

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CATARINA ARMANDA VICTORIANO DOMINGOS

**QUANTIFICAÇÃO DA CARGA POLUENTE GERADA A PARTIR DA ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BAIRRO MINA 4,
CRICIÚMA, SC**

CRICIÚMA

2011

CATARINA ARMANDA VICTORIANO DOMINGOS

**QUANTIFICAÇÃO DA CARGA POLUENTE GERADA A PARTIR DA ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BAIRRO MINA 4,
CRICIÚMA, SC**

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

Orientadora: Prof. MSc. Nadja Zim
Alexandre

CRICIÚMA

2011

CATARINA ARMANDA VICTORIANO DOMINGOS

**QUANTIFICAÇÃO DA CARGA POLUENTE GERADA A PARTIR DA ÁREA
DEGRADADA PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO BAIRRO MINA 4,
CRICIÚMA, SC**

Trabalho de Conclusão de Curso, aprovado pela Banca Examinadora para a obtenção do Grau de Engenharia 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, 09 de Novembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Nadja Zim Alexandre – Mestre (UNESC)

Prof. Mário Ricardo Guadagnin – Mestre (UNESC)

Prof. Yasmine de Moura da Cunha – Mestre (UNESC)

“Dedico este trabalho a Deus porque acredito que no decorrer de toda a minha formação Ele sempre esteve do meu lado, e a minha família que mesmo distante se faz presente”.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Prof. Nadja Zim Alexandre uma orientadora excepcional, e aos demais professores da minha graduação, em especial aos professores Mário Guadagnin e Yasmine da Cunha que me dão a honra de ser avaliadores do presente TCC, ao prof. Sérgio Gallato que foi o meu supervisor de campo, ao prof. Clóvis Savi que mais do que um professor foi um pai no decorrer de toda a minha formação.

Um agradecimento muito especial vai também ao Erilson Barros que foi um dos melhores presentes que recebi ao chegar ao Brasil, mais do que um colega foi meu irmão, meu professor, foi o meu melhor amigo, e aos meus outros praticamente irmãos e companheiros de turma Antônia e Vasco, com os quais compartilhei momentos de alegria e tristeza, a minha prima amada Silvia Victoriano, as minhas companheiras de apartamento que foram a minha família no Brasil Armanda e Nídia, a minha amiga Júlia Zappeline e a sua mãe Jadna que foi minha também, a minha irmã que compartilhou comigo a tristeza de ficar longe dos meus pais, ao meu namorado sempre presente Geovani de Oliveira, a todos aqui citados e aos que não foram, mas sabem o quanto sou grata endereço os meus mais sinceros agradecimentos pelo presente trabalho e pelos momentos vividos aqui no Brasil durante a minha formação.

*"Só quando a última árvore for
derrubada, o último peixe for morto e
o último rio for poluído é que o
homem perceberá que não
pode comer dinheiro."*

(Provérbio Indígena)

RESUMO

A Mina 4 é uma área que foi minerada na década de 60 e abandonada depois de se ter tornado depósito de rejeito de beneficiamento. Este rejeito, após anos de deposição, ainda tem um grande potencial de poluição gerando uma grande quantidade de drenagem ácida de mina, contaminando o solo e o recurso hídrico do local, rio Cedro. Com vista à elaboração de um Plano de Recuperação de Área Degradada eficiente, e que atenda as reais necessidades locais, o IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais da UNESC amostrou e caracterizou o solo, a água do rio Cedro e seus afluentes. Desta forma, a amostragem e caracterização do solo foi em seis áreas dentro de um limite pré-estabelecido. O rio e seus afluentes foram amostrados em doze pontos de águas superficiais, e mais três pontos de surgência de drenagem ácida de mina (boca de mina). O foco do trabalho foi o impacto no recurso hídrico local da carga poluente gerada pelo rejeito depositado no solo no recurso hídrico local. Os resultados obtidos das análises laboratoriais, foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 de 2005, referente à classificação dos corpos hídricos e seus usos. Os resultados obtidos das surgências das bocas de minas foram comparados ao legislado pela Resolução CONAMA 430 de 2011. Em uma última etapa, foi calculada a carga de cada poluente associado aos rejeitos, e analisado sua influência sobre o rio Cedro. Com base nesses resultados, analisou-se a geração da poluição futura, caso a medidas de recuperação não forem tomadas.

Palavras-chave: Rejeito de mineração, drenagem ácida, carga poluente, recurso hídrico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aspectos e impactos ambientais da mineração e processamento mineral associados ao meio.....	17
Figura 2 - Localização da área de estudo. Mina 4. Criciúma, Santa Catarina.....	30
Figura 3 - Imagem orbital Google Earth. O polígono em vermelho corresponde à área lavrada em subsolo da Mina 4 e os polígonos em amarelo a área degradada em superfície.....	32
Figura 4 - Compartimentação da área de estudo para amostragem em rejeito. Em vermelho a área em subsolo e em amarelo o limite do pátio operacional da antiga mina.	33
Figura 5 - Obtenção da amostra de rejeito a partir de sondagem, onde: A) operação de sondagem no polígono A5 para quantificar a camada de rejeito; e B) amostra de rejeito.	34
Figura 6 - Quarteamento das amostras do rejeito no laboratório do IPAT/UNESC.	34
Figura 7 – Localização dos pontos de amostragem no rio Cedro e seus afluentes; surgências de drenagem de mina e ponto de descarte de efluente de mina em atividade (MNH01).	39
Figura 8 - Pontos de surgência de drenagem de mina identificada como BM01IPAT (A) e 08BM0391 (B).	41
Figura 9 – Diagrama de distribuição das estações de amostragem da qualidade da água na área de estudo.	44
Figura 10 - Perfil do pH e concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação dos valores mínimos para água doce classe 2 (CONAMA 357/05).	47

