida pela inundação completa do complexo de galerias. O selo serve tanto como um tampão quanto um suporte estrutural. Durante a construção, fendas e fissuras das rochas adjacentes que possam permitir a migração de águas ao redor do selo são também fechadas. A infiltração de água ao redor dos selos é minimizada pelo rejuntamento das fendas, pelo aumento da espessura do selo ou pela instalação de selos adicionais. Na região produtora de carvão dos Apalaches estes selos apresentaram bom desempenho: dos 14 selos instalados em 1967, todos estão intactos, tendo sido detectados apenas pequenos pontos de vazamento. A qualidade das águas em todas as minas locais apresentou melhoras com o tempo.
- **Tipo 2 (encontrado em projetos mais antigos)** - foram instalados em bocas de minas onde a água escoava a partir da galeria. A função primária destes selos é limitar o acesso de pessoas não autorizadas às propriedades abandonadas. Eles são tipicamente construídos com blocos de concreto nos quais são deixados furos ou instalados tubos de forma a permitir a drenagem natural de água. O desempenho a longo prazo destes selos é geralmente ruim. Falhas podem ocorrer quando detritos e sedimentos entopem os buracos ou tubos provocando um aumento da pressão hidráulica, resultando no seu colapso ou vazamento.

5) Selagem de minas subterrâneas - Técnicas de gestão de águas subterrâneas

Da mesma forma como é aconselhável o isolamento de águas superficiais das áreas geradoras de contaminação, é também recomendável o isolamento de águas de drenagem de minas subterrâneas.

As principais práticas correntes de gestão destas águas são:

- Barreiras de pilares de carvão (coal barrier pillars)
- Cortinas e paredes de vedação (Grout Curtains and Walls)
- Preenchimento e injeção de minas subterrâneas (Underground Mine Filling and Injection)

A prática de **barreira de pilares** consiste em deixar intactos blocos de carvão não lavrados. Estes blocos passam a atuar como barreiras hidráulicas além de agir como suporte para o teto das minas. Nos locais onde estas técnicas foram aplicadas (West Virginia – EUA, Minas de Stewart Run e Nutter Run, 1978) foram evidenciadas contínuas melhoras da qualidade das águas.

Cortinas e paredes de vedação são usadas para separar as rochas produtoras de ácido das águas subterrâneas. Sua função primária é reduzir o volume de água subterrânea que percola pelos resíduos reduzindo, conseqüentemente, o volume de drenagem ácida gerado. A execução destas cortinas de vedação tem a mesma função da técnica de desvio de águas empregada para escoamento das águas superficiais ao redor e para for a de áreas geradoras de ácido. Um exemplo desse caso consiste numa parede de 1,5m de espessura instalada pelo bombeamento de uma mistura de cinzas volantes e cimento Portland rejuntando furos verticais próximos a uma encosta. Note-se que são necessários estudos hidrogeológicos para aplicação desta técnica.

Preenchimento e injeção de minas subterrâneas (Underground Mine Filling and Injection) é uma técnica utilizada de forma a ocupar completamente os vazios da mina, criando barreiras que bloqueiem as interconexões entre as piscinas de água formadas em seu interior. Esta técnica pode ser usada para conter o escoamento e melhorar a qualidade das drenagens. Sua função primária é reduzir o fluxo de água a partir das minas e elevar seu pH. Uma construção típica envolve a colocação de barreiras de rocha e materiais de rejunte injetados por trás destas barreiras, de maneira a criar segmentos não conectados nas minas. Esta técnica é apenas aplicável onde os materiais para preenchimento são baratos e

disponíveis nas adjacências. Pode-se utilizar, por exemplo, escórias, cinzas volantes, misturas de cimento e cinzas e poeiras da indústria do cimento.

6) Coleta e tratamento das soluções ácidas junto ao local de sua geração antes de sua descarga para além dos limites da propriedade – lama de alta densidade (*high density sludge*)

Se a análise econômica revela que a redução da drenagem ácida através da ação sobre sua fonte de geração não é viável a opção pode ser a coleta da água ácida, bombeamento e tratamento perpétuo e contínuo para elevação do pH antes do lançamento nos cursos d'água locais.

Operações típicas da indústria metalúrgica são utilizadas para neutralizar o efeito da drenagem ácida e precipitar os metais na forma de uma lama de alta densidade (*high density sludge* - HDS) para posterior descarte. A densificação destas lamas visando alcançar propriedades ótimas de compactação envolve a presença, na polpa, de partículas de características definidas quanto à morfologia e distribuição de tamanho. Estas características são obtidas através da seleção e controle cuidadoso das variáveis de processo (controle de pH, tipo de agente neutralizante, taxa de adição, reciclagem ou semeadura de cristais, etc.). Exemplos de minerais formados durante os processos de neutralização destes efluentes aquosos contendo produtos da oxidação total dos vários sulfetos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Produtos de oxidação e neutralização de sulfetos

MINERAL	PRODUTO AQUOSO (oxidação total)	PRINCIPAIS PRODUTOS FINAIS QUE SE SEGUEM À OXIDAÇÃO E NEUTRALIZAÇÃO (LAMA)
Pirita (FeS ₂) Marcasita (FeS) Pirrotita (Fe _{1-x} S)	Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido férrico, sulfato férrico, Sulfato de cálcio
Calcosita (Cu ₂ S)	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos e carbonatos de cobre e sulfato de cálcio
Esfalerita (ZnS)	Zn ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxidos e carbonatos de zinco, sulfatos de cálcio
Arsenopirita (FeAsS)	Fe ³⁺ , AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺	Hidróxido e sulfato férrico, arsenatos de cálcio e sulfato de cálcio

Precipitados comuns de soluções não neutralizadas de drenagem ácida incluem goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$), lepidocrosita ($\gamma\text{-FeOOH}$), ferrihidrito ($\text{Fe}_5\text{OH}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), schwertmannita ($\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$), e jarosita $(\text{K,Na})\text{Fe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$.

