

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MANOLO FERNANDES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO UTILIZADO NO FECHAMENTO DE
BOCAS DE MINA DO TIPO GALERIA DE ENCOSTA E PLANO INCLINADO**

CRICIÚMA

2013

MANOLO FERNANDES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO UTILIZADO NO FECHAMENTO DE
BOCAS DE MINA DO TIPO GALERIA DE ENCOSTA E PLANO INCLINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental no curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. Clóvis Norberto Savi

CRICIÚMA

2013

MANOLO FERNANDES PEREIRA

**AVALIAÇÃO DE PROJETO EXECUTIVO UTILIZADO NO FECHAMENTO DE
BOCAS DE MINA DO TIPO GALERIA DE ENCOSTA E PLANO INCLINADO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Restauração de ambientes alterados e recuperação de áreas degradadas.

Criciúma, 26 de novembro de 2013.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Clóvis Norberto Savi - Mestre - (UNESC) - Orientador

Eng. Vilson Paganini Bellettini – Engenheiro Agrimensor/Civil - (UNESC)

Geól. Márcio Luiz Geremias – Doutor - (UNESC)

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio e incentivo na concretização deste sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre estar presente na minha vida.

Ao meu Pai Antonio e Minha Mãe Iara pela força, apoio e incentivo durante todas as etapas desta jornada.

Ao meu amigo, professor, e orientador, Clóvis, por aceitar ser meu orientador e por todo o conhecimento passado.

A minha namorada Sabrina, por todo incentivo, companheirismo, conselhos, e por não me deixar desanimar à frente de um novo obstáculo.

A todos os meus amigos e familiares que de alguma forma me ajudaram e me apoiaram na conclusão deste trabalho.

Aos meus colegas de curso que foram muito importantes em todos os momentos, nas horas boas e ruins.

Ao Dr. Marco, por todo o apoio e dedicação.

A Carbonífera Metropolitana S/A, em especial ao Eng. André Taboada Escobar pela oportunidade de estágio, ao meu supervisor de estágio Eng. Norberto Buogo pelos conhecimentos e informações repassadas, ao Eng. Luiz Rodeval Alexandre pelos ensinamentos passados e aos meus colegas de trabalho pelo companheirismo e pelos conhecimentos passados durante o estágio.

E por fim agradeço a todos que de uma forma ou de outra me apoiaram e me incentivaram na realização deste sonho. Muito Obrigado!

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

RESUMO

A mineração de carvão no estado de Santa Catarina, mais precisamente na região Sul do estado, teve início no século XIX, onde nesta época não se tinha o devido cuidado com o meio ambiente. A mineração de carvão resultou em passivos ambientais, e fazem parte destes passivos as bocas de mina abandonadas e muitas delas com surgência de drenagem ácida. As bocas de mina abandonadas são aberturas utilizadas para desenvolver atividades mineiras onde interligavam a superfície com o subsolo. Estas bocas de mina estão gerando uma grande discussão na área científica pelo fato de que existe uma grande dificuldade no desenvolvimento de uma tecnologia que seja satisfatória para a resolução do problema. O presente trabalho consiste na obtenção de dados referentes aos projetos executivos elaborados para o fechamento de bocas de mina abandonadas do tipo galeria de encosta e plano inclinado, onde as mesmas foram avaliadas conforme verificação in loco dos pontos mais susceptíveis a problemas de vazamentos de água, ou infiltrações. Os resultados obtidos com esta análise se dão principalmente em relação ao ponto de construção do barramento de concreto, no caso da galeria de encosta, e também podemos citar algumas melhorias em seus planos de monitoramento. Com isso, devemos ressaltar a importância de um estudo detalhado e o desenvolvimento de novas tecnologias para a solução da problemática principalmente referente às bocas de mina com surgência de água.

Palavras-chave: Bocas de Mina Abandonadas; Plano Inclinado; Galeria de Encosta; Fechamento de Bocas de Mina.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mineração de carvão a céu aberto.....	19
Figura 2 - Exemplificação do método de extração de carvão em câmaras e pilares.	20
Figura 3 - Rio contaminado por drenagem ácida de mina.....	23
Figura 4 - Área minerada em recuperação.....	25
Figura 5 - Boca de mina do tipo galeria de encosta em processo de recuperação. ...	27
Figura 6 - Localização da BMA do tipo galeria de encosta.	31
Figura 7 - Localização da BMA do tipo plano inclinado.....	32
Figura 8 - Localização da galeria de encosta em relação as BMA`s do entorno.....	34
Figura 9 - Demonstrativo da boca de mina a ser tamponada.....	35
Figura 10 - Localização do plano inclinado em relação as BMA`s do entorno.	37
Figura 11 – Plano inclinado em fase final de recuperação.....	38
Figura 12 - Demonstrativo do projeto de fechamento do plano inclinado.....	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos mínimos a serem contemplados no PRAD (Tipologia dos estudos).....	28
Quadro 2 - Requisitos mínimos a serem contemplados no PRAD (Fechamento).....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Preservação Permanente
BMA	Boca de Mina Abandonada
CBCA	Companhia Brasileira Carbonífera de Araranguá
CCU	Companhia Carbonífera de Urussanga
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DAM	Drenagem Ácida de Mina
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PRAD	Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas
ROM	“Run of Mine” ou Minério Bruto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
4.1 HISTÓRICO DO CARVÃO EM SANTA CATARINA.....	16
4.2 LAVRA.....	17
4.2.1 Lavra a céu aberto	17
4.2.2 Lavra subterrânea	19
4.3 BENEFICIAMENTO	21
4.4 ALTERAÇÕES AO MEIO AMBIENTE CAUSADAS PELO CARVÃO	22
4.4.1 Alteração da qualidade do solo	22
4.4.2 Alteração da qualidade do ar	22
4.4.3 Alteração da qualidade da água	23
4.5 RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS	23
4.5.1 Recuperação das áreas mineradas e depósitos de rejeitos	25
4.5.2 Recuperação de bocas de mina abandonadas	26
5 METODOLOGIA	30
5.1 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
5.1.1 – Área 01	30
5.1.2 – Área 02	31
6 APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS DE FECHAMENTO DAS BOCAS DE MINA	33
6.1 ÁREA 01 – GALERIA DE ENCOSTA.....	33
6.1.1 – Projeto de fechamento	34
6.1.2 – Uso Futuro	36
6.1.3 – Plano de monitoramento	36
6.2 ÁREA 02 – PLANO INCLINADO	36
6.2.1 – Projeto de fechamento	38
6.2.2 – Uso futuro	40
6.2.3 – Plano de monitoramento	40

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
7.1 ÁREA 01 – GALERIA DE ENCOSTA	41
7.2 ÁREA 02 – PLANO INCLINADO	43
8 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Carbonífera de Santa Catarina localiza-se no sul do Estado e compreende uma área com aproximadamente 100 km de comprimento por 20 km de largura entre os municípios de Araranguá e Lauro Müller. A bacia representa aproximadamente 11% do carvão existente em território Brasileiro.

No início, a mineração na região se dava pela extração de carvão em minas de pequeno porte, sendo que as mesmas utilizavam procedimentos desordenados de extração e equipamentos rudimentares sem nenhum cuidado referente a manutenção da qualidade do solo, da água, e do ar. Hoje em dia os métodos de lavra estão modernizados e a extração está mais bem planejada diminuindo os impactos ao meio ambiente.

Uma problemática levantada na atualidade são as bocas de mina abandonadas, estes passivos ambientais foram deixados pelas empresas mineradoras após o término de suas atividades extrativistas e abandonadas sem o devido cuidado. O não fechamento destas bocas de minas abandonadas acaba impactando o meio ambiente e causando risco à segurança da população que vive no entorno, sendo que o impacto ambiental mais significativo é causado pelas bocas de mina com surgência de água, onde a mesma acaba contaminando os recursos hídricos pela drenagem ácida de mina.

A avaliação dos projetos executivos se deu de forma a analisar o fechamento das bocas de perante a sua aplicabilidade, os resultados obtidos e a diminuição dos impactos ambientais, principalmente com relação a qualidade dos recursos hídricos. O método utilizado nesta avaliação se deu pela verificação do cumprimento das recomendações elaboradas pelos órgãos fiscalizadores e entidades interessadas, e verificação in loco dos resultados do fechamento.

A pesquisa foi realizada no município de Criciúma, sendo que as áreas abrangidas localizam-se nos bairros Mina União e Metropol. A pesquisa teve sua duração aproximada de três meses, compreendendo os meses de Agosto a Novembro de 2013.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os projetos executivos de fechamento de bocas quanto as sua aplicabilidade, benefícios ao meio ambiente e resultados obtidos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver referencial teórico referente a mineração de carvão com ênfase na recuperação de áreas degradadas;
- Analisar os projetos de fechamento de boca de mina do tipo Plano Inclinado e do tipo galeria de encosta;
- Reconhecer os efeitos positivos e negativos referentes ao fechamento das bocas de mina que foram analisados;
- Avaliar os projetos em questão e propor melhorias se necessário.