Figura 11 - Concentração de acidez e sulfatos (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação do padrão para sulfatos (água doce classe 2).	47
Figura 12 - Concentração de alumínio, ferro e manganês (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação do padrão para água doce classe 2 (CONAMA 357/05). Eixo y em escala logarítmica.....	48
Figura 13 - Vista geral da área de deposição de rejeito de beneficiamento (A1), a montante da estação P6 localizada no rio Cedro. Criciúma, SC.....	49
Figura 14 - Ponto 4 a montante (A) e jusante (B), respectivamente, sendo que a jusante verifica-se presença de lixo urbano.	51
Figura 15 - Vista geral do polígono de deposição de rejeito A2 e do córrego Ana Maria (estação P12), contribuinte do rio Cedro.	52
Figura 16 - Margens do rio Cedro nas proximidades da estação P9.....	54
Figura 17 - Vista do loteamento Airton Senna implantado sobre depósito de rejeito após remodelagem da área e cobertura com material siltoso. Bairro Renascer, Criciúma, SC.	56
Figura 18 - Rio Cedro nas proximidades da estação de coleta P10.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Volume e normalidade do HCl a ser utilizado para neutralização dos carbonatos após a realização do teste do fizz.....	36
Tabela 2 - Qualidade da água de acordo com classificação e tipo de uso (Resolução CONAMA 357/2005)	43
Tabela 3 - Qualidade da água nas estações amostrais na área da Mina 4, Criciúma, SC	45
Tabela 4 - Características do rejeito no polígono A1, a montante da estação de coleta de água do rio Cedro P6.....	49
Tabela 5 – Concentração e carga poluente na estação P6, localizada no rio Cedro, considerando-se vazão de 7 L/s.....	50
Tabela 6 - Qualidade da água e carga poluente das surgências de drenagem de mina e na estação P7, localizada no rio Cedro	53
Tabela 7 - Características do rejeito nos polígonos A2 a A5 contribuintes para a estação de coleta de água do rio Cedro P7	53
Tabela 8 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P7) e jusante (P9) da contribuição de afluente da margem esquerda (P8)	55
Tabela 9 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P9) e jusante (P10) da contribuição da surgência BM01IPAT	57
Tabela 10 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P109) e jusante (P11) da contribuição da surgência 08BM0391	58
Tabela 11 - Características do rejeito no polígono A6 contribuinte para a estação de coleta de água do rio Cedro P11	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Uso preponderante de água doce conforme classificação da Resolução CONAMA 357/05.....	24
Quadro 2 - Variáveis ambientais selecionadas para descrever a qualidade da água na área de estudo. Método de análise e limite detectável de cada parâmetro.....	38
Quadro 3 – Localização das estações de monitoramento de qualidade de água ...	40

LISTA DE SIGLAS E CÓDIGOS

08BM0388 - Código do ponto de surgência de drenagem de mina, conforme cadastrado pelo SIECESC no site no Ministério Público.

08BM0391 – Código do ponto de surgência de drenagem de mina, conforme cadastrado pelo SIECESC no site no Ministério Público.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACP – Ação Civil Pública

APP – Área de Preservação Permanente

BAB – Balanço Ácido- Base

BM – Boca de Mina

BM01/IPAT – Boca de Mina cadastrada pelo IPAT, por não haver cadastro no site do Ministério Público.

CERM - Center for Energy Resources Management

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

DAM – Drenagem Ácida de Mina

DIA – Diagnóstico ambiental

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

FATMA – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

GTA - Grupo Técnico de Assessoramento

JICA - Japan International Cooperation Agency

MNH – Mina Novo Horizonte

MPF – Ministério Público Federal

PA – Potencial de acidez

PN – Potencial de neutralização

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

PRAD – Projeto (Plano) de Recuperação de Área degradada

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

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

UICN - União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (IUCN ou International Union for Conservation of Nature em inglês)

WWF - World Wildlife Fund (no Brasil é traduzido por Fundo Mundial da Natureza)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA.....	25
2.1.1 Potencial de Geração de Drenagem Ácida de Mina.....	26
2.1.2 Balanço Ácido-Base	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
3.2 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE REJEITO	31
3.2.1 Potencial de Geração de Acidez	37
3.3 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	38
3.4 CÁLCULO DA CARGA POLUENTE TRANSPORTADA PELO FLUXO SUPERFICIAL.....	42
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	61
6 REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A atividade extrativista de carvão deixou um quadro de passivo ambiental no Sul de Santa Catarina ancorado principalmente na degradação do solo e na contaminação de corpos hídricos. A ausência de procedimentos legais e reguladores agravou essa situação. A mineração existe como atividade produtiva há mais de cinquenta anos, enquanto que a Legislação Ambiental começa a tomar força no início da década de 80.

A reversão ou amenização dos impactos causados ao ambiente passa pelo conhecimento do problema o que é possível após a elaboração de um diagnóstico minucioso e objetivo da real situação da área afetada. O diagnóstico deve permitir e subsidiar a posterior elaboração do Plano de Recuperação da Área Degradada.

No Brasil a Lei N° 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõe sobre a Política do Meio Ambiente, em seu artigo 4° ressalta a “(...) obrigação de recuperar e indenizar os danos causados” e imputa à empresa responsável pela degradação a obrigatoriedade da recuperação dos sítios degradados.

O passivo ambiental produzido por anos de exploração do carvão no sul catarinense sem considerar as questões ambientais, trouxe consigo a problemática relacionada às áreas onde o rejeito do beneficiamento e o estéril da mineração a céu aberto foram depositados de forma inadequada, contribuindo assim para degradação do solo e dos corpos hídricos pela potencial geração de drenagem ácida, maior problema ambiental relacionado à atividade (IPAT/UNESCO, 2006).

A falta de políticas públicas e de dispositivos legais mais severos, fez com que após a extração do minério, as áreas fossem simplesmente abandonadas pela empresa mineradora.