A neutralização promove a formação de hidróxidos de baixa solubilidade, conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Solubilidade de íons (em mg/L)

METAL	ION	SOLUBILIDADE COMO HIDRÓXIDO (mg/L)
Cádmio	Cd^{++}	2.3×10^{-5}
Cobalto	Co^{++}	2.2×10^{-1}
Cobre	Cu^{++}	2.2×10^{-2}
Ferro	Fe^{++}	8.9×10^{-1}
Chumbo	Pb^{++}	2.1
Manganês	Mn^{++}	1.2
Mercúrio	Hg^{++}	3.9×10^{-4}
Níquel	Ni^{++}	6.9×10^{-3}
Prata	Ag^{++}	13.3
Estanho	Sn^{++}	1.1×10^{-4}
Zinco	Zn^{++}	1.1

Os aspectos fundamentais do projeto de uma usina para tratamento da drenagem ácida através da HDS são a estabilidade da lama e o volume gerado. As lamas devem ser estáveis segundo critérios de lixiviação ambiental. O grau de estabilidade de metais e ânions precipitados em lamas são dependentes de fatores como conteúdo de sulfato de cálcio, conteúdo de ferro solúvel e seu estado de oxidação, grau de cristalinidade, potencial redox, capacidade tampão disponível no meio e reagentes de precipitação utilizados. Elementos que requerem maior cuidado devem ser aqueles com múltiplos estados de oxidação tais como As e Mo.

O volume da lama é também um fator importante no processo de densificação, uma vez que afeta os custos associados à sua disposição segura. Uma drenagem ácida contendo, por

exemplo, 2500 mg/L de sulfato e 7500 mg/L de íons ferrosos, pode produzir uma lama com até 59 kg/m³ contendo sulfato de cálcio e hidróxido férrico e uma fração pequena de não reagidos. Empregando-se uma densidade de polpa de 3% o volume de lama seria 19m³ ; com 10% de sólidos, 5 m³ ; e com 30% de sólidos, 1,3 m³. A pesquisa na área de densificação de lamas é extremamente importante.

Em relação à redução de custos das instalações de tratamento de efluentes líquidos, deve-se buscar a possibilidade de utilização conjunta por mais de uma empresa dessas instalações, visando a economia de escala. Tal proposição se aplica em casos onde ocorra similaridade das situações de remediação e anuência das empresas envolvidas.

Com a implantação de unidades de neutralização de efluentes gerados torna-se necessário caracterizar o potencial de abastecimento de carbonato à região carbonífera.

Em Santa Catarina, de acordo com dados da SDMA/MITSUBISHI CORP/ CHIYODA-DAMES & MOORE CO (1997), existem três empresas que extraem calcário: a Companhia de Cimento Portland Rio Branco, a Calwer Mineração Ltda e a Mineração Rio do Ouro Ltda., todas localizadas no município de Botuverá, a 300 km de Criciúma. Nessa época, a primeira, apresentava uma capacidade de produção muito pequena - 100 a 200 t/ano de calcário - e as outras duas, 400.000 e 200.000 t/ano de calcário dolomítico, respectivamente.

Uma outra alternativa de fonte de carbonato é da Companhia de Cimento Portland Gaúcho, que possui duas minas, em Candiota e em São Gabriel, no Rio Grande do Sul.

Outros agentes alternativos para o processo de neutralização de drenagem ácida são a cal virgem ou hidratada e a soda cáustica.

A escolha técnica e econômica é possível após a realização de ensaios em laboratório com o objetivo de determinar o tempo de reação do processo de neutralização, intensidade de agitação e consumo de agentes neutralizantes para as diferentes condições de efluentes (pH, acidez, sólidos em suspensão etc.).

7) Sistemas de tratamento passivo biológico e não biológico

Sistemas de tratamento passivo são aqueles que permitem que as reações químicas e bioquímicas naturais que auxiliam o tratamento da drenagem ácida ocorram em um

ambiente controlado. Eles são adequados para o tratamento de pequenos volume de descarga e podem ser bióticos ou abióticos, segundo a classificação a seguir:

A) Sistemas bióticos

- Áreas inundadas aeróbias
- Áreas inundadas compostadas ou anaeróbias

B) Sistemas abióticos

- Canais abertos de calcário
- Poços de desvio
- Drenos Anóxicos de Calcário (DAC)
- Reatores de Fluxo Vertical (RFV)

A) Sistemas bióticos

Estes sistemas são de implantação relativamente barata porém susceptíveis a pequenas mudanças que afetam sensivelmente sua eficiência devendo, portanto, ser cuidadosamente dimensionados.

- *Áreas inundadas aeróbicas*

Áreas inundadas aeróbias consistem de lagos com grande área superficial e profundidade de 15 a 46 centímetros plantadas com espécies características de áreas inundadas. As águas impactadas pela drenagem ácida ficam restritas a um fluxo predominantemente horizontal devido à pequena profundidade do sistema.

A pequena profundidade do sistema ajuda a promover a oxidação. Os metais precipitam através de reações de oxidação formando óxidos e hidróxidos, reduzindo sua concentração na água. A eficiência destes sistemas pode ser aprimorada através da aeração da área inundada com a introdução de chicanas e quedas d'água. Um bom projeto incorpora ainda uma zona mais profunda na descarga da bacia de tratamento de forma a reter os precipitados. Áreas inundadas aeróbias são adequadas quando o pH da alimentação do sistema de tratamento da drenagem ácida é superior a 5,5.

- *Áreas inundadas compostadas ou anaeróbias*

Consistem de grandes bacias com uma camada reduzida de substrato orgânico com profundidade de 30 a 60cm. O substrato redutor promove a ocorrência de processos químicos e microbiológicos que geram alcalinidade e elevam o pH; remove qualquer oxigênio do sistema; reduz o sulfato e evita que os metais se oxidem e formem camadas passivadoras. O substrato orgânico (ambiente anóxico) reduz o sulfato aumentando a dissolução do carbonato de cálcio. O fluxo dentro da camada de substrato é horizontal. Esse substrato pode ser constituído de composto de cogumelos, pedaços de madeira, serragem ou feno. Uma típica área feita de composto orgânico inundado é também plantada com vegetação típica de áreas inundadas ou outra vegetação que ajude a estabilizar o substrato e forneça material orgânico adicional, perpetuando as reações de redução de sulfato. Áreas compostadas ou anaeróbias inundadas podem tratar descargas de drenagem ácida que contenham oxigênio dissolvido, Fe^{3+} , Al^{3+} ou acidez menor que 500 mg/L.