3 JUSTIFICATIVA

Deve-se avaliar os projetos executivos para determinar os pontos que possam ser melhorados, objetivando na diminuição dos impactos ambientais causados por estas bocas de mina.

Outra justificativa a este trabalho está nos riscos referentes a saúde e segurança de pessoas e animais, pois as bocas de minas abandonadas oferecem grande risco de desabamentos quando não isoladas adequadamente. Também deve-se ressaltar as bocas de mina contendo água, onde as mesmas formam lagos de grande profundidade, sendo que estes locais são propícios a afogamentos.

Podemos citar também a fiscalização dos órgãos competentes, e exigências de clientes, que fazem com que as empresas carboníferas tratem a problemática ambiental referente as bocas de mina da região como uma necessidade atual. E por se tratar de um assunto relevante e novo, as empresas estão em busca de tecnologias para realizar da melhor maneira possível o fechamento destas bocas.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 HISTÓRICO DO CARVÃO EM SANTA CATARINA

O Brasil tem suas reservas de carvão mineral localizadas na região sul do país. A Bacia Carbonífera de Santa Catarina com quilômetros de comprimento, e cerca de vinte quilômetros de largura, aproximadamente, estão inseridos nesta bacia os municípios de Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Treviso, Criciúma, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça, Cocal do Sul, e Maracajá (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002).

A modernização no setor carbonífero se deu entre os anos de 1917 e 1922, quando algumas empresas mineradoras aqui se estabeleceram e elaboraram importantes pesquisas em relação a modernização no processo de lavra e beneficiamento do minério extraído. Esta iniciativa animou o setor e também credenciou a região junto ao Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, para a obtenção de recursos financeiros (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002).

Entre os anos de 1914 e 1918, durante a primeira guerra mundial a importação do carvão Inglês foi dificultada fazendo com que a mineração de carvão se expandisse. À época também foram fundadas novas empresas como o Grupo Lage e Irmãos, a CBCA, a CCU, entre outras, pois a demanda de carvão da época era muito grande (GOULARTI FILHO, 2004).

Estava previsto para o ano de 1940 a instalação de duas grandes usinas da Companhia Siderúrgica Nacional no estado de Santa Catarina, sendo uma para o beneficiamento de carvão, e a outra para a geração de energia elétrica (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002), depois de alguns estudos realizados pela CSN sobre a viabilidade da instalação, resolveu-se então, instalar as duas unidades na localidade de Capivari, pertencente na época ao município de Tubarão. A usina de beneficiamento tinha capacidade de beneficiar seis mil toneladas de carvão por dia; o beneficiamento tinha como objetivo reduzir os teores de cinza do carvão, para se obter o carvão metalúrgico (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002).

Nos anos cinquenta, o petróleo começou a ser mais utilizado e acabou substituindo o carvão em algumas atividades, como nos transportes rodoviários e na navegação. Surgiu ai então uma preocupação por parte dos empresários, onde os mesmos começaram a investir em pesquisa para desenvolver novas tecnologias

para aproveitar o carvão de forma integral. Nesta época houve a crise do enxofre, onde foram desenvolvidas pesquisas para aproveitar o rejeito piritoso gerado no beneficiamento e produzir enxofre, que seria utilizado em vários segmentos da indústria (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2010).

Com o passar dos anos as empresas mineradoras foram incentivadas a desenvolver novas tecnologias para a extração de carvão, que deixaria de ser manual e passaria a ser mecanizada, tendo como consequência um aumento significativo da quantidade de carvão extraído. Também foram desenvolvidos novos métodos de lavra, que possibilitaram uma melhor extração do carvão (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2010).

Nos anos oitenta e noventa, o carvão passou por uma crise, onde o Estado deixou de intervir no sistema de produção, nos preços, na comercialização, e também foi liberada a importação, com isso praticamente a única utilização do carvão era na geração de energia elétrica (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2010).

Foram também nos anos oitenta e noventa que surgiu a preocupação com o meio ambiente e com a saúde e segurança do trabalhador. No meio ambiente se deu início a cobrança das empresas para que elas solucionassem os problemas ambientais causados pela mineração e beneficiamento de carvão, essas cobranças também iniciaram para os problemas com as condições de trabalho em que os mineiros estavam sujeitos (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2010).

4.2 LAVRA

O processo de lavra é o conjunto de operações que visa o desmonte e a retirada do carvão para ser beneficiado posteriormente. A atividade de lavra pode ser feita em subsolo ou a céu aberto, dependendo das características da jazida em questão (MÜLLER et al., 1987).

Inicialmente o método de lavra do carvão era basicamente manual, depois passou por uma fase de semi-mecanização e hoje em dia está completamente mecanizado (KOPPE; COSTA, 2008).

4.2.1 Lavra a céu aberto

A mineração a céu aberto se dá quando a camada de carvão está

próxima à superfície, com uma profundidade máxima de 20 metros (BORTOT, 2002), como mostra a Figura 1.

Este método consiste na remoção da camada estéril para posteriormente ser extraído o carvão, por isso deve-se desenvolver um estudo prévio do local para descobrir quais são as características do solo, como a relação entre a camada de estéril e a camada de carvão, a topografia do local, a quantidade de carvão que pode ser extraída, os equipamentos necessários, a energia disponível, a presença de recursos hídricos, e os cuidados necessários à preservação do meio ambiente (MÜLLER et al., 1987).

O método de extração mais frequentemente utilizado a céu aberto é o “Strip Mining”, onde a camada de solo superficial que cobre o carvão é retirada deixando o carvão completamente exposto, onde depois será lavrado. Neste método é preciso movimentar grandes quantidades de material estéril para cada parte de carvão extraída, por isso deve-se analisar e planejar a lavra adequadamente e é indispensável a recuperação da área degradada em paralelo com a extração (KOPPE; COSTA, 2008).

Existem diversas formas de se executar o decapeamento, em virtude do equipamento utilizado. Geralmente para se realizar o decapeamento são utilizadas escavadeiras do tipo “Dragline”, e também são utilizadas carregadeiras e caminhões para o transporte do minério (MÜLLER et al., 1987).

Figura 1 - Mineração de carvão a céu aberto



Fonte: Buogo, 2000.

4.2.2 Lavra subterrânea

A mineração subterrânea consiste basicamente na abertura de planos inclinados, poços, e galerias de encosta, estas aberturas servem tanto para a extração de minério, quanto para o transporte de materiais e de pessoal (MÜLLER et al., 1987).

Os métodos de extração mais utilizados são o “Long Wall” e o método de câmaras e pilares, sendo que este último é utilizado mais frequentemente na região hoje em dia.

O método de extração “Long Wall” geralmente é empregado em minas com grandes profundidades. Neste método a camada de carvão é minerada continuamente, sendo que a frente de extração é servida por duas galerias laterais, uma para o transporte do minério, e outra para o transporte dos colaboradores e demais materiais (MÜLLER et al., 1987).

O método de câmaras e pilares funciona com a abertura de um eixo principal que é constituído por duas ou mais galerias paralelas, após, estas galerias são cortadas por painéis de produção, formando os pilares (MÜLLER et al., 1987).

A dimensão das câmaras e dos pilares depende de diversos fatores como a espessura, a profundidade do depósito, a estabilidade do teto, e a resistência do pilar, onde o principal objetivo é a máxima extração do carvão e a segurança dos trabalhadores (KOPPE; COSTA, 2008).

Antigamente ao final da lavra os pilares eram retirados, o que propiciava o desabamento da mina, este método foi utilizado por muitos anos na região carbonífera, mas foi proibido posteriormente pelo DNPM (KOPPE; COSTA, 2008). Abaixo segue a Figura 2 onde mostra um esquema de extração de carvão em câmaras e pilares.

Figura 2 - Exemplificação do método de extração de carvão em câmaras e pilares.



Fonte: (Carbonífera Metropolitana S/A, 2013) adaptado pelo autor.

Este método é formado por uma sequência de operações totalmente mecanizadas, sendo elas o corte, onde é efetuado na largura da galeria com uma máquina cortadeira, a perfuração, onde são feitos os furos para o preenchimento com explosivos, a detonação, onde o minério é desmontado, o carregamento e o transporte, onde o carvão é transportado da frente de extração até a correia transportadora, e por fim o escoramento, que é feito por meio da inserção de

parafusos no teto (MÜLLER et al., 1987).

Outro método de extração são com os chamados mineradores contínuos, onde são utilizados equipamentos que reduzem as operações unitárias, aumentando assim a produtividade (KOPPE; COSTA, 2008).

4.3 BENEFICIAMENTO

O objetivo do beneficiamento é a redução do teor de cinzas, com isso aumenta-se o teor de carbono e conseqüentemente o poder calorífico do carvão, também se pode reduzir o teor de enxofre e adequar a granulometria a preferência do cliente (MÜLLER et al., 1987).