Com o desenvolvimento das cidades e aumento da população, as áreas abandonadas próximas às cidades e vilas, sofreram o processo de ocupação irregular por parte de população de baixa renda. Esta ocupação realizada de forma desordenada imprimiu uma nova paisagem onde é possível observar as moradias construídas sobre rejeito de beneficiamento ou estéril das minas a céu aberto.

Em muitos casos, observa-se que esta forma de ocupação do território, contribui ainda mais para a degradação ambiental da área, isso em função do lançamento de esgoto doméstico nos cursos d'água, deposição de resíduos domiciliares, ocupação de áreas de preservação, entre outros.

Neste contexto se insere a área de estudo que abrange à antiga Mina 4, localizada a leste do município de Criciúma, Santa Catarina. O estudo foi desenvolvido junto ao setor de projetos ambientais do IPAT/UNESC que foi contratado para elaborar o PRAD – Projeto de Recuperação de Área Degradada para a Mina 4.

O presente estudo traz uma contribuição ao Diagnóstico Ambiental – DIA, etapa que precede o PRAD. Neste são identificados os principais focos de poluição da antiga mina e a quantificação da carga poluente gerada na área.

Assim sendo, o presente trabalho visa quantificar a carga poluente gerada a partir da área degradada pela mineração de carvão no bairro Mina 4, Criciúma, SC. Para tal será necessário:

- Identificar as áreas de deposição de rejeito de beneficiamento de carvão;
- Amostrar e caracterizar o rejeito de beneficiamento de carvão na área de estudo;

- Calcular o potencial de geração de acidez proveniente da intemperização do rejeito;

- Amostrar e caracterizar o rio Cedro e seus afluentes na área de estudo;

- Amostrar e caracterizar as surgências provenientes de furos de sonda;

- Calcular a carga poluente gerada na área e exportada pelo fluxo superficial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Todo ser vivo interage com seu ambiente e produz resíduo. A menos que o ambiente possa absorvê-los convenientemente (autodepuração), eles poderão interferir no ciclo vital. Vivendo em comunidade, o ser humano tem desenvolvido processos que produzem grandes quantidades de subprodutos ou resíduos em forma de matéria ou energia. Estes processos têm significado econômico, político, social e sanitário; afetam a saúde do próprio homem, seu conforto e segurança, sua riqueza e seu poder. Interferir nestes processos é, na verdade, interferir na civilização, mas ignorar seus subprodutos é ignorar uma ameaça à sobrevivência (DERISIO, 2007).

Segundo o mesmo autor, a poluição ambiental é devida à presença, lançamento ou liberação nas águas, no ar ou no solo de toda e qualquer forma de matéria ou energia, com intensidade, quantidade, concentração ou características em desacordo com os padrões de qualidade ambiental estabelecidos por legislação, ocasionando assim interferência prejudicial aos usos preponderantes das águas, ar e solo. As diversas formas de poluição se interligam de modo que o controle da poluição deverá ser feito em conjunto, em outras palavras, o controle da poluição do solo, por exemplo, pode criar problemas para a qualidade das águas superficiais ou subterrâneas, se certas medidas não forem tomadas.

Sperling (2002) conceitua a poluição hídrica como a adição de substâncias ou de formas de energia que alterem a natureza de um recurso hídrico direta ou indiretamente prejudicando os usos que dele são feitos.

A poluição pode ocorrer de forma pontual e difusa. Na poluição pontual os poluentes atingem o corpo d'água de forma concentrada no espaço, temos como exemplo a emissão de esgoto de uma comunidade; enquanto que na poluição difusa, os poluentes são distribuídos ao longo da extensão de um rio (SPERLING, 2002).

Nesi (2006) descrevendo a situação ambiental na microbacia do rio Rocinha, bacia hidrográfica do Tubarão, mas que pode se estender para toda a Região Carbonífera de Santa Catarina, alerta que:

A forma como se desenvolveu o processo de mineração de carvão na microbacia, faz com que esta atividade assuma características de fonte de poluição difusa. A deposição desordenada de rejeitos sólidos e a presença de várias minas inativas ao longo da microbacia contribuem para a degradação da qualidade das águas (NESI, 2006, 28).

A Resolução CONAMA 357/2005 define carga poluidora como a quantidade de determinado poluente transportado ou lançado em um corpo de água receptor, expressa em unidade de massa por tempo.

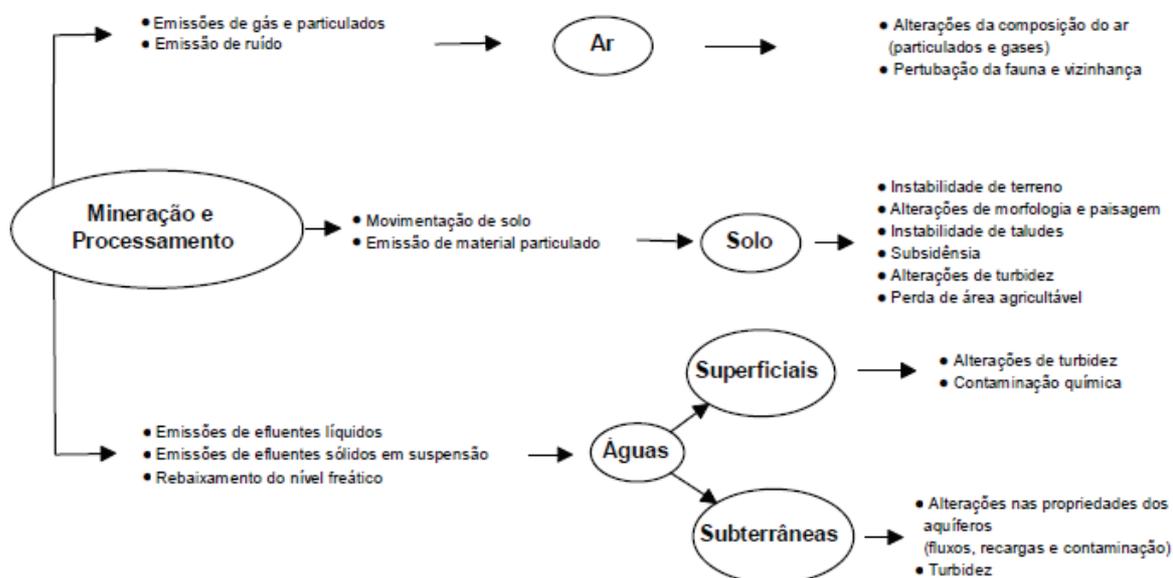
Segundo Sperling (1996) para a avaliação dos impactos da poluição e da eficácia de controle, é necessária a quantificação das cargas poluidoras afluentes ao corpo d'água. O balanço de carga poluente é uma descrição quantitativa dos indicadores ambientais que entram, saem e se acumulam em um volume de controle com limites bem definidos, considerando a lei básica de conservação da massa (SPERLING, 2002).