B) Sistemas abióticos

▪ *Canais abertos de calcário*

Esses canais consistem no tratamento passivo mais simples. Dois métodos de construção podem ser empregados:

Método 1: um dique de drenagem é construído de fragmentos de calcário e a água contaminada é coletada pelo dique;

Método 2: o calcário é colocado diretamente dentro da corrente contaminada. A dissolução do calcário adiciona alcalinidade à água e eleva o pH. A passivação das partículas de calcário por $Fe(CO)_3$ e $Fe(OH)_3$ reduz a geração de alcalinidade de forma que quantidades maiores de calcário são necessárias para assegurar sucesso a longo prazo. Fluxos com velocidade e turbulência elevada proporcionam melhor desempenho do sistema, mantendo os precipitados em suspensão e reduzindo a passivação do calcário. Coberturas impermeáveis são as vezes empregadas nos leitos dos canais de forma a evitar migração da drenagem ácida para o lençol freático.

▪ *Poços de desvio*

Poços de desvio consistem numa maneira simples de adicionar alcalinidade às águas contaminadas. Águas ácidas são dirigidas por um tubo a um poço que contém agregados de calcário moído. A força hidráulica causa uma mistura turbulenta entre a água e as partículas de calcário, promovendo sua abrasão e evitando passivação. A água flui para cima e transborda do poço sendo reconduzida à corrente. Estes poços requerem freqüente recarregamento de forma a assegurar o tratamento contínuo da corrente contaminada.

- Drenos anóxicos de calcáreo (DAC)

Consistem de um leito de calcário enterrado construído para interceptar fluxos de água de subsuperfície e evitar contato com o oxigênio atmosférico. Manter o oxigênio longe da água evita a oxidação dos metais e a passivação do calcário. O único propósito de um DAC é elevar a alcalinidade da água.

A retenção de dióxido de carbono no dreno pode melhorar a dissolução do calcário e a geração de alcalinidade. Drenos anóxicos de calcário são usualmente empregados como uma etapa de pré-tratamento para aumentar a alcalinidade e elevar o pH antes que a água entre em uma área inundada aeróbia. A efetividade e longevidade de um DAC podem ser substancialmente reduzidas se a drenagem ácida possui altas concentrações de íons férricos, oxigênio dissolvido e alumínio. Tempos de retenção de 14 a 15 horas são empregados como prática comum para balancear custos de construção e eficiência na geração de alcalinidade.

- Reator de fluxo vertical (RFV)

O projeto do reator de fluxo vertical supera as limitações da produção de alcalinidade características do DAC e a necessidade de grandes áreas, típicas das áreas inundadas compostadas. O RFV consiste de uma célula de tratamento com uma base de calcário sobreposta por uma camada de substrato orgânico e outra de água. A drenagem ácida flui verticalmente através do composto e do calcário e é coletada e descarregada através de um sistema de tubos. O RFV proporciona o aumento da alcalinidade através da dissolução de calcário e redução bacteriana do sulfato. Águas altamente ácidas podem ser tratadas fazendo-as percolar através de uma série de RFV's. Um lago de decantação e uma área inundada aeróbia onde os metais em solução são oxidados e precipitados segue-se usualmente a um RFV. Estes reatores são dimensionados com base em

tempos de retenção para produzir a necessária alcalinidade, que variam de 12 a 15 horas.

- **O exame de alternativas de aproveitamento econômico do carvão com redução da geração de rejeitos sólidos:**

Devem ser examinadas alternativas tecnológicas que reduzam a produção de resíduos sólidos geradores de ácido oriundos da lavra e beneficiamento na região, através da eliminação da necessidade de concentração do carvão.

A mistura do carvão ROM com rejeitos de elevado poder calorífico pode ser alimentada em unidades de queima em leito fluidizado para a produção de energia, capturando-se as emissões sulfurosas na forma de sulfato de amônio que então pode ser vendido como fertilizante.

A opção por esta tecnologia porém deve ser feita após análise da eficiência do abatimento de gases de enxofre produzidos na queima do carvão.

3.3 Monitoramento da recuperação e sistemas de gestão ambiental

Aplicadas as alternativas de recuperação descritas, as áreas devem ser monitoradas, a fim de acompanhar a evolução dos indicadores de desempenho ambiental escolhidos. O plano de monitoramento das áreas deve ser previsto ainda na fase de definição das alternativas de recuperação ambiental e objetiva, principalmente, a avaliação da eficácia das soluções de engenharia adotadas.

A melhoria da qualidade ambiental na região carbonífera de Santa Catarina depende fundamentalmente da implantação e/ou aprimoramento de sistemas de gestão ambiental (SGA) nas minas em operação. É importante que em cada um destes sistemas sejam contemplados, além da gestão de águas e resíduos sólidos em cada unidade produtiva, o estabelecimento do monitoramento contínuo dos efluentes associado a planos de contingência para identificação e correção de desvios em relação à condição ideal de operação.

Igualmente importante é a necessidade do aprimoramento dos processos produtivos associados à extração e beneficiamento do carvão na região como instrumento importante

para minimizar a geração de impactos e reduzir os custos associados às ações de recuperação ambiental.

4. Estimativas de custo e tempo e exemplos de mecanismos de financiamento

4.1 Estimativas de custo e tempo

Recuperar uma área onde foram desenvolvidas atividades de mineração significa retorná-la à condição mais próxima possível da original. Alguns dos problemas ambientais mais comuns associados a essas áreas incluem, como já visto, a drenagem ácida de minas, a existência de galerias abandonadas e ainda abertas, pilhas de rejeito/estéril, áreas não vegetadas, aumento dos sólidos em suspensão em córregos e cursos d'água adjacentes, erosão, etc.

O custo, tempo e financiamento envolvidos na recuperação devem prever a caracterização do problema ambiental, a elaboração do projeto de recuperação, a sua implementação e o contínuo monitoramento. Informações dessa natureza em projetos semelhantes àquele que se pretende desenvolver em Santa Catarina, podem ser úteis como instrumento de gestão.

Tomou-se aqui como referência o estudo de caso de um dos mais importantes projetos integrados de recuperação ambiental de áreas mineradas realizado nas últimas duas décadas no Canadá. Trata-se da região de Elliot Lake, na província de Ontário.