O carvão produzido no estado apresenta certas características, onde ele é empregado para dois fins, o metalúrgico, que depois de ser transformado em coque vai para a indústria siderúrgica, e o carvão utilizado para a geração de vapor na termoelétrica (MÜLLER et al., 1987).

O beneficiamento do carvão é feito por uma serie de processos que podem ser divididos em pré-tratamento, que é a britagem, o peneiramento e a remoção da lama do "ROM", o beneficiamento, que é feito nos jigues e mesas vibratórias onde é separado o carvão dos rejeitos, a separação dos finos que é feita em baterias de ciclones, e por fim o condicionamento que é o deságue mecânico e a secagem térmica (BORTOT, 2002).

O carvão após ser beneficiado é depositado em pilhas geralmente a céu aberto, estas pilhas devem ser feitas sobre um local impermeável e com um sistema de drenagem onde a água da chuva que entra em contato com a pilha não contamine o solo (BORTOT, 2002).

O rejeito gerado na atividade de beneficiamento geralmente é separado em 3 classes, o R1, R2, e R3. O R1 é o rejeito Piritoso, que é retirado no processo de beneficiamento pelo Jigue, este rejeito deve ser depositado de forma adequada para não entrar em contato com o ar e com a água, pois isso acarretaria na contaminação das águas por lixiviação, e na poluição do ar pela emissão de odor e de partículas ácidas. O R2 (xistoso) e o R3 (betuminoso) podem ser depositados com um menor grau de rigor, apenas preocupando-se com a poluição visual (BORTOT, 2002).

4.4 ALTERAÇÕES AO MEIO AMBIENTE CAUSADAS PELO CARVÃO

Os problemas decorrentes das atividades de mineração de carvão podem ocasionar na alteração da qualidade do solo, do ar, e da água, sendo que estes problemas podem ser causados tanto na mineração a céu aberto quanto na subterrânea, o beneficiamento do carvão também pode afetar o meio ambiente se não for realizado adequadamente (ALEXANDRE, 1999).

4.4.1 Alteração da qualidade do solo

As atividades de mineração a céu aberto causaram os principais problemas de alteração da qualidade do solo na região, sendo que um dos principais fatores que causaram esta degradação foi a utilização da “Dragline Marion” que foi adquirida pela CSN, a capacidade de sua concha era de 23 m³ e sua lança tinha um alcance de 70 m, a empresa devastou uma área de aproximadamente 1400 ha com este equipamento durante os seus 30 anos de utilização (ALEXANDRE, 1999).

Na atividade de lavra o material superficial como o solo, argila, arenitos, siltitos, entre outros, eram retirados e depositados de qualquer maneira em pilhas no formato de cones, e após, este material era soterrado pelo material piritoso causando o que chamamos de inversão de camadas, e inviabilizando a recuperação espontânea da área (ALEXANDRE, 1999).

4.4.2 Alteração da qualidade do ar

Os problemas referentes a alterações da qualidade do ar se dão principalmente pelos rejeitos do beneficiamento depositados inadequadamente, onde o mesmo fica sujeito à autocombustão o que acarreta na geração de hidrocarbonetos, monóxido de carbono e o gás sulfídrico, estes gases acabam gerando um odor de “ovo podre” na região dos depósitos (BORTOT, 2002).

Também podemos considerar os impactos causados pela queima do carvão em diversos segmentos da indústria, como as termelétricas, siderúrgicas, usinas de asfalto, entre outras que utilizam o carvão como combustível, e que se não houver o tratamento adequado do efluente gasoso pode contribuir com a emissão de uma grande quantidade de poluentes para a atmosfera.

4.4.3 Alteração da qualidade da água

Os recursos hídricos da região carbonífera estão bastante degradados, sendo que mais da metade destes recursos estão contaminados pelas atividades relacionadas ao carvão. Este problema é causado principalmente pelas drenagens ácidas de mina (DAM), que são geradas tanto em minas a céu aberto quanto nas subterrâneas. Esta contaminação é gerada pela oxidação da Pirita, que tem como produto o Ácido Sulfúrico (H_2SO_4), este ácido é solúvel em água, e por isso causa a fácil contaminação deste recurso natural (ALEXANDRE, 1999).

As principais características dos rios contaminados por DAM são o baixo pH, que varia de 2 a 4, elevadas concentrações de Chumbo, Zinco, Cobre, Manganês, Ferro e Alumínio (ALEXANDRE, 1999). A Figura 3 retrata um rio com uma elevada taxa de acidez, e altas concentrações de metais pesados.

Figura 3 - Rio contaminado por drenagem ácida de mina.



Fonte: Autor, 2013.

4.5 RECUPERAÇÃO DAS ÁREAS DEGRADADAS

Nos últimos anos a preocupação com o meio ambiente cresceu muito no

Brasil, fazendo com que os órgãos governamentais em todas as esferas exigissem mais das empresas mineradoras referente a recuperação das áreas degradadas.

Desde o início de sua trajetória empresarial as empresas mineradoras usavam o solo para depositar seus resíduos sólidos, e os recursos hídricos para lançar seus efluentes, com isso o ambiente não conseguiu atender as necessidades de regeneração para manter a qualidade do solo e da água (CITADINI-ZANETTE; BACK; SANTOS, 2010).

Na extração de carvão, são produzidos dois tipos de resíduos, os estéreis constituídos por arenitos, siltitos, e folhetos, são gerados na mineração a céu aberto, e o rejeito do beneficiamento do carvão, que é constituído principalmente por Pirita (FeS_2), este ultimo é gerado na mineração subterrânea (CITADINI-ZANETTE; BACK; SANTOS, 2010).

Os resíduos provenientes da mineração de carvão foram sendo acumulados durante anos em vales, em locais próximos a mina, ou locais próximos ao beneficiamento, sendo que ocupavam no ano de 2010 cerca de 40% das áreas degradadas. A área total ocupada pelos resíduos somada as áreas degradadas, as áreas ocupadas por estéreis, e as lagoas provenientes da drenagem ácida superficial formam aproximadamente um total de 6000 ha de área que poderia ser utilizada para diversos fins (CITADINI-ZANETTE; BACK; SANTOS, 2010).

Recuperar estas áreas era uma tarefa difícil, pois foi possível somente após o agrupamento de conhecimentos de diversas áreas, como a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a qualidade dos solos, da fauna e da flora, juntamente com discussões realizadas por profissionais das diversas áreas afins que resultou na elaboração e implementação de projetos ambientais sustentáveis (POLZ, 2008).

O solo das áreas degradadas é geralmente caracterizado pelo seu grau de desestruturação, seu pH ácido e sua textura friável, o que ocasiona uma grande suscetibilidade a processos erosivos. Estas características juntamente com suas propriedades físicas e químicas de baixa qualidade ocasionam no baixo desenvolvimento de plantas, o que inviabiliza o uso agrícola e florestal (POLZ, 2008).

As principais fontes geradoras de poluição nas áreas degradadas são sem dúvida os rejeitos do beneficiamento do carvão, e os estéreis escavados, tendo em vista que os mesmos podem conter minerais sulfetados. Para solucionar este

problema, o método mais utilizado foi o de encapsular os rejeitos do beneficiamento na forma de células de rejeito, onde o mesmo fica confinado, sem contato com o ar ou a água, o que ocasionaria na geração de drenagem ácida de mina. Já para os estéreis pode-se utilizar uma técnica mais simples, onde o mesmo é colocado em sua condição normal, sob uma camada de argila, este é feito em conformidade com o remodelamento topográfico (POLZ, 2008).

4.5.1 Recuperação das áreas mineradas e depósitos de rejeitos

Os procedimentos corretos para a recuperação das áreas degradadas devem ser planejados previamente, também deve ser feita a definição da área que vai receber a decapagem, e preservar o solo vegetal que não será aproveitado de imediato, outro fator é a colocação de argila sobre o material estéril com a espessura mínima de 1 m, e após a reconformação topográfica, esta deve evitar declives acentuados, coloca-se uma cobertura vegetal de no mínimo 30 cm de espessura, para um bom crescimento da vegetação (SILVA et al., 2008).

Figura 4 - Área minerada em recuperação.



Fonte: Buogo, 2011.

Para se recuperar as áreas degradadas deve-se seguir as etapas descritas acima, onde elas tem por objetivo recompor a paisagem alterada, e dar ao solo as condições para retornar a suas condições produtivas normais, sendo que para isso devemos fornecer ao solo as condições para que ele inicie seu processo de recuperação (SILVA et al., 2008).

Com a conclusão da reconformação topográfica se da inicio a preparação e correção do solo, com a aplicação do calcário e adubo. Após se da uma das etapas mais importantes da recuperação, o controle da erosão, onde dependendo da área a ser recuperada são construídos terraços ou drenagens para diminuir a velocidade com que a água escoar e assim diminuir a arraste de partículas do solo conforme mostra a Figura 4. O ideal é que esta etapa seja concluída o mais breve possível.