Alexandre (2000) considera que o balanço de carga poluente, ou nas palavras de Castilhos et al. (2010) o balanço de fluxo, é fundamental para se identificar trechos críticos de cursos d'água severamente poluídos.

A atividade de mineração é responsável por uma série de impactos ambientais, tanto na fase de extração quanto na fase de beneficiamento do minério, conforme figura 1. Alguns desses impactos apresentam-se de forma generalizada para qualquer tipo de mineração, outros dependem de fatores como o jazimento mineral, o local de ocorrência, o tipo de minério e técnicas de extração e beneficiamento mineral utilizadas, o que requer diferentes medidas de prevenção, controle e recuperação ambiental.

Esses impactos se fazem presentes, principalmente, na degradação dos recursos hídricos, através da poluição por substâncias químicas, do assoreamento, e de alterações físico-químicas, biológicas e hidráulicas (VAN HUYSSTEEN, 1998 apud Borma e Soares, (2004).

Figura 1 - Aspectos e impactos ambientais da mineração e processamento mineral associados ao meio.



Fonte: VAN HUYSTEEN, 1998 apud BORMA E SOARES, 2011.

Para Santos (2010) minerar é arte de extrair economicamente bens da crosta terrestre, utilizando técnicas adequadas a cada situação. Na óptica desse autor, estas técnicas devem considerar a minimização dos impactos ambientais, dentro dos princípios da conservação mineral, e têm como compromisso a recuperação das áreas mineradas durante a extração e após a desativação, dando a estas áreas outro uso apropriado.

Para o mesmo autor, extrair economicamente significa que todos os bens minerais implicam na existência de procedimentos e aproveitamento com lucro das riquezas minerais existentes na natureza. A utilização de técnicas adequadas ao meio ambiente implica na manutenção da qualidade ambiental do local e em menos dispêndio de recursos a serem gastos na recuperação das áreas mineradas no futuro.

A exploração do carvão no Brasil, originariamente usado como combustível em locomotivas e mais tarde para geração de energia elétrica teve início no final do século XIX, nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os dois estados respondem por 99% das reservas brasileiras conhecidas. A mineração de carvão no país é desenvolvida através de lavra a céu aberto e

subterrânea. A mineração a céu aberto é essencialmente representado pelo método de lavra em tiras (stripping mining) e suas variantes de execução (descobertura por dragline, bancadas com utilização de escavadeiras e caminhões e lavra em blocos com combinações de trator e escrapper). O segundo grupo (lavra subterrânea) é constituído pelos métodos de câmaras e pilares (room and pillar) e decaimento de teto (longwall e shortwall) (KOPPE e COSTA, 2002).

Na recuperação das áreas mineradas em subsolo o essencial é evitar que as águas ácidas contaminem os recursos hídricos. Prioritariamente, deverão ser contempladas as bocas de minas que promovam o ingresso de água, a partir da superfície, para o subsolo. Além disso, os pontos de surgência que ocorrem em bocas de minas ou furos de sonda devem ser tamponados, desde que estudos hidrogeológicos comprovem que não haverá surgência de drenagem ácida em outras bocas de minas e de que a obra de tamponamento terá resistência suficiente para suportar a pressão hidráulica decorrente da inundação da mina. Quando houver tamponamento, deve ser promovido o adequado monitoramento, de forma a minimizar riscos de rupturas acidentais do sistema de tamponamento (MPF, 2009).

Além do efeito degradador da lavra, o processo de beneficiamento de carvão é uma atividade considerada com grande potencial poluidor da qualidade do ar, da água e do solo (SANTA CATARINA, 1982).

Outro aspecto considerado nas atividades relacionadas à mineração de carvão é que o fechamento das frentes de lavra não implica na eliminação das fontes poluidoras, uma vez que os rejeitos gerados continuam ativos por longo tempo. A ação do intemperismo sobre o rejeito gerado no beneficiamento de carvão provoca o aparecimento de águas e solos ácidos, com drenagens portadoras de metais, principalmente ferro, alumínio e manganês (IPAT/UNESC, 2002).

O abandono da área lavrada sem os devidos cuidados com o meio ambiente foi uma prática comum em sociedades industriais modernas (SCHIANETZ, 1999), contribuindo para a geração dos passivos ambientais. Ainda segundo este autor, o passivo ambiental no Brasil é “*resultado de muitas décadas de produção despreocupada e da eliminação de seus rejeitos*”.

As questões ambientais na mineração brasileira estão regulamentadas pelo Decreto nº 97.632, de 10.04.1989, onde se destaca em seu artigo 1º que “os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada” (BRASIL, 1989).

Para evitar o aumento do passivo ambiental da mineração, ainda no artigo primeiro deste referido Decreto (parágrafo único), destaca:

Para os empreendimentos já existentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente, no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias, a partir da data de publicação deste Decreto, um plano de recuperação da área degradada.