Das 10 áreas existentes naquela região, 9 são de mineração de urânio e 1 de cobre. A quantidade total de rejeito foi estimada em 100 milhões de toneladas. O custo para o fechamento das minas e recuperação da região no período de 1988 a 2000 foi da ordem de CAN\$ 100 milhões (dólares canadenses), o que equivale a cerca de CAN\$ 1/ t de rejeito. Comparativamente, considerando que na região carbonífera de Santa Catarina a quantidade estimada de rejeitos acumulada no período de 1960 a 1992 é de 188 milhões de toneladas (Sánchez et al., 1994) e que estendida até 1999 atinge 207 milhões de toneladas, pode-se avaliar que os custos de recuperação para esta região são elevadíssimos.

A Tabela 13 apresenta o custo aproximado para recuperação, por mina, na região de Elliot Lake.

Tabela 13 – Custos aproximados para recuperação

Mina	Custo aproximado (dólares canadenses)
Stanleigh	38 milhões
Quirke	30 milhões
Panel	15 milhões
Spanish American	3 milhões
Milliken	2 milhões
Lacnor	5 milhões
Nordic/Buckles	10 milhões
Pronto	10 milhões
Pater (cobre)	1 milhão

Os custos diretos a que se refere o caso canadense referem-se, principalmente, a planejamento e atividades de campo. O planejamento prevê estudos de viabilidade e apoio financeiro, preparação e aprovação técnica do plano de trabalho, consulta às partes interessadas, incluindo órgãos de fiscalização, além de relatórios parciais. As atividades de campo incluem evacuação de minas subterrâneas com lacre das entradas, emissão de avisos às comunidades adjacentes, monitoramento da qualidade dos rejeitos gerados e dos corpos hídricos locais, demolição de instalações, retirada de máquinas e equipamentos de mineração e revegetação das áreas afetadas.

Foram relacionados também, no projeto, custos indiretos com atividades como pendências trabalhistas e inventário de bens móveis e imóveis, estabilização da área de rejeitos, neutralização do lago Elliot, usina para o tratamento contínuo dos efluentes, manutenção de estradas e estruturas construídas para realização do trabalho de fechamento da mina, gerenciamento da área minerada e de rejeitos, com cercas, avisos e sinais de trânsito. Incluem-se ainda custos relacionados a licenças, taxas e seguros.

Para o caso da mina de Stanleigh, por exemplo, os custos diretos para fechamento e recuperação estão relacionados na Tabela 14 (em dólares canadenses).

Tabela 14 – Custos diretos de recuperação

Atividade	CAN\$ (Milhões)	% do custo total
Planejamento e Licenciamento	4,1	11,06
Evacuação da mina e cobrimento do túnel de acesso	2,79	7,53
Demolição e recuperação da área	4,21	11,36
Gerenciamento das áreas de rejeito	6,17	16,64
Total:	17,81	46,59

Com relação aos custos indiretos para esta mesma mina, os dados são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Custos permanentes de recuperação

Atividade	CAN\$ Milhões	% do custo total
Usina de tratamento de efluentes	2,79	7,53
Manutenção da área	0,98	2,64
Monitoramento dos indicadores	2,23	6,02
Taxas municipais	2,22	5,99
Seguro	1,28	3,45
Taxas de licenciamento	1,63	4,40
Total:	11,13	30,02

O custo das atividades relacionadas somam 76,61% do total. Os 23,4% restantes correspondem ao gerenciamento / supervisão global do projeto. Foram tratadas 20 milhões de toneladas e os dados referem-se a um período de 12 anos. Algumas características desse projeto são:

- Estabilidade da represa de contenção de rejeitos: a represa foi projetada para suportar o maior terremoto em 1000 (um mil) anos;
- Capacidade hidráulica: a represa foi desenhada para suportar a maior enchente em 100 (cem) anos;
- Minimização da geração de água ácida
- Produção de efluentes dentro dos padrões exigidos pela legislação
- Estabelecimento de vegetação para o recobrimento
- Definição de alternativas para cobertura úmida.

O caso das fotos 6, 7 e 8 ilustra uma seqüência de etapas de recuperação associada à desativação de uma mina nos EUA e demonstra a possibilidade de recomposição da paisagem após o encerramento das atividades.



Foto 6 – Mina em operação – Agosto de 1986



Foto 7– Mina desativada, com área sendo preparada para revegetação – Junho de 1990



Foto 8 – Área revegetada – Junho 1991

4.2 Mecanismos de financiamento da recuperação ambiental

4.2.1. Objetivos

Neste item são apresentados exemplos e sugestões de mecanismos de financiamento para recuperação de áreas mineradas, com o objetivo de fornecer subsídios para o desenvolvimento de experiência semelhante em Santa Catarina.

Na Figura 7 são apresentados dois casos. O primeiro corresponde à situação ideal, na qual o projeto de recuperação é concebido ainda na fase de planejamento e desenvolve-se ao longo de todo o período de vida da mina. Nesse caso, os custos e os esforços de gerenciamento da recuperação são usualmente menores. O outro caso, mais desfavorável, corresponde à situação na qual a recuperação é realizada quando a mina já está desativada.

Figura 7 – Alternativas de recuperação durante o ciclo de vida da mina



4.2.2. Motivações para o estabelecimento de mecanismos de financiamento

A recuperação de uma área minerada ou o fechamento de uma mina envolve custos elevados e longos períodos de trabalho. No Canadá, o desenvolvimento de mecanismos de financiamento para essa operação é normalmente incentivado pelos governos provinciais, motivados principalmente pelo fato de que:

- A regulamentação tradicional, geralmente, só controla as companhias mineiras durante a operação. Por esse motivo é importante garantir, para uma mina em atividade, que o projeto de recuperação seja efetuado durante a operação da mina ou, no mais tardar, à época do fechamento;
- O governo tem interesse em se proteger dos custos da recuperação de áreas órfãs; e
- A opinião pública, em relação às áreas abandonadas, tem-se colocado contra as empresas de mineração.

4.2.3. Exemplos de mecanismos de financiamento para empresas em início de operação

Os exemplos a seguir são aceitos e utilizados em países da América do Norte.

- **Carta de crédito irrevogável**

Descrição

Trata-se de um acordo de cooperação entre uma instituição bancária e a empresa de tal forma que o banco se compromete a fornecer fundos para a parte interessada na recuperação (em geral o governo). Nesse caso, o banco atua como fiador de todo o processo¹.