A etapa de revegetação, se da primeiramente pelo plantio de vegetação rasteira para dar inicio a regeneração do solo, e da biota. Com a conclusão do plantio se deve esperar no mínimo 6 meses para as gramíneas se consolidarem na área, ai então se da inicio no plantio de espécies arbóreas em determinadas áreas que foram demarcadas na fase de planejamento da recuperação da área degradada. E por fim é iniciado o processo de monitoramento da área e manutenção. (SILVA et al., 2008).

4.5.2 Recuperação de bocas de mina abandonadas

As bocas de minas abandonadas (BMA's) são perfurações ou aberturas na superfície, e que dão acesso ao subsolo. As bocas de mina na região sul de Santa Catarina estão relacionadas à mineração de carvão, e estas foram ou são utilizadas para pesquisa exploratória, acesso, ventilação e drenagem dos serviços de mineração, podendo ser do tipo galeria de encosta, plano inclinado, poços de ventilação, poços de serviço, subsidências e furos de sonda (BRASIL, 2013).

Segundo SATC (2010), o fechamento destas bocas de mina foi priorizado conforme sua tipologia, onde foram classificadas seis tipos, são eles:

1. Fechada com entrada de água;
2. Aberta com entrada de água;
3. Fechada e sem drenagem;
4. Aberta e sem drenagem;

5. Fechada com saída de água e;
6. Aberta com saída de água.

A priorização para o fechamento das bocas de mina se deu em concordância com técnicos das empresas, e pelos órgãos governamentais fiscalizadores, sendo que, esta priorização levou em conta a simplicidade aparente do fechamento e também o ganho ambiental obtido, pois, as bocas de mina com entrada e surgência de água são mais impactantes quando comparadas às bocas que não contém drenagem. Sendo assim, é importante o monitoramento de pelo menos um ano antes de terem seus PRAD's executados (SATC 2010). A Figura 5 mostra uma boca de mina com grau de priorização 4 em processo de recuperação.

Figura 5 - Boca de mina do tipo galeria de encosta em processo de recuperação.



Fonte: Buogo, 2011.

Os PRAD's de bocas de mina abandonadas deve contemplar alguns requisitos mínimos, conforme o Quadro 1 elaborado pela CTMASC.

Quadro 1 - Requisitos mínimos a serem contemplados no PRAD (Tipologia dos estudos).

Caracterização do estudo	Tipo de BMA					
	1 - Fechada com entrada de drenagem	2 - Aberta com entrada de drenagem	3 - Fechada sem drenagem	4 - Aberta sem drenagem	5 - Fechada com saída de drenagem	6 - Aberta com saída de drenagem
Levantamento plani-altimétrico em escala de detalhe.	X	X	X	X	X	X
Identificação do proprietário dos terrenos no entorno da BMA.	X	X	X	X	X	X
Cadastro de pontos notáveis num raio mínimo de 30 m da boca: definindo nascentes e outros corpos d'água, edificações, cobertura do solo.	X	X	X	X	X	X
Identificação do tipo de BMA, registro fotográfico, definição (se possível) da mina e empresa a qual pertenceu com breve histórico da operação e do fechamento, com descrição do uso e evolução desta BMA.	X	X	X	X	X	X
Identificação de condições de risco à saúde, segurança e meio ambiente.		X		X		X
Caracterização hidrológica do local e da possibilidade de entrada e/ou saída de água da BMA.	X	X	X	X	X	X
Identificação de materiais de empréstimo no entorno da BMA.		X		X		X
Posição relativa da BMA em relação ao contexto mineiro, geológico, estrutural e hidrogeológico.	X	X	X	X	X	X

Fonte: (SATC, 2013) adaptado pelo autor.

Também deverá contemplar o PRAD as seguintes questões referentes ao fechamento da boca de mina abandonada citadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Requisitos mínimos a serem contemplados no PRAD (Fechamento).

Fechamento	Tipo de BMA					
	1 - Fechada com entrada de drenagem	2 - Aberta com entrada de drenagem	3 - Fechada sem drenagem	4 - Aberta sem drenagem	5 - Fechada com saída de drenagem	6 - Aberta com saída de drenagem
Plano e restrições ao uso atual e indicações de uso futuro (encosta, APP, etc.).	X	X	X	X	X	X
Proposição de trabalhos complementares para o fechamento (se necessário).	X		X		X	
Projeto executivo de fechamento da BMA.		X		X		X
Caracterização hidrológica do local incluindo a qualidade e a quantidade da água que entra na BMA com prognóstico do destino da água.	X	X				
Desvio da água afluente.	X	X				

Fonte: (SATC, 2013) adaptado pelo autor.

Após o fechamento, deverá ocorrer o monitoramento da área cumprindo um cronograma para controle do meio físico-químico e qualidade das águas presentes.

5 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo desenvolveu-se um referencial teórico onde foram levantadas informações sobre o histórico do carvão em Santa Catarina, sobre a lavra de carvão a céu aberto e subterrânea, o beneficiamento, as alterações no meio ambiente causadas pela extração do carvão no aspecto solo, ar e água, e a recuperação das áreas degradadas com ênfase na recuperação das bocas de mina abandonadas.

Após este levantamento bibliográfico foi efetuada a caracterização da área de estudo, onde foram coletados dados referentes ao tipo de BMA, as dimensões, a profundidade do plano inclinado, a vazão de água ácida, quando existir, também foram coletados dados sobre o mapeamento geológico e tectônico das bocas de mina dentro das áreas de estudo.

Outro tipo de dado analisado foi o projeto executivo onde pode observar-se o planejamento e a sequências de etapas para o fechamento das bocas de mina conforme sua cota, ou seja, sempre iniciando o fechamento na boca de mina de cota mais elevada.

O método de avaliação dos projetos executivos das bocas de mina se deu com a análise *in loco* das áreas de estudo para a verificação de possíveis problemas referentes ao tamponamento das galerias, sendo que os principais aspectos analisados foram rachaduras e fraturas ocasionadas pela detonação de rochas que poderiam vir a causar vazamentos de DAM, este no caso da galeria de encosta, e a análise de alterações no comportamento do solo no caso do plano inclinado.

Na sequência do trabalho foram propostas sugestões de melhoria nos projetos onde foram contemplados um plano inclinado com entrada de água, e uma galeria de encosta com saída de água, bem como, melhorias em seus planos de monitoramento.

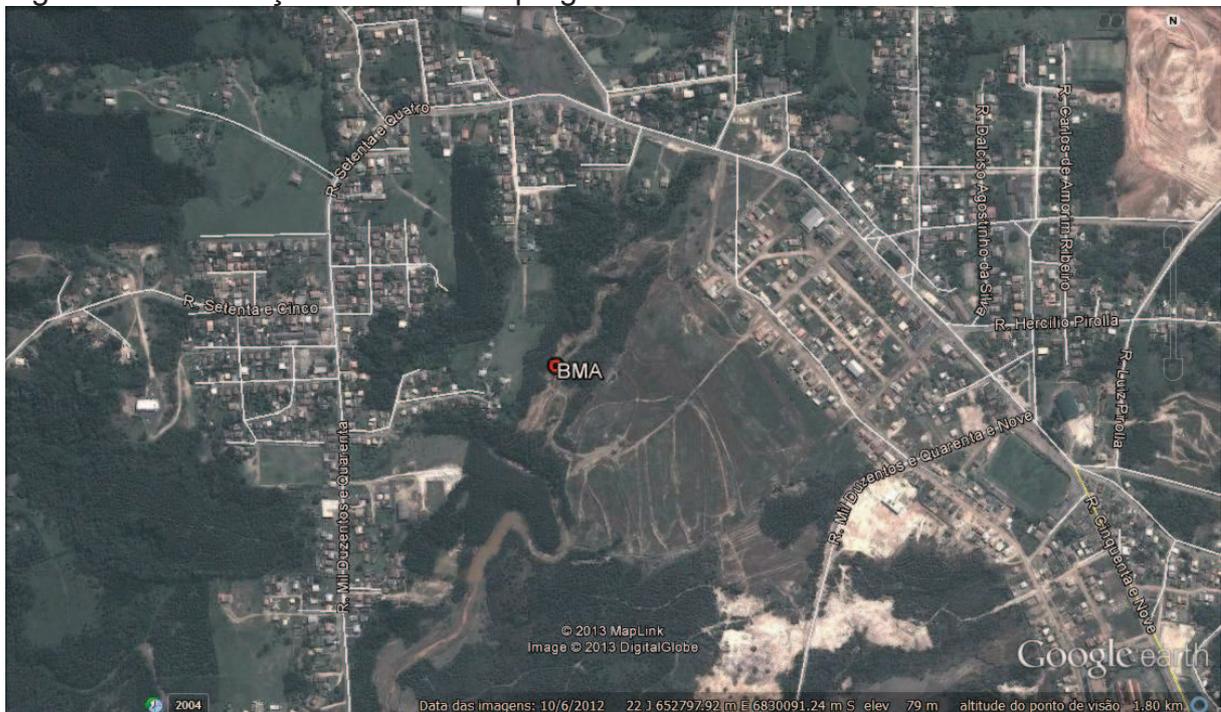
5.1 – DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas das BMA's estão localizadas no município de Criciúma, no estado de Santa Catarina, mais precisamente nos bairros Metropol, e Mina União.