Segundo Reis e Barreto (2001) apud Foschini (2011) um plano de recuperação de área degradada “é o conjunto de atividades destinadas à reabilitação de áreas degradadas, com vista a permitir sua revitalização futura, conciliada com as características locais, antigas ou novas”. Nesse sentido, o artigo 3º do Decreto 97.632/89 estabelece que “a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (BRASIL, 1989).

A recuperação de um ambiente degradado, segundo a NBR 13030 (ABNT, 1999) é o conjunto de procedimentos através dos quais é feita a recomposição da área degradada para o estabelecimento da função original do ecossistema. Ainda conforme orienta esta norma técnica, um PRAD – Projeto de Reabilitação de Área Degradada pela mineração, deve contemplar os seguintes itens: a) descrição geral do empreendimento; b) diagnóstico ambiental; c) impactos ambientais; d) aptidão e intenção de uso futuro; e) conformação topográfica e paisagística; f) programa de acompanhamento e monitoramento ambiental; g) cronograma físico e financeiro; h) referências bibliográficas; e i) equipe técnica.

Entendendo que um bom projeto de reabilitação de áreas degradadas pelas atividades de mineração de carvão depende dos dados levantados na fase de diagnóstico, os estudos realizados pelo IPAT baseiam-se, em primeiro lugar, na

identificação criteriosa das diversas características ambientais dos sítios degradados, passo fundamental para a proposição de medidas realmente eficazes de controle ambiental (IPAT/UNESCO, 2006).

O Diagnóstico Ambiental (DIA) possibilita o conhecimento do passivo ambiental a ser reabilitado, motivo pelo qual deve anteceder a elaboração dos Projetos de Reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas - PRAD (IPAT/UNESCO, 2007).

Para Sánchez (2000) o termo recuperação significa o processo genérico de melhoria das condições ambientais de uma área, seja espontâneo ou induzido pelo homem. O autor utiliza o termo reabilitação para representar um processo planejado de tornar uma área degradada apta para um uso diferente daquele anterior à atividade que causou a degradação; enquanto que restauração será o termo adotado sempre que o objetivo for reconstituir as condições topográficas e de fisionomia vegetal original.

Um conceito moderno de recuperação ambiental deve incorporar as reflexões sobre desenvolvimento sustentado. A UICN/PNUMA/WWF, (1991) (apud Bitar, 1999; Sánchez, 2000), considera sistemas degradados como insustentáveis, sendo que somente sua recuperação ou reabilitação permitiria levá-los a uma condição de sustentabilidade, sejam esses sistemas construídos, cultivados ou modificados. A principal questão é com relação ao tipo de uso que se quer dar à área reabilitada e qual a sua condição de sustentabilidade. De qualquer forma, Bitar (1999) acredita que o objetivo principal da recuperação de uma área contaminada deve ser a sua estabilidade em relação ao meio circunvizinho. Para isso deverá estar em conformidade com as condições ambientais e culturais do meio, e ainda ser produtiva, gerenciável e potencialmente sustentada.

Sánchez (2000) destaca que áreas abandonadas e principalmente aquelas que se constituem passivo ambiental, normalmente são ocupadas por população de baixa renda ou em pior situação, são utilizadas para a deposição clandestina de vários tipos de resíduos, agravando ainda mais a situação em que se encontram.

Apesar de considerada por alguns autores como atividade impulsora do crescimento econômico da região sul catarinense (FARFAN; BARBOSA FILHO;

SOUZA, 2004), é preocupante o cenário ambiental deixado como herança pela atividade de extração e beneficiamento de carvão, desde a década de 1940 até os dias atuais (ALEXANDRE E KREBS, 1995).

Com relação à ocupação de áreas degradadas pela mineração de carvão o estudo realizado pelo IPAT/UNESC (2007) destaca que em áreas de mineração em subsolo com e sem recuperação de pilares, deve-se atentar quando da recomendação do uso e ocupação do solo, pois são consideradas áreas de risco geotécnico, com restrições à urbanização, em especial quando para a implantação de loteamentos populares.

Isto se deve ao fato de serem áreas mais sujeitas aos problemas de erosão e de instabilidade de encostas, requerendo para sua ocupação maior rigorismo nas obras de urbanização. Isto implica em maiores investimentos, o que dificilmente ocorre em programas habitacionais para população de baixa renda, onde os lotes são pequenos e a infraestrutura é alternativa (IPAT/UNESC, 2007).

O mesmo estudo destaca que nas áreas onde houve a deposição de rejeitos e que se encontram urbanizadas, mesmo aquelas ocupadas de forma irregular, podem apresentar moderado risco geotécnico devido à inexistência de projetos de reabilitação ambiental, principalmente pela falta de compactação o que pode resultar em adensamento diferencial. Além disso, a falta de cobertura vegetal e drenagens superficiais e subsuperficiais ocasionam processos erosivos com o carreamento de materiais e detritos para as porções mais inferiores dos cursos d'água, contribuindo para o agravamento de enchentes e alagamentos (IPAT/UNESC, 2007).

Desde a década de 1990 a Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, inicialmente por meio dos seus núcleos de estudos e, mais tarde, com o Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT -, tem dedicado especial atenção à questão da extração de carvão e seus impactos ambientais, tendo participado ativamente de projetos em conjunto com mineradoras e ex-mineradoras de carvão. Dentre os referidos planos destaca-se, além dos estudos realizados em conjunto com a Japan International Cooperation Agency - JICA -, os trabalhos de Alexandre e Nosse, (1992); Alexandre (2000); Menezes *et. al.* , (2000); Menezes e

Santo, (2001); Menezes e Santo, (2002); Gallatto (2003); Mendes (2003); Krebs (2003); Gallato (2006); IPAT/UNESC, 2002, 2005, 2010 e 2011) entre outros.