Os termos do contrato refletem o acordo entre o governo e a empresa sobre um plano específico de fechamento. Além disso, especificam condições nas as quais os fundos podem ser utilizados:

- falha ou não realização de etapas do projeto de recuperação; e
- incapacidade de atingir os padrões ambientais previamente estabelecidos.

Características

- o banco envolvido se compromete a honrar todos os compromissos;
- qualquer mudança é acordada por todas as partes;
- o contrato geralmente é válido por um ano, uma vez que a recuperação é uma atividade de longo prazo; e
- os termos do contrato e a saúde financeira da empresa são revistos 60 dias antes do final do contrato anual – se o banco decidir não renovar, o beneficiário (em geral o governo) é informado nesse período.

Vantagens

- os custos são reduzidos (no Canadá, por exemplo, cobra-se menos de 1% ao ano sobre o valor total acordado para o financiamento);
- os custos legais podem ser dedutíveis do IR;
- a operação é garantida pela idoneidade da companhia mineradora; e
- os custos de administração são baixos.

Desvantagens

- a disponibilidade do fundo está vinculada à idoneidade da empresa;
 - poder de captação de empréstimo da empresa é reduzido segundo o valor da carta de crédito;
 - não está disponível para uma empresa que esteja encerrando suas atividades, a menos que:
 - ela seja subsidiária de uma empresa maior; e
 - ela deposite o valor total da carta de crédito, como garantia.
- **Seguro (Performance bond)**

Descrição

É uma forma especial de carta de crédito descrita acima e, portanto, exibe características semelhantes.

¹ É evidente que, no contrato, o banco irá se garantir de alguma forma solicitando, por exemplo, transferência parcial de bens e/ou direitos da empresa envolvida.

Características

Normalmente, o acordo, efetivado por uma seguradora, prevê que:

- o segurado coloca seu patrimônio como garantia para a seguradora;
- a seguradora se compromete a cobrir todas as despesas decorrentes do fechamento da mina;
- o beneficiário, em geral, é o governo; e
- os termos devem ser acordados por todos os participantes.

Operação

- similar à carta de crédito;
 - válida pelo tempo previsto para o desenvolvimento do projeto de recuperação; e
 - valor de face é igual ao custo do projeto de recuperação;
-
- **Fundo para a recuperação e fechamento**

Descrição

Este é um mecanismo de financiamento que vem se tornando o preferido pelas empresas na América do Norte. É comparável a uma provisão para aposentadoria, pensão ou poupança periódica para despesa futura.

Características

- criado pela empresa para cobrir custos específicos de recuperação expressos em seu projeto;
- o tamanho do fundo, em qualquer tempo, será função:
 - dos custos anuais de recuperação identificados no projeto;
 - da política de investimento da empresa; e
 - da taxa de retorno esperada.
- dá garantia ao governo;

- determinado para operações específicas;
- grandes empresas podem formar um fundo comum para várias minas;
- um projeto de recuperação aprovado pelo governo pode ser a referência do fundo;

Operação

- funciona como um fundo de pensão, ou seja, é administrado por terceiros;
- as contribuições devem ser específicas (tempo e frequência); e
- periodicamente auditado;

Vantagens

- a empresa mantém controle limitado sobre o fundo;
- qualquer lucro nos fundos retorna à empresa; e
- os fundos, quando visíveis, podem contribuir para a conquista de credibilidade junto ao governo e à opinião pública;

Desvantagens

- envolve administração de longo prazo;
- pode ser necessária grande contribuição inicial; e
- a constituição de uma reserva para investimento em um projeto de recuperação demanda longo prazo.

Fatores a serem considerados no projeto de um fundo de recuperação e fechamento

- avaliação individual das áreas;
- a estimativa de custo deve estar baseada em estudos técnicos de engenharia; e
- gerenciamento responsável da recuperação – encoraja as companhias mineiras a gerenciar ativamente a sua recuperação, controlar os custos e desenvolver soluções inovadoras.

Um exemplo de contribuição periódica para formação de um fundo dessa natureza encontra-se na Tabela 16 a seguir.

Tabela 16 – Contribuição periódica para a formação de um fundo de recuperação.

Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.25	0.75	-	-	-	-	-	-	-
4	0.111	0.333	0.565	-	-	-	-	-	-
5	0.063	0.187	0.313	0.437	-	-	-	-	-
6	-	0.063	0.187	0.313	0.437	-	-	-	-
7	-	0.040	0.120	0.200	0.280	0.360	-	-	-
8	-	0.028	0.063	0.139	0.194	0.250	0.306	-	-
9	-	0.020	0.061	0.102	0.143	0.184	0.225	0.265	-

Ao longo da primeira coluna é colocado o número de anos necessários para constituição do fundo de investimento. Ao longo da primeira linha, o número de anos de vida do empreendimento. A tabela apresenta as frações do total do investimento necessário ao projeto de recuperação distribuída ao longo dos anos. Dessa forma, para um planejamento de 7 anos, por exemplo, os depósitos só seriam realizados a partir do segundo ano, com valores sucessivos crescentes, culminando com 36% no sexto ano.

De uma forma geral, as empresas preferem os mecanismos de financiamento que possuam algumas das seguintes características:

- pode ser concebido com custo zero;
- é baseado na demonstração da saúde financeira da empresa;
- possui custos operacionais mínimos e eficiente administração (não deve ser um emaranhado burocrático);
- devem ser dados descontos para as atividades de recuperação já em andamento;
- o processo deve ser de fácil compreensão e “transparente” às autoridades e ao público em geral.

A empresa mineira espera deduzir o custo do mecanismo de financiamento dos lucros operacionais auferidos. As empresas canadenses, por exemplo, propõem que o fundo para recuperação e fechamento tenha, dedutíveis do imposto de renda, as contribuições efetuadas ao longo do tempo. Propõem também que os ganhos financeiros eventualmente obtidos pelo fundo estejam isentos de qualquer taxaço.

É importante notar que alguns dos exemplos de financiamento acima citados poderiam, com alguma modificação, ser aplicados ao caso brasileiro, para recuperação de áreas degradadas das minas em operação.