5.1.1 – Área 01

A área 01 fica localizada no bairro Metrópol; pode-se chegar ao local a partir do centro de Criciúma pela Rua Álvaro Catão e seguindo por 1 km até a rotatória que dá acesso a Avenida Luiz Lazzarin percorrendo aproximadamente 2,3 km chegando até a rotatória do Rio Maina, onde toma-se a direita seguindo pela Avenida dos Imigrantes, Rua Manoel João Machado e pela Rua Cinquenta e Nove por 3,7 km até o Campo de futebol do Metrópol e na primeira rua a esquerda chegando até a área onde está inserida a BMA, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Localização da BMA do tipo galeria de encosta.



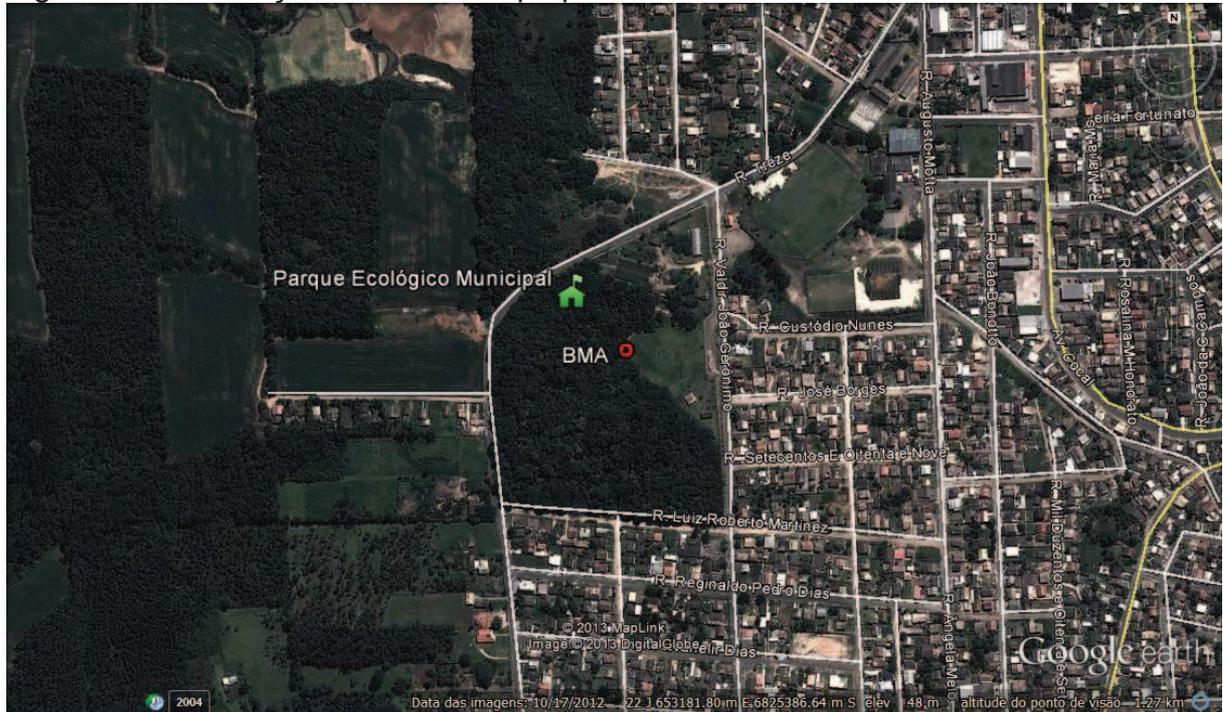
Fonte: Google Earth, 2013.

5.1.2 – Área 02

A área 02 fica localizada no bairro Mina União. Para chegar ao local saindo do centro de Criciúma, deve-se seguir pela Rua Álvaro Catão por 1 km até a rotatória, seguindo a esquerda pela Avenida Luiz Lazzarin, e SC-447 por aproximadamente 3,2 km chegando até a rotatória do Rio Maina, após, siga por mais 600 m e entre a esquerda na Rua Miguel Napoli por aproximadamente 500 m, então vire a direita na Avenida Cocal por 450 m e entre a direita para a Rua Martinho Brunelli por 140 m, após, siga a esquerda pela Rua Treze percorrendo 350 m e entre

a esquerda novamente pela Rua Valdir João Gerônimo chegando ao Parque Ecológico Municipal José Milanese, onde está inserida a Boca de Mina conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Localização da BMA do tipo plano inclinado.



Fonte: Google Earth, 2013.

6 APRESENTAÇÃO DOS PROJETOS DE FECHAMENTO DAS BOCAS DE MINA

Abaixo estão apresentados os dados obtidos de duas áreas representadas por uma boca de mina do tipo galeria de encosta e outra do tipo conhecido por plano inclinado, onde serão analisados os métodos utilizados para o fechamento e posteriormente serão feitas algumas recomendações referentes a metodologia utilizada para cada tipo de boca de mina.

6.1 ÁREA 01 – GALERIA DE ENCOSTA

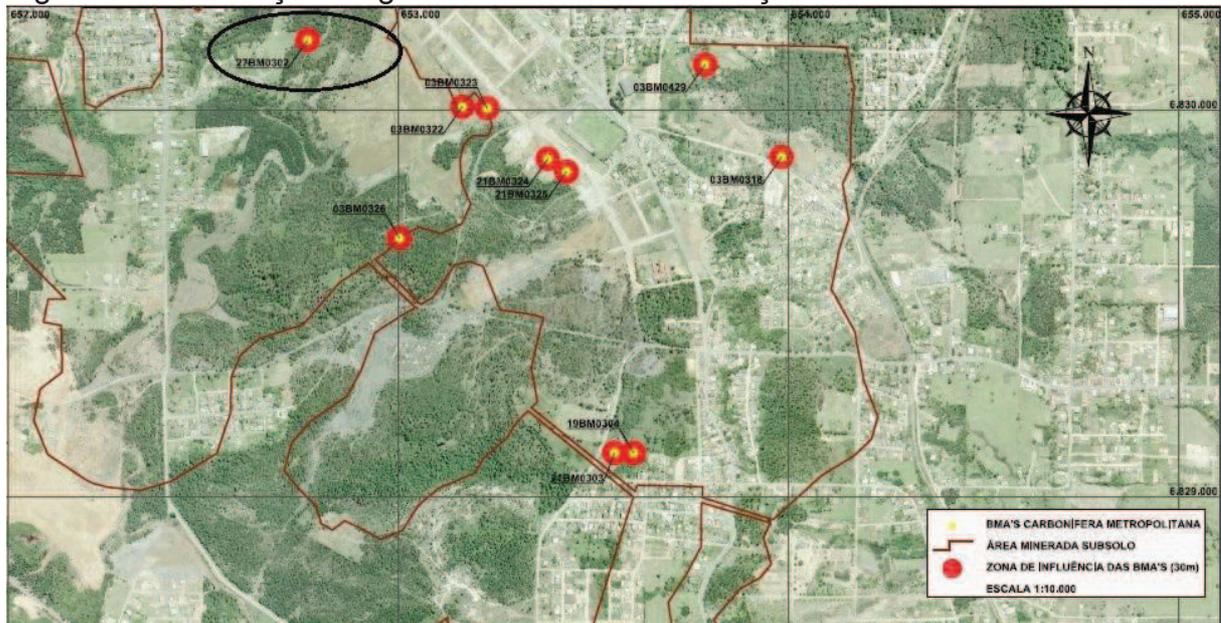
Na área 01 encontra-se uma boca de mina do tipo galeria de encosta com drenagem de água, tendo como histórico informações desencontradas, pois se trata de uma boca de mina muito antiga, porém acredita-se que esta BMA era também utilizada como drenagem de água do interior da mina para prevenir possível alagamento.

A BMA em questão encontra-se em área da microbacia do Rio Maina, contribuinte da sub-bacia do Rio Sangão, que deságua na sub-bacia do Rio Mãe Luzia, o qual por sua vez, integra a bacia hidrográfica do Rio Araranguá sendo que as drenagens a montante da BMA mostram grande quantidade de esgoto doméstico contribuindo para a degradação da vida aquática no local.