Os problemas ambientais oriundos da mineração de carvão podem persistir por muitos anos, uma vez que, o fechamento das frentes de lavra não implica na eliminação das fontes poluidoras, já que os rejeitos gerados continuam ativos por longo tempo. Na região sul catarinense a origem desses problemas está relacionada às precárias técnicas de extração e beneficiamento do carvão utilizadas no passado, às características peculiares do minério e a não aplicação das políticas ambientais em vigor (IPAT/UNESC, 2010).

Devido à carência de planejamento, tecnologia e políticas ambientais, as carboníferas, durante muitos anos, não adotaram técnicas adequadas para a disposição dos rejeitos. À medida que as reservas eram exauridas as mineradoras se deslocavam para novos sítios de extração, deixando para trás expostas ao ambiente, pilhas de rejeitos e estéreis parcialmente ou não recuperadas e lagoas de águas ácidas formadas nas antigas cavas de exploração do carvão (MILIOLI, 2009).

A falta de políticas públicas voltadas para as questões de áreas contaminadas no País (Sánchez, 1998), tem reflexo direto na Região Carbonífera Catarinense. Alexandre (2000) relata que os terrenos utilizados no passado para deposição de resíduos piritosos, são ocupados pela população, sem que se leve em consideração a qualidade do solo, da água e do ar desses locais.

Muitas vezes essa ocupação é oficializada pela municipalidade, que recebe através de doação, a área degradada da empresa que deveria realizar os trabalhos de recuperação ou reabilitação ambiental. Após os trabalhos de nivelamento da topografia e cobertura com camadas de argila de pouca espessura, as prefeituras proporcionam o acesso à população carente, livrando a mineradora de parte do seu passivo ambiental. As prefeituras não contabilizam os gastos sociais necessários para sustentar essa situação. Entre eles os gastos com a saúde da população, advindos da precariedade das condições ambientais dessas habitações (ALEXANDRE, 2000).

Sánchez (1998) ressalta que a exemplo do passivo contábil, o termo passivo ambiental tem sido utilizado para designar o acúmulo de danos que deve ser reparado a fim de recuperar a qualidade ambiental em um determinado local.

Lanna (1996) alerta que em um ambiente excessivamente poluído, geralmente é difícil de identificar e qualificar quanto cada empreendedor polui e como isso afeta os usuários.

Diante deste quadro foi proferida a sentença do Juiz Federal da 1ª Vara Paulo Afonso Brum Vaz em 05 de Janeiro de 2000, referente à ação civil pública 93.8000533-4 de Autoria do Ministério Público Federal, condenando solidariamente as empresas carboníferas de Santa Catarina e a União a recuperarem as áreas degradadas e os recursos hídricos atingidos pela mineração do carvão no Sul de Santa Catarina (ALEXANDRE, 2000).

Desta forma, as áreas identificadas como passivos ambientais da mineração de carvão são obrigadas por lei a apresentarem os respectivos PRADs – Projeto de Recuperação de área Degradada, estando os mesmos sujeitos ao prévio licenciamento ambiental, nos termos do art. 10 da Lei 6.938/81, Resolução CONAMA 237/97 e Resolução CONSEMA 01/2006.

Para alcançar um padrão mínimo nos PRADs do carvão, o Ministério Público Federal estabeleceu uma série de critérios técnicos, chamado de PRAD - Padrão, que foi judicialmente homologado entre as empresas réas e o Ministério Público Federal.

Neste sentido, busca-se com a implantação dos projetos de reabilitação de áreas degradadas a melhoria “solidária” dos recursos hídricos, o que no entendimento de Alexandre (2000) significa ... “almejar a qualidade da água dos rios em compatibilidade com o seu enquadramento”.

No Brasil, a resolução CONAMA nº 357/05, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, classifica as águas doces interiores em cinco (05) classes de acordo com o seu uso preponderante, como mostra o Quadro 01.

Quadro 1 - Uso preponderante de água doce conforme classificação da Resolução CONAMA 357/05.

Classificação	Uso preponderante
Classe especial	Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
Classe 2	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; aquicultura e à atividade de pesca.
Classe 3	Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; pesca amadora; recreação de contato secundário; dessedentação de animais.
Classe 4	Navegação; harmonia paisagística.

Fonte: Resolução CONAMA 357 de 2005.

Em seu artigo 42 a referida resolução estabelece que “...enquanto os estados não efetivarem o enquadramento, as águas doces serão consideradas como de Classe 2”.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), através da resolução CERH 03/2007, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água de Santa Catarina, especifica e enquadra alguns cursos d’água superficiais do Estado de Santa Catarina, como classe especial, conforme classificação estabelecida pela Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA” (SANTA CATARINA, 2007).

A mesma resolução informa que dependerá do Plano Estadual de Recursos Hídricos e dos Planos de Bacias Hidrográficas, o enquadramento dos demais cursos d'água no território catarinense.

Nesi (2006) destaca que o fato de um trecho do rio ser enquadrado em determinada classe, não significa que este seja o nível de qualidade que o mesmo apresenta, mas sim aquele que deveria apresentar de acordo com os usos que se pretende dar a ele.

Alexandre (2010) lembra que não se pode confundir o enquadramento do curso d'água que é realizado em função do uso pretendido deste recurso, com a condição de uso que é o reflexo da qualidade de um corpo d'água.

A autora ressalta que o enquadramento é estabelecido pelo Estado, enquanto que a condição de uso é resultado do uso da terra na bacia e representa a realidade do rio ou trecho deste verificado através de um monitoramento (ALEXANDRE, 2000).

2.1 DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

A drenagem ácida de mina é um dos problemas ambientais mais sérios que pode ocorrer em áreas de mineração de carvão e polimetálicos sulfetados (NUNES; SOARES; ROSA; RUBLO, 2006). O termo drenagem ácida é usado para descrever a drenagem resultante da oxidação natural de minerais sulfetados que ocorrem em rochas ou resíduos expostos ao ar e à água (BELL & BULLOCK, 1996 apud ORTIZ & TEIXEIRA, 2002). Como consequência da oxidação do enxofre da pirita, ocorre geralmente a liberação de Fe^{2+} solúvel e Fe^{3+} precipitado na forma de hidróxidos.