4.2.4. Exemplos de financiamento para recuperação de minas abandonadas – o caso da Pensilvânia (EUA)

A partir do momento em que obteve o controle sobre seu próprio programa de mineração, em 1982, o Estado da Pensilvânia foi induzido a identificar os problemas relacionados às minas abandonadas que afetavam a saúde pública, a segurança e o meio ambiente. Áreas abandonadas de minas constituem um desafio para o Estado e os cidadãos, uma vez que os fundos disponíveis através da lei federal de Recuperação e Controle das Minas de Superfície (*Federal Surface Mining Control and Reclamation Act*) de 1977 são limitados. O Departamento de Proteção Ambiental (DPA) da Pensilvânia vem desenvolvendo aspectos inovadores para conduzir a recuperação de minas de carvão abandonadas sem que os contribuintes tenham que pagar mais por isso.

Primeiramente, o DPA estabeleceu uma parceria com as empresas de mineração de carvão ainda em atividade para que estas utilizassem suas reservas de maneira mais econômica e eficiente. Além do rebeneficiamento dos rejeitos, três outros programas foram administrados pelo DPA de forma a enquadrar o setor privado nas atividades de recuperação.

Seguro Recuperação

Este seguro é exigido de todas as empresas de mineração em operação. Este compromisso, na forma de uma promissória por exemplo, é avalizado por uma companhia seguradora e garante que a área minerada seja recuperada após encerradas as atividades da empresa. Quando a recuperação da área estiver efetivada, a promissória é liberada e o operador fica desobrigado de qualquer encargo adicional. Se a mina for abandonada e a recuperação não for efetivada, a empresa de mineração deve pagar a promissória e o DPA utilizará o valor para efeito de recuperação da área.

No caso da promissória não ser paga pelo operador, uma terceira parte - normalmente a companhia de seguros que forneceu a promissória - pode ser acionada para complementar a recuperação necessária.

O seguro recuperação, como tem sido chamado, tem se mostrado uma ferramenta útil para que os trabalhos de recuperação sejam realizados prontamente e a um custo que não exceda o previsto quando da assinatura da promissória. Nenhum fundo adicional, estadual ou federal, é necessário para a recuperação de áreas mineradas abandonadas uma vez que as companhias seguradoras têm concordado com essa responsabilidade.

Recuperação no lugar de penalidades legais (Projetos ambientais da comunidade)

Quando uma empresa que opera uma mina a céu aberto viola as regulamentações mineiras estaduais, o DPA promove uma ação cível contra a companhia ou emite uma multa. Em geral, o DPA permite que a empresa promova a recuperação da área minerada ou a mitigação da drenagem ácida ao invés da sanção.

O DPA fornece essa opção às empresas porque o resultado final é mais eficiente. É importante observar que, na Pensilvânia, a troca das penalidades pela recuperação da área tem sido preferida, já que as multas arrecadadas pelo Estado podem não ser utilizadas para recuperação.

Contratos de Construção Financiados pelo Governo (CCFGs)

A longa história da mineração na Pensilvânia teve como consequência milhares de acres de terras mineradas e abandonadas. Muitos desses locais apresentam degradação extensa, geração de drenagem ácida e/ou grandes quantidades de rejeitos de carvão, exigindo investimentos elevados para sua recuperação.

Os CCFGs são celebrados entre o Estado e uma empresa interessada na execução do projeto de recuperação. O Estado não contribui com recursos e recebe, no fim do contrato, a área recuperada e a com remediação da contaminação das águas. Desta forma, com um CCFG, uma empresa pode rebeneficiar seus rejeitos, vender o carvão para uma termelétrica e em seguida (ou simultaneamente) recuperar o local.

Considerações finais

Na implementação de mecanismos de financiamento é importante levar em conta a experiência de países mineiros que já enfrentaram situações semelhantes. Em geral, duas situações distintas se apresentam:

- Áreas que podem ser recuperadas com sucesso ao final da vida útil da mina;
- Áreas que necessitam cuidado de longo prazo que se estendem além do período de fechamento da mina (chamado período de pós-fechamento).

Alguns países aceitam certo grau de mudança ambiental irreversível, desde que a recuperação permita o surgimento de um novo ecossistema.

Ao final de um projeto de recuperação bem sucedido, a empresa fica isenta de qualquer outra obrigação. Entretanto, para os casos de monitoramento contínuo, a empresa pode receber um certificado de liberação desde que se comprometa a financiar o gerenciamento da recuperação pelo prazo acordado. Em alguns casos é possível ainda que o governo contrate uma empresa especializada para assumir essa responsabilidade.

5. GESTÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DA BACIA CARBONÍFERA DO ESTADO DE SANTA CATARINA

A implementação de um Plano de Recuperação Ambiental para a região carbonífera de Santa Catarina requer uma estrutura gerencial mínima. Sugere-se que essa estrutura contemple um Sistema de Gestão Integrado e a criação de um Comitê Gestor.

5.1 *Sistema de Gestão Integrado*

O Sistema de Gestão nos moldes aqui propostos envolve iniciativas de cunho legislativo, políticas do executivo e gerenciamento das ações e dos recursos disponíveis. Seus principais objetivos são:

- Estimular a participação pública e privada;
- Aumentar a eficiência da recuperação melhorando e integrando a comunicação entre as partes envolvidas;
- Ampliar a recuperação incentivando atividades industriais e de mineração em áreas degradadas;
- Maximizar a utilização dos fundos de recursos existentes e explorar novas fontes de recursos;
- Coordenar os esforços de pesquisa científica e tecnológica para a recuperação ambiental;
- Auxiliar nos esforços de forma que a atual atividade de mineração possa viabilizar-se economicamente, com condições de alocar recursos próprios para a recuperação ambiental.

5.2 *Comitê Gestor*

A estrutura proposta prevê também a criação de um Comitê Gestor com a participação de representantes das Universidades da região, dos Comitês das Bacias Hidrográficas da região, das Associações de Municípios (AMREC e AMUREL), do Setor Carbonífero, da FATMA e do DNPM, entre outros.