As dimensões aproximadas da BMA são 2,3 m de largura por 2,3 m de altura, onde foi projetado para o tamponamento da mesma um muro de contenção medindo 3,0 m de largura por 3,0 m de altura, este muro de contenção ficará localizado a uma distância segura com relação a entrada da galeria, e será projetado para receber uma pressão de 20 metros de coluna d'água (m.c.a.).

Abaixo segue a Figura 8 que mostra a localização da boca de mina em questão em relação as bocas do entorno e suas respectivas zonas de influência.

Figura 8 - Localização da galeria de encosta em relação as BMA's do entorno.



Fonte: (Carbonífera Metropolitana S/A, 2011) adaptado pelo autor.

6.1.1 – Projeto de fechamento

De acordo com o projeto será necessário desviar a água oriunda do interior da galeria para só então começar as obras de engenharia, assim o concreto poderá ter o tempo necessário à sua secagem.

A limpeza da BMA será feita na sua base removendo o solo contaminado com óxidos metálicos até a rocha sã, e também será realizada a limpeza das paredes e do teto para retirar todo o material que possa comprometer a ancoragem do muro de contenção de concreto armado.

Efetuada a limpeza do local será feita então a furação para realizar a ancoragem do muro de contenção com um vergalhão para posteriormente realizar a amarração do concreto.

Para a execução da parede de concreto, será necessária a construção de um barramento prévio de gabião envelopado com uma manta de PEAD, contendo um tubo de 250 mm de diâmetro para passar o efluente do interior da boca para fora do limite do barramento. Neste tubo será colocado um registro na ponta para efetuar manobras de abertura na ocorrência de novas surgências de DAM que venham a acontecer após o fechamento do mesmo. Abaixo segue a Figura 9 demonstrando a situação inicial da boca de mina a ser tamponada.

Figura 9 - Demonstrativo da boca de mina a ser tamponada.



Fonte: Autor, 2013.

A conformação topográfica é feita após a construção do muro de contenção se não houver nenhum problema referente a surgências de DAM em locais indesejados ou vazamentos no muro de contenção.

Esta conformação tem o objetivo de evitar a erosão causada pelo escoamento superficial da água em épocas de chuvas demasiadas, ressaltando que a válvula de segurança deverá ficar fora do talude para serem realizadas possíveis manobras de fechamento ou abertura do registro.

6.1.2 – Uso Futuro

O uso futuro desta boca de mina se dá basicamente pela preservação do local, pois ela está situada em uma área de preservação permanente (APP). Esta área será incorporada naturalmente à mata ciliar, já existente no entorno da boca de mina.

6.1.3 – Plano de monitoramento

O monitoramento dos recursos hídricos será realizado por um poço piezométrico que atinja o nível das galerias da mina. Também deverá ocorrer a verificação *in loco* da boca de mina em questão e das bocas de mina do entorno da área que sofreram intervenção ou não para constatar a presença de eventuais fraturas com surgência de água. Outra medida a ser tomada será quanto à verificação de eventuais drenagens e ligações de esgoto para o interior das minas.

O monitoramento servirá para o acompanhamento e análise do local onde recebeu intervenção observando possíveis rachaduras ou novas surgências de água. Este monitoramento poderá inicialmente ter uma periodicidade quinzenal durante um período mínimo de um ano, podendo ser alterado para trimestral ou semestral de acordo com o comportamento da boca de mina e do entorno, verificando novas possíveis surgências.

Se ocorrer novas surgências ocasionadas pelo fechamento, estas deverão ser também tamponadas e, em última instância, a água de surgência deverá ser tratada.

O tratamento passivo é o mais indicado nestes casos, pois tem o melhor custo benefício. A remoção dos metais pesados é eficaz sendo que o principal agravante deste processo é a utilização de grandes áreas para a construção das bacias (MATTHIES; APLIN; JARVIS, 2010).

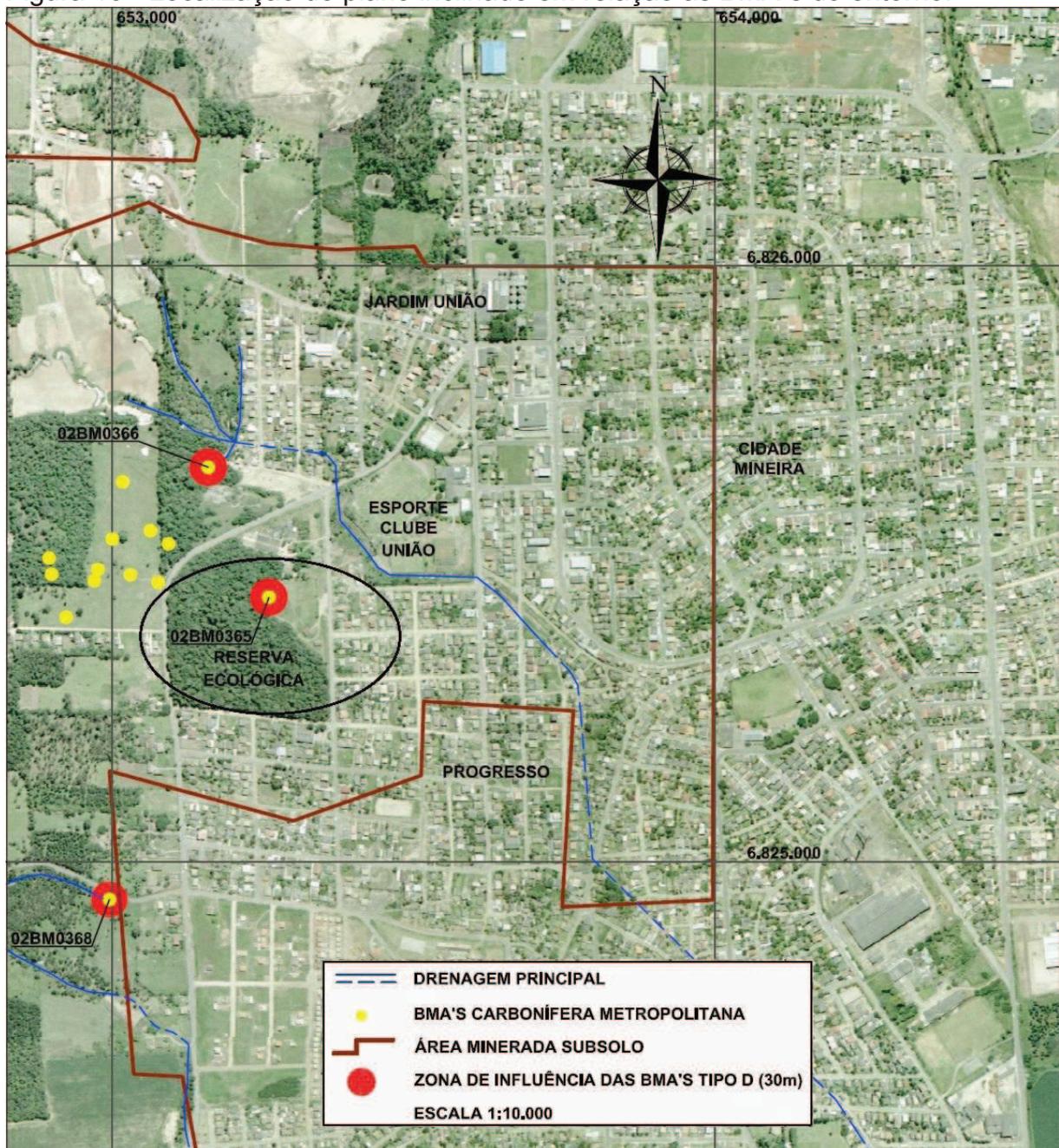
6.2 ÁREA 02 – PLANO INCLINADO

Na área 02 contamos com uma Boca de mina utilizada para a extração de carvão na década de 60 por uma carbonífera da região, esta boca de mina foi

abandonada pela exaustão de suas reservas. Hoje o local onde está inserida a boca de mina é considerado um Parque Ecológico Municipal.

Este Plano Inclinado que apresenta saída de água pluvial nos períodos de chuvas intensas, a contribuição de outro plano inclinado a montante que, pelo excesso de água vem desaguar no plano em questão. Esta alimentação de água ocorre pelo subsolo já que ambos fazem parte do mesmo complexo mineiro. A Figura 10 mostra os planos inclinados do mesmo complexo mineiro.

Figura 10 - Localização do plano inclinado em relação as BMA's do entorno.



Fonte: (Carbonífera Metropolitana S/A, 2011) adaptado pelo autor.

O plano inclinado em questão está localizado dentro do parque ecológico, onde se criou um lago dentro do mesmo, o nível de água varia da cota 34,5 m à cota de 36,25 m, essa variação se dá pela precipitação de chuvas, onde a água acaba entrando em outras bocas de mina da região e variando o nível de água.

A boca de mina citada já está em fase final de recuperação, já foram realizadas as atividades referentes ao isolamento da drenagem superficial, e também já foram realizadas as obras de fechamento da galeria e conformação topográfica. A área que abrange o plano inclinado também já foi cercada e revegetada, restando somente a identificação da mesma, conforme pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Plano inclinado em fase final de recuperação.



Fonte: Autor, 2013.

6.2.1 – Projeto de fechamento

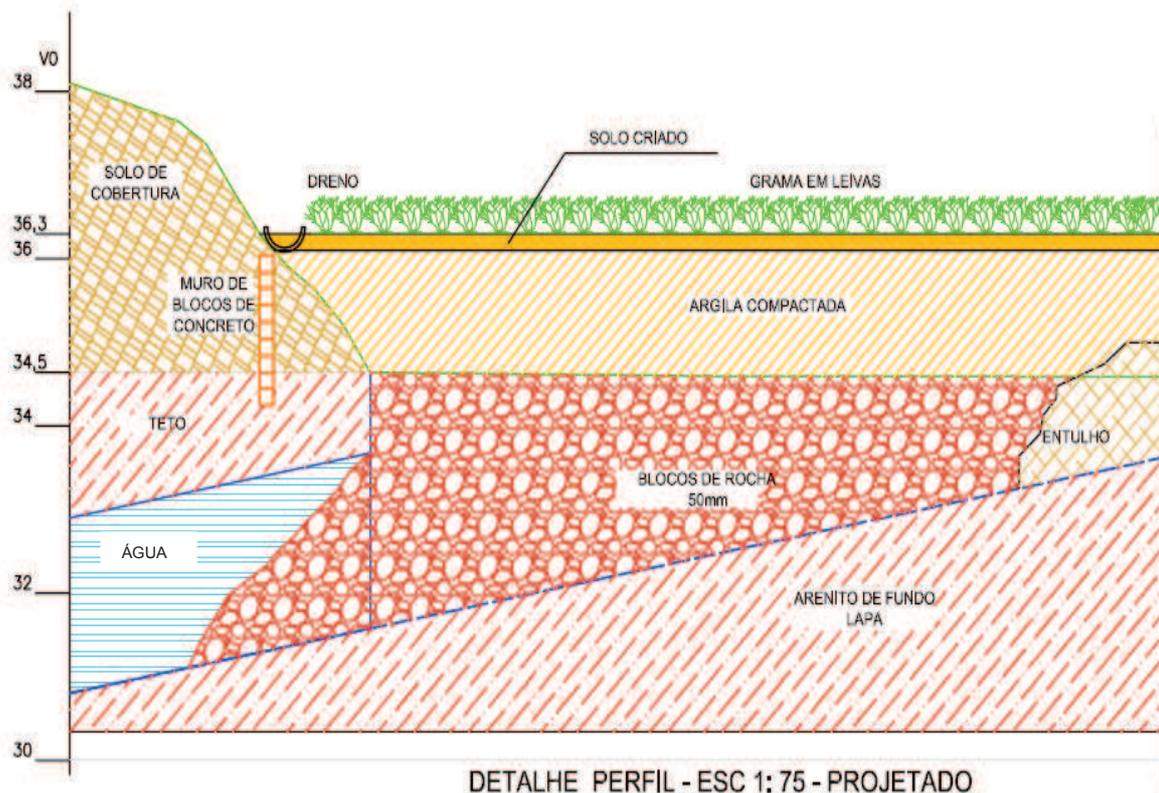
O fechamento deste tipo de boca de mina é relativamente simples, sendo que primeiramente foi feita a limpeza do local, retirando uma antiga cerca existente e

também realizada a retirada dos entulhos e restos de poda de árvores que foram depositadas dentro do plano inclinado.

Com a limpeza concluída, se deu início a implantação do acesso para o maquinário pesado e os caminhões; o acesso compreende da entrada do parque até a entrada do plano inclinado. O aterro com o macadame rochoso de dimensão superior a 50 mm se dá até a cota 34,5 m. Após a conclusão do aterro, construiu-se um muro de arrimo em bloco de concreto maciço dentro de uma vala escavada à cota de 34,5 m, sendo a altura do muro de 1,5 m atingindo a cota 36 m. Após a construção do muro, ele novamente foi preenchido com argila nos espaços que ficaram vazios e a área foi compactada para obter uma baixa taxa de infiltração.

Depois de concluída esta etapa do fechamento, se deu início ao enchimento com material argiloso sobre a camada de macadame, sendo aterrada até a cota 36 m com espessura de cobertura de 1,5 m de material argiloso compactado, complementado com 30 cm de solo construído e posteriormente coberto com vegetação do tipo gramínea em leivas. Abaixo podemos observar o croqui do projeto de fechamento para um melhor entendimento conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 - Demonstrativo do projeto de fechamento do plano inclinado.



Fonte: (Carbonífera Metropolitana S/A, 2011) adaptado pelo autor.

Com a etapa de fechamento e conformação topográfica concluída, a área foi cercada e também se realizou a limpeza dos resíduos que sobraram das atividades realizadas, e o acesso ao plano também foi revitalizado.

A BMA deverá ser identificada com uma placa contendo informações sobre a mina, sobre o órgão fiscalizador, e a reabilitação da área. Também deve ser instalado um marco topográfico para identificação do local do plano inclinado.

6.2.2 – Uso futuro

O seu uso futuro indica que a área não pode ser utilizada para fins antrópicos, pois está inserida em um Parque Ecológico Municipal podendo oferecer risco de subsidência no local da antiga boca. Esta também servirá para fins educacionais na área de meio ambiente.

6.2.3 – Plano de monitoramento

O monitoramento do plano inclinado servirá para o acompanhamento e análise do local onde recebeu intervenção observando possíveis rachaduras ou subsidência no local da antiga boca do plano inclinado. Este monitoramento poderá inicialmente ter uma periodicidade quinzenal durante um período mínimo de um ano, podendo ser alterado para trimestral ou semestral de acordo com o comportamento da boca de mina e do entorno.

Este monitoramento se dá pela verificação *in loco* do local que sofreu intervenção, observando alguns aspectos como a análise geotécnica da boca de mina e de seu entorno, a verificação da variação do nível topográfico final da obra, um teste de infiltração conforme NBR 14.545 após o sexto mês de implantação, uma análise quanto a surgência de água, a variação do nível piezométrico, e análise do crescimento e manutenção da vegetação.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a análise do fechamento dos dois tipos de bocas de mina e a maneira com que foram projetados e realizados são satisfatórios, porém, segue abaixo algumas recomendações para a melhoria destas metodologias, resultando na diminuição dos impactos ambientais que poderão ser causados.

7.1 ÁREA 01 – GALERIA DE ENCOSTA

O fechamento da galeria proposto para este tipo de boca de mina é considerado adequado, desde que siga todas as recomendações estabelecidas, no que se refere a limpeza do local e ancoragem do barramento de concreto.

Porém deve ser ressaltada a distância em que será colocado o barramento de concreto, este deverá ser instalado a uma distância mínima segura a partir da entrada da galeria, sendo que o ideal seria a instalação no encontro da galeria principal com a sua transversal, pois esta medida impediria possíveis vazamentos, já que as condições do piso, parede e teto da galeria não apresentam segurança devido a problemas de alteração na rocha, bem como fraturamento provocado pela detonação quando da abertura da galeria. No caso em questão, poderá ocorrer vazamento de água especialmente pelo teto da galeria.

Também deverá haver uma melhor caracterização do local, sendo que a geologia da boca de mina a ser recuperada é representada por um arenito médio amarelado, típico da Formação Rio Bonito contendo dois sistemas de fraturamentos contribuindo para a diminuição da resistência do maciço e, assim, facilitando a circulação de água através das fraturas. Portanto, antes da elaboração dos trabalhos de construção da cortina de concreto, o trecho da galeria deve ser recuperado através da limpeza do piso, das paredes, e desgalhamento e escoramento do teto, como medida de segurança para execução das outras etapas de trabalho até a finalização do fechamento.

Com a conclusão do barramento, é recomendado que se espere por um período de um ano para a verificação de possíveis vazamentos ou problemas estruturais como rachaduras ou deformações, para só depois realizar a conformação topográfica.

Se ocorrer algum tipo de vazamento de drenagem ácida de mina, deve-se abrir o registro para que esvazie a galeria e após a secagem realizar a injeção de uma resina expansiva nas fraturas. Esta resina deverá resistir a pressão exercida pela água, também devemos tomar devido cuidado para utilizar o tipo de resina ideal para que a expansão da mesma não comprometa o maciço rochoso agravando ainda mais o problema, esta solução servirá para evitar possíveis contaminações dos recursos hídricos.

Finalizando a operação, a galeria deve ser tamponada com material argiloso seguido da conformação topográfica e reposição de vegetação no sentido de proteção da boca de mina de possíveis processos erosivos causados pelo escoamento superficial de águas pluviais que venham comprometer o trabalho final de recuperação da Boca de Mina. É importante ressaltar que a válvula de segurança deverá ficar fora do talude para serem realizadas possíveis manobras de fechamento ou abertura do registro.

Até a conformação topográfica deve-se sinalizar o local e efetuar o isolamento da boca com uma parede de preferência, para evitar acidentes com pessoas e animais que possam vir a entrar no local.

O plano de monitoramento foi proposto de forma a garantir a prévia constatação de qualquer mudança em relação ao comportamento do solo no local e a variação do nível de água dentro da galeria. Porém deve-se monitorar também a vazão da drenagem ácida de mina num período mínimo de um ano, em intervalos semanais, e relacionar com a precipitação das chuvas para determinar se o complexo minerário ao qual está ligada a boca de mina recebe contribuição das chuvas ou sua vazão está relacionada apenas a água subterrânea. O ideal neste caso seria a instalação de um Pluviômetro no local ou no entorno para medir a quantidade de chuva exata que caiu no local.

Se o fechamento da boca de mina não atender os resultados esperados, e não havendo a possibilidade de contenção da drenagem ácida de mina, deve-se então pensar utilizar um tratamento passivo da drenagem ácida de mina, pois este tipo de tratamento se torna mais viável para estes casos, ou então realizar uma parceria entre as empresas que estão com o mesmo problema para canalizar a surgência de água de suas bocas de mina e leva-las para uma mesma estação de tratamento de efluentes, esta parceria seria feita nas bocas de mina que se encontram em uma mesma micro-bacia.

7.2 ÁREA 02 – PLANO INCLINADO

O plano inclinado teve seu fechamento concluído seguindo o projeto técnico, que constou de aterro do plano com material rochoso de granulometria grosseira, e finalizada com recobrimento de material argiloso e cobertura vegetal com gramínea, destacando o grande volume de movimentação de material de empréstimo necessário para o seu fechamento.

O plano de monitoramento deverá ser feito de forma sistemática, na busca de dados sobre a qualidade da água subterrânea com a instalação de piezômetros profundos para podermos analisar a variação da qualidade da água no subsolo. Como o plano inclinado em questão sofria intervenção direta no nível de água pela razão de estar conectado ao mesmo complexo minerário de outro plano a montante, onde recebia contribuição de esgoto a céu aberto por meio de uma drenagem superficial, e a contribuição da precipitação das chuvas, podemos levar em consideração a realização de análises de água do subsolo para averiguar a eficácia do fechamento determinando se ele ainda está recebendo a contribuição de esgoto.

A compactação do plano inclinado deverá ser feita de maneira a garantir que a água não infiltre no local, pois esta água irá se contaminar quando entrar em contato com a camada de carvão, recomenda-se que o teste de infiltração seja feito na conclusão da obra e após o primeiro ano, pois poderá haver acomodação de terra no local, o teste de infiltração deverá ser feito por um técnico qualificado e seguir a NBR 14.545

Outro fator são os possíveis processos geotécnicos que poderão se instalar sobre as áreas recuperadas, esses processos poderão acarretar na movimentação de solo causada pela acomodação do aterro realizado com macadame. Este fator poderá ser monitorado com verificação *in loco* com um intervalo de quinze dias em um período mínimo de um ano, verificando fatores como rachaduras no solo, inclinações do terreno, e rebaixamento do solo.

8 CONCLUSÃO

Com a análise dos dados e com os resultados obtidos podemos dizer que o fechamento das bocas de mina abandonadas com saída de água são os mais difíceis de serem realizados, sendo que estes casos se tornam um desafio para as empresas e comunidade científica que buscam na recuperação das áreas degradadas pela mineração de carvão a melhor condição ambiental.

Os cuidados com a segurança dos colaboradores também deve ser levado em consideração, no caso das galerias de encosta eles estão sujeitos a desabamentos que podem ocasionar sérios problemas à saúde ou até ao óbito do trabalhador, então ressaltamos a importância do devido escoramento do teto da galeria e da análise de suas paredes.

As bocas de mina com surgência de água devem ser analisadas previamente no que diz respeito a sua geologia e hidrogeologia, de modo que estas tem um grande potencial para a ocorrência de vazamentos, e devem ser tomados os devidos cuidados referentes ao ponto de construção do barramento de concreto.

A limpeza das paredes e o desvio do fluxo de água também são essenciais para a construção do barramento de concreto, que deve ter seu tempo de secagem e acomodação antes do fechamento do registro, estes cuidados evitam a infiltração de água nas bordas da estrutura de concreto. Outro fator é o dimensionamento do barramento, onde o mesmo deve ser calculado levando em consideração a pressão exercida pela água após o enchimento do complexo minerário.

Outro aspecto importante está nos investimentos em novas tecnologias para viabilizar o fechamento das bocas de mina, bem como, criar condições que permitam a coleta e o tratamento da água proveniente destas bocas de mina, caso o fechamento não tenha sucesso.

Também deve ser ressaltada a possibilidade de as empresas realizarem consórcios para o tratamento da água oriunda das Bocas de Mina que estejam inseridas na mesma microbacia hidrográfica, viabilizando assim o seu tratamento e evitando a instalação de um maior número de estações de tratamento, bem como reduzir custos para cada empresa.

O fechamento das bocas de mina (galeria de encosta) e plano inclinado com surgência de água, certamente trarão benefícios ambientais com a diminuição

da contaminação dos recursos hídricos pela drenagem ácida de mina, que é o principal objetivo a ser atingido.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Nadja Zim. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: degradação dos Recursos Naturais. **Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 5, n. 2, p.35-50, jul. 1999. Semestral.

ASSOCIAÇÃO BENEFICENTE DA INDÚSTRIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA - SATC. **Planejamento para recuperação integrada de bocas de minas abandonadas na região carbonífera de Santa Catarina**. Criciúma: SATC, 2010, 5 f. Disponível em:

<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=2&ved=0CDUQFjAB&url=http%3A%2F%2Fxa.yimg.com%2Fkq%2Fgroups%2F15426872%2F2045608396%2Fname%2FMinuta%2BPRAD%2Bm%25C3%25ADnimo%2BBMA.docx&ei=HipLUpDKGo6C9QTeg4DwDA&usg=AFQjCNHqCW_Yw2aouksegyT7ou v95H0_wA&sig2=YQWiwseWu8MvaSLDPRQ5_Q>. Acesso em: 06 jul. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545**: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro, 2000. 12p

BELOLLI, Mário; QUADROS, Joice; GUIDI, Ayser. **A História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002. 296 p. il.

BELOLLI, Mário; QUADROS, Joice; GUIDI, Ayser. **A História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Meg, 2010. V.2, 315 p. il.

BORTOT, Adhyles. **O Cadastro Técnico Multifinalitário na Avaliação de Impactos e na Gestão Ambiental**. Criciúma: Ed. do Autor, 2002. 193 p.

BRASIL. Ministério Público Federal. Gta - Grupo Técnico de Assessoramento. Criciúma, 2013. **Critérios Técnicos de Recuperação**: Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão. Revisão 06. Disponível em:

<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=220>. Acesso em: 26 ago. 2013.

CITADINI-ZANETTE, Vanilde; BACK, Marcos; SANTOS, Robson Dos. Experiências em projetos de recuperação de áreas degradadas por mineração: Reabilitação de áreas degradadas pela mineração a céu aberto no sul de Santa Catarina. In: ALBA, José Filippini. **Recuperação de áreas mineradas**. 2. ed. Brasília, Df: Embrapa Informação e Tecnologia, 2010. Cap. 4, p. 281-302.

GEOLÓGICA ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE LTDA (Criciúma). **Plano De Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração**: Cidade Mineira – Carbonífera Metropolitana. Criciúma: Geológica, 2010, 59 p. Disponível em: <<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/metropolitana/prads/1%20-%20MPF%20PRAD%20Cidade%20Mineira%20Corrigido.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2013.

GOULARTI FILHO, Alcides (Org.). **Memória e cultura do carvão em Santa Catarina**. Florianópolis: Cidade Futura, 2004. 400 p.

KOPPE, Jair Carlos; COSTA, João Felipe Coimbra Leite. A lavra de carvão e o meio ambiente em Santa Catarina. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa Dos; POSSA, Mario Valente (Comp.). **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008. p. 25-35.

MATTHIES, Romy; APLIN, Andrew C.; JARVIS, Adam P.. **Performance of a passive treatment system for net-acidic coal mine drainage over five years of operation**. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710005991>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

MÜLLER, Alberto Antônio et al. **Perfil Analítico do Carvão**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1987. 140 p.

POLZ, James Alexandre. Recuperação de áreas impactadas pela mineração de carvão a céu aberto em Santa Catarina: gestão de rejeitos e revegetação. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa Dos; POSSA, Mario Valente (Comp.). **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008. p. 75-92.

SILVA, Mário Dukas da et al.. Recuperação de áreas degradadas. In: SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa Dos; POSSA, Mario Valente (Comp.). **Carvão Brasileiro: Tecnologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Cetem/mct, 2008. p. 93-106.