Sugere-se, como principais atribuições do Comitê Gestor:

- gerenciar o Plano Executivo de Recuperação Ambiental (PERA), coordenando e sistematizando todas as ações dos seus membros;
- promover, via seminários técnicos, a discussão periódica do PERA com as partes interessadas (empresas, Universidades, ONG's, órgãos públicos, etc.);
- fomentar, organizar e administrar um Fundo Estadual de Recuperação Ambiental (FERA). Tal fundo poderia, por exemplo, contar com uma parcela dos recursos dos Municípios e do Estado proveniente da Compensação Financeira pela Extração de Minerais (CEFEM); além de recursos orçamentários da União e do Estado bem como de contribuições de outras entidades;
- priorizar as áreas para elaboração dos projetos executivos, aprovar sua implementação e fiscalizar a aplicação dos recursos;
- analisar, orientar e aprovar os projetos de pesquisa científica e tecnológica, os quais poderão subsidiar a obtenção de recursos junto aos Ministérios de Ciência e Tecnologia, Minas e Energia, Integração Regional e Meio Ambiente e outros órgãos que disponham de verbas para projetos de recuperação ambiental;
- promover, incentivar e gerenciar, junto aos Poderes Legislativo e Executivo, a criação de uma legislação que vise incentivar, via isenção de impostos, empresas que participem na recuperação ambiental da região carbonífera.
- criar mecanismos que permitam informar à sociedade o andamento dos trabalhos, seus resultados e a alocação de recursos; e
- realizar avaliações periódicas do Plano Executivo de Recuperação Ambiental e promover alterações, quando necessário.

6. CONCLUSÕES*

Foram reunidas informações já existentes sobre a região carbonífera de Santa Catarina, com relação aos impactos ambientais gerados pela atividade de mineração. Foram indicados preliminarmente alguns dos trabalhos adicionais necessários para a caracterização da natureza e da magnitude destes impactos.

Além disso, foram formuladas bases iniciais para elaboração do Projeto Conceitual para recuperação ambiental da região, indicando alternativas técnicas para o tratamento de efluentes líquidos.

Embora existam muitas informações disponíveis, é necessário complementá-las. Esta iniciativa requer a participação dos diversos segmentos interessados, sendo por isto sugerida a criação de Comitê Gestor do Projeto de Recuperação Ambiental de Áreas Mineradas.

É apresentado um cronograma para execução do Projeto de Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Sul Catarinense nas fases Conceitual (em duas etapas), Básica e Detalhada. A Etapa I do Projeto Conceitual foi concluída em setembro de 2000 e a Etapa II deverá ser finalizada em dezembro de 2000.

A partir de janeiro de 2001 e até abril de 2002 (16 meses), propõe-se que as tarefas programadas sejam realizadas em parceria entre o CETEM, SIECESC, FATMA, DNPM, consultores internacionais, instituições de ensino e pesquisa e comunidade local. Estas atividades serão dirigidas à elaboração do Projeto Básico.

A partir de maio de 2002 deverão ser realizadas atividades relacionadas ao Projeto Detalhado das alternativas técnicas adequadas para a recuperação das áreas selecionadas. Estas já deverão estar definidas segundo previsto no Projeto Básico e aprovadas pelos membros do Comitê Gestor do Projeto.

Várias empresas tem projetos individuais de recuperação ambiental em andamento que foram juntados ao presente documento. Ressalva - se que tais projetos, de responsabilidade de seus executores, não foram analisados pelo CETEM.

***O presente VOLUME I do Projeto Conceitual para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense foi originalmente apresentado em sua revisão 00 ao SIECESC em setembro de 2000. As conclusões aqui apresentadas são portanto parciais e referentes aos primeiros quatro meses de trabalho. O item foi aqui mantido apenas de forma a registrar o formato original do documento. Para Recomendações e Conclusões gerais por favor refira-se ao VOLUME II em seus itens 6 e 7.**

Bibliografia Consultada

- Ação Civil Pública/Poder Judiciário – Sentença da Justiça Federal, janeiro de 2000, Criciúma, SC.
- Alexandre, Nadja Z.; Krebs, Antônio S. J. – Qualidade das Águas Superficiais do Município de Criciúma, SC. Relatório Final. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Recursos Hídricos, v. 6) CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.
- Alexandre, Nadja Z et alii – Fontes de Poluição no Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Degradação Ambiental, v. 8), CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.
- Ministério do Interior. Superintendência de Desenvolvimento da Região Sul. Programa de Desenvolvimento Integrado do complexo lagunar, Laguna-Imaruí-Imbituba-Tubarão: estudos preliminares, diagnóstico, v.1; Florianópolis, 1988,148p.
- Campos, Antônio R. – Beneficiamento de finos de carvão de Santa Catarina. Tese de Doutorado,2000, USP, São Paulo (no prelo).
- European Union - Concerned Action on Risk for Contaminated Sites (CARACAS) in the European Union Funded by EC-DG XII under the “Environment and Climate Programme” co-ordinated by the German Umweltbundesamt. International Workshop: Risk Assessment Models and Risk Management for Contaminated Sites. Final Report, 1998.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resoluções CONAMA; 1984/1991. 4 ed. rev. aum. Brasília, IBAMA, 1992, 254p.
- Dias, Adalberto de A. – Geologia do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, v. 23), CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.

- DNPM/CPRM – Projeto Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrente da Extração do Carvão Mineral. Programa Nacional de Prospecção para Carvão, Linhito e Turfa. Anexos - Mapas. DNPM/CPRM, 1984, Criciúma, SC.
- DNPM – Controle da Poluição Hídrica Decorrente da Atividade de Mineração/Programa de Estudo de Casos – Diagnóstico da Qualidade da Água na Bacia do Rio Araranguá. Relatório Final, 1999. DNPM, São Paulo, SP, 173 p.
- IESA – Internacional Engenharia S/A - Sindicato Nacional da Indústria da Extração de Carvão – Preservação do Meio Ambiente Relatório Conceitual, v. I e II, junho de 1983 - Criciúma, SC.
- Jungblut, M. – Pedologia do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, v. 14), CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.
- Klein, R.M. – Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. Flora Ilustrada Catarinense, Itajaí, 1978. 24p.
- Krebs, Antônio S. J.; Dias, Adalberto A ; Viero, Ana C. – Áreas Mineradas para Carvão no Município de Criciúma – SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Recursos Minerais, v. 02), CPRM, 2^a ed., 1994, Porto Alegre, RS.
- Krebs, Antônio S. J.; Seara, Luiz F. dos R.; Bortot, Adhyles; Viero, Ana C. – Situação Legal das Áreas Mineradas no Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, v. 22), CPRM, 1995, Porto Alegre, RS.
- Krebs, Antônio S. J.; Viero, Ana C. – Suscetibilidade à Erosão do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Ordenamento Territorial, v. 26), CPRM, 1996, Porto Alegre, RS.

- Krebs, Antônio S. J.; Viero, Ana C. – Áreas Críticas e com Restrições à Ocupação do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Ordenamento Territorial, v. 29), CPRM, 1997, Porto Alegre, RS.
- Krebs, Antônio S. J.; Nosse, Eduardo de O. – Potencial Hidrogeológico do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, v. 24), CPRM, 1998, Porto Alegre, RS.
- Limeira, Amundsen – Em Santa Catarina, o problema mais grave. Brasil Mineral – Especial: Meio Ambiente, p.54-58, outubro 1989.
- Machado, J.L.F. ; Peruffo, N. e Lima, J.E.S. – Projeto Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrente da Extração do Carvão Mineral. Programa Nacional de Prospecção para Carvão, Linhito e Turfa. Relatório Final da Fase I, v. I, DNPM/CPRM, 1984, Porto Alegre, RS, 183p.
- Marcomim, F.E. – Zoneamento ambiental do Rio Tubarão, SC, através da análise de metais pesados em água, sedimento, substrato e planta e de componentes estruturais da paisagem. Porto Alegre, 1996. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Instituto de Biociências. Curso de Pós-Graduação em Ecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 145p.
- Ministério da Ação Social/Secretaria Nacional de Saneamento – Projeto de Recuperação da Qualidade de Vida da Região Sul de Santa Catarina – PROVIDA-SC. Brasília, abril de 1991. Diário Oficial, quinta-feira, 11 de abril de 1991, Atos do Poder Executivo, Brasília, DF.
- Mineralúrgica Engenharia e Consultoria Ltda. – Inventário de depósitos de rejeitos de carvão mineral na Região Sul-Catarinense. v. 1, Mineralúrgica, 1991, Santa Catarina, 123p.
- Nideco/UFRGS; FATMA – Estudos sobre o Impacto Ecológico da Mineração e do Beneficiamento do Carvão na Região Sul do Estado de Santa Catarina. Relatório Final. Convênio FATMA-UFRGS, janeiro de 1978, Porto Alegre, RS, 337 p.

- Ruzicka, M.; Miklos, D.H. – Basic Premises and Methods in Landscape Ecological Planning and Optimization. In: ZONNEVELD, I.S.; FORMAN, R.T.T.(ed). Changing Landscapes: an ecological perspective. New York. Springer, 1990; 286p.
- Sánchez, Luis E. et alii – Cumulative Impacts and Environmental Liabilities in the Santa Catarina Coalfield in Southern Brazil. Proceedings III International Conference on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, 30 –1 September 1994, p.75-85, Perth, Western Australia.
- Santos, E. – Contribuição ao Estudo de Poluição Ambiental por Metais Pesados: a área do Banhado da Estiva dos Pregos. Florianópolis, 1992. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Centro de Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Santos, Maria D. C. – Tratamento de Efluentes. Estudo de Caso : Indústria Carbonífera Catarinense. (Curso de Treinamento Interno de Técnicos de Nível Médio-DME), CETEM, maio de 1995, Rio de Janeiro, RJ. (Não publicado).
- Schmitt Jr, Arnaldo – Impacto Ambiental da Mineração de Carvão. Brasil Mineral, n.71, p.62-71, outubro de 1989.
- Sdma/Mitsubishi Corp/ Chiyoda - Dames & Moore Co – Feasibility Study on Recuperation of Mined-out Areas in the Southern Region of Santa Catarina in The Federative Republic of Brazil. A sector report : Coal Mining in Santa Catarina. July 1997, Mitsubishi Materials Corporation, Chiyoda-Dames & Moore Co. Ltd., Japan.
- SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina – O Impacto do Carvão Mineral na Economia Brasileira. Agosto de 1996, Fundação Getúlio Vargas, RJ.
- SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina – Dados Reservados, 2000, Criciúma, SC.
- Teixeira, Mário B. – Vegetação e Uso Atual do Solo do Município de Criciúma, SC. PROGESC – Programa de Informações Básicas para a Gestão Territorial de Santa Catarina (Série Cartas Temáticas, v. 12), CPRM, 1994, Porto Alegre, RS.

- Turner, M. G. – Modelling Landscape Disturbance Patterns. Landscape Ecology. New York, v.4; n.1;1990, p.21-30.
- UNISUL/Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos – Diagnóstico e Planejamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Tubarão e Complexo Lagunar. CD-ROM, 2000, UNISUL, SC.
- USEPA – Environmental Protection Agency . Risk Assessment Guidance For Superfund, 1989. v. 1. Chapter 6; p. 1-54.
- van Huyssteen, E. – Baselineing – A Reference Manual, 1st ed., CD-ROM, CANMET/MMSL, INTEMIN, 1998, Canadá.

ANEXO

DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES		2000		2001	2002	
		Jun a Set	Set a Dez	Jan a Dez	Jan a Abr	Mai em diante
PROJETO CONCEITUAL DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DAS ÁREAS MINERADAS	ETAPA I -- Projeto Conceitual Preliminar					
	ETAPA II – Projeto Conceitual - Aperfeiçoamento dos mapas relativos às atividades de superfície - Atualização dos mapas relativos às atividades no subsolo - Levantamento planaltimétrico de áreas de disposição de rejeitos - Avaliação de volume de rejeito - Geração de protocolos para a coleta de amostras e análises químicas - Produção de lista preliminar de áreas prioritárias para recuperação - Definição das responsabilidades legais sobre as áreas de mineração - Identificar principais práticas de geração de resíduos e gestão de águas; - Identificar pontos de lançamento de efluentes líquidos e captação de água para as instalações - Identificação das fontes de contaminação associadas a pontos de embarque do carvão					
PROJETO BÁSICO	<ul style="list-style-type: none"> Trabalho a ser realizado em parceria entre CETEM, SIECESC, FATMA, DNPM, instituições de ensino e pesquisa e comunidade 					
PROJETO DETALHADO	<ul style="list-style-type: none"> Detalhamento das alternativas técnicas mais adequadas para a recuperação das áreas, definidas pelos membros do Comitê Gestor do Projeto Monitoramento da qualidade dos compartimentos ambientais 					

Fluxograma 1 – Etapas propostas para realização do Projeto para Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense