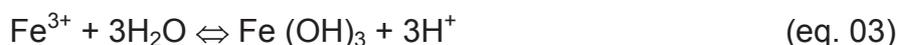
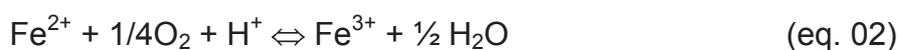
Borma & Soares (2004) definem Drenagem Ácida de Mina (DAM) como uma solução ácida gerada quando minerais sulfetados presentes em resíduos da mineração (rejeitos ou estéreis) são oxidados em presença de água. Esta solução age como um agente lixiviante dos minerais presentes nos resíduos, produzindo um percolado rico em metais dissolvidos e ácido sulfúrico.

A estequiometria proposta por Singer e Stumm (1970), sugere que as principais reações geoquímicas atuantes nos ambientes potencialmente geradores de drenagem ácida são:

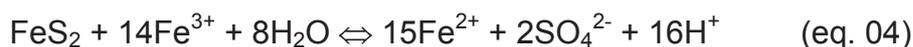
i) Oxidação de sulfeto pelo O₂ atmosférico com produção de sulfato, Fe ferroso e íons H⁺ em solução:



ii) Oxidação do Fe ferroso, gerando Fe férrico (2), o qual sofre hidrólise, produzindo hidróxido de ferro e aumento da acidez (3):



iii) Oxidação de sulfetos por Fe³⁺ com produção de acidez e redução do Ferro:



Para Alexandre e Krebs (1995) a formação de drenagem ácida esta relacionada com as condições ambientais como temperatura e regime de chuvas da região, condições de lavra, acondicionamento e granulometria do substrato (rejeito ou estéril).

2.1.1 Potencial de Geração de Drenagem Ácida de Mina

Borma e Soares (2002) ressaltam que a característica física, química, mineralógica e a identificação do potencial de ácido (DAM) de resíduos de mineração são essenciais para a gestão dos impactos ambientais de disposição.

A determinação das propriedades físicas contribui para o estabelecimento de práticas adequadas de empilhamento tais como a definição da altura e inclinação dos taludes, além de medidas para a redução da erosão pela ação da água e do vento. Permite também definir as condições de uso dos resíduos em estruturas de contenção e, através de ensaios específicos, prever a permeabilidade das pilhas de resíduos às águas pluviais e aos contaminantes dissolvidos, o que é de particular importância para o desenvolvimento de projetos envolvendo a prevenção e controle da DAM (BORMA E SOARES, 2004).

Diversos métodos são usados para avaliar e prever o potencial da drenagem ácida de mina, embora, alguns tenham só o propósito de caracterizar os minerais. Estes métodos estão divididos em duas categorias: Métodos Cinéticos e Métodos Estáticos (FARFAN; BARBOSA FILHO; SOUZA, 2004).

Segundo Farfan; Barbosa Filho; Souza, (2004) os métodos de predição do potencial da drenagem ácida de mina (DAM) vêm sendo utilizados com maior frequência e com caráter de obrigatoriedade para aprovação dos novos programas de exploração mineral. A avaliação do potencial de geração de DAM de atividades mineiras mediante a aplicação dos “Métodos Estáticos” para os rejeitos e materiais estéreis da indústria mineral e nas jazidas, são extremamente importantes e classificados como a primeira medida a ser tomada contra este possível agente poluente.

O tratamento e a prevenção da drenagem ácida de mina podem ser realizados por vários métodos, de acordo com as características intrínsecas de cada ambiente, isto é, composição do minério e das rochas encaixantes, volume de água, método de lavra e processo de beneficiamento (IPAT, 2001 apud MILIOLI, 2009).

O objetivo do Método Cinético é prever o potencial de drenagem ácida ao longo dos materiais de mineração (rejeitos e estéreis), simulando condições ambientais em função do tempo. Usualmente, os métodos cinéticos são o passo a seguir, após serem determinadas as amostras com os métodos estáticos. Especificamente os objetivos destes métodos são os seguintes (FARFAN; BARBOSA FILHO; SOUZA, 2004):

1. Fornecer a confirmação do potencial de DAM;
2. Avaliar as taxas de oxidação de enxofre e geração do ácido;
3. Determinar a relação, se existir, entre o início da DAM e o decréscimo do potencial da neutralização;
4. Determinar o efeito das bactérias;
5. Avaliar o grau de metais lixiviáveis e fornecer a indicação das concentrações de cátions/ânions, que se pode esperar nas drenagens ácidas;
6. Selecionar o teste para avaliar e gerenciar os resíduos, plantas e as respectivas estratégias de controle.

Os métodos estáticos são procedimentos laboratoriais que avaliam o equilíbrio entre o potencial de geração de ácido (oxidação de minerais sulfetados) e a capacidade de neutralização da acidez (dissolução dos carbonatos e outros minerais geradores de alcalinidade) (FARFAN; BARBOSA FILHO; SOUZA, 2004).

Como descrito por Cechella (2010), o potencial de geração de acidez de determinada área deve levar em conta a neutralização do ácido por minerais alcalinos também presentes no rejeito ou estéril do carvão.

O método estático é o procedimento laboratorial que avalia o equilíbrio entre o potencial de geração da acidez proveniente da oxidação de minerais sulfetados e a capacidade de neutralização desta acidez, gerada a partir da dissolução dos carbonatos e outros minerais geradores de alcalinidade (HEDIN, 1994, apud BEZ, 2007). A maioria dos métodos estáticos fornece ótimos resultados, e apresentam determinadas características que os tornam mais fáceis de serem aplicados, quando comparados com métodos cinéticos (SKOUSEN; ZIEMKIEWICZ, 1996).

2.1.2 Balanço Ácido-Base

Cechella (2010) destaca em seu referencial bibliográfico as diversas metodologias desenvolvidas, principalmente por especialistas norte-americanos e australianos, com o objetivo de prever a ocorrência de drenagem ácida em áreas de disposição de resíduos sulfetados, estabelecendo antecipadamente uma estratégia de controle e minimização dos impactos ao meio ambiente por atividades de mineração.

Estas metodologias compreendem a realização de caracterização física, química e mineralógica do resíduo, complementada por procedimentos específicos para determinação do potencial de geração e neutralização de ácido. Tais procedimentos, em geral, envolvem a realização de balanço ácido-base e de ensaios cinéticos (BORMA; SOARES, 2004).

Skousen; Ziemkiewicz (1996) descreve os princípios do balanço ácido-base (BAB), através do potencial de geração de drenagem ácida e de produção de

alcalinidade do substrato sendo definido por três parâmetros: pH, enxofre total e potencial de neutralização.

A análise química do substrato para identificar e quantificar sulfetos e carbonatos presentes permite calcular o potencial de geração ácida e o potencial de geração alcalina. Com base nos resultados dessas análises e na estequiometria das reações, pode ser realizado um balanço ácido – base (SKOUSEN; ZIEMKIEWICZ, 1996). Então, se o potencial de acidez for superior ao potencial de neutralização, o substrato é considerado como possível gerador de drenagem ácida (MELLO; ABRAHÃO, 1998).

Estes autores alertam que a principal limitação do balanço ácido – base a partir de análises do substrato, como técnica preditiva da qualidade da drenagem, é que o método não leva em consideração a cinética das reações. A velocidade de produção de acidez e alcalinidade não é paralela, levando a erros de precisão (MELLO & ABRAHÃO, 1998; apud BEZ, 2007).

Perry (1985, apud BEZ, 2007) destaca três pontos que devem ser considerados no balanço ácido-base: a) os valores para o potencial de acidez (PA) e o potencial de neutralização (PN), representam as quantidades máximas ou finais na análise total das rochas. A reação completa da pirita e os elementos alcalinos, provavelmente não ocorra, afetando assim a quantidade total de acidez ou alcalinidade que seria produzida; b) a existência de três espécies químicas de enxofre associadas ao carvão: enxofre pirítico, enxofre sulfático e o enxofre orgânico, sendo que o enxofre pirítico é o responsável pela produção de acidez e a análise de enxofre total ultrapassa o teor do enxofre pirítico; e c) o BAB reconhece somente as quantidades finais de acidez ou de alcalinidade que a rocha produzirá. A velocidade de reação da pirita e carbonatos não é determinada por estes métodos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende o antigo pátio operacional da Mina 4, localizada a Leste do município de Criciúma, onde se desenvolveu a lavra de carvão em subsolo e o beneficiamento de carvão. A área degradada em superfície é de aproximadamente 80 ha e abrange o bairro Renascer e parte dos bairros São João e Ana Maria. No presente estudo, considerou-se a área investigada como bairro Mina 4 ou simplesmente Mina 4 (figura 2).

Figura 2 - Localização da área de estudo. Mina 4. Criciúma, Santa Catarina.



Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

O antigo pátio operacional da mina, assim como a sua usina de beneficiamento instalaram-se nas margens do rio Cedro, afluente do rio Sangão, contribuinte da bacia hidrográfica do Araranguá (IPAT/UNESC, 2011).

A atividade mineira se instalou no final da década de 60 e desenvolveu-se até o ano de 1983 quando a empresa Nova Próspera SA encerrou suas atividades e abandonou o local. O fato de a área encontrar-se degradada e aparentemente “abandonada” propiciou a ocupação irregular com moradias de baixa renda que se instalaram no local, inclusive sobre o rejeito de carvão (IPAT/UNESC, 2007).

Algumas atividades industriais também se instalaram na área de estudo (antigo pátio operacional da mina), algumas delas com o incentivo do poder público municipal.

O presente estudo encontra-se fundamentado em dados obtidos junto ao IPAT/UNESC, levantamento em campo e resultados laboratoriais de qualidade da água e de caracterização do potencial de geração de acidez do rejeito.

3.2 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE REJEITO

O planejamento da amostragem para avaliar o potencial de geração de acidez do rejeito de beneficiamento de carvão que se encontra na área de estudo, considerou a imagem orbital de 2009 disponíveis no IPAT e imagens temporais do Google Earth. Sobre a imagem e com auxílio do setor de Cartografia do IPAT/UNESC foi inserido o polígono da área minerada em subsolo e a área do antigo pátio operacional da mina (Figura 3).

Figura 3 - Imagem orbital Google Earth. O polígono em vermelho corresponde à área lavrada em subsolo da Mina 4 e os polígonos em amarelo a área degradada em superfície.



Fonte: Google Earth, 2011.

Com base nas imagens da área, a mesma foi dividida em função da homogeneidade da paisagem, definindo-se seis (6) polígonos no antigo pátio operacional da Mina 4. Em cada polígono foi obtido um conjunto de subamostras, obtendo-se a partir destes uma amostra composta por polígono, conforme recomenda a NBR 10007 (ABNT, 2004).

A Figura 4 mostra a compartimentação da área de estudo, destacando os polígonos onde foram obtidos os conjuntos de subamostras, sendo que a análise foi realizada na amostra composta e representa a característica do rejeito da poligonal.

Figura 4 - Compartimentação da área de estudo para amostragem em rejeito. Em vermelho a área em subsolo e em amarelo o limite do pátio operacional da antiga mina.



Fonte: Google Earth, 2011.

Nas poligonais ou áreas identificadas como A1, A2, A3 e A4 as subamostras foram coletadas com auxílio de uma pá de corte manual a uma profundidade entre 5 e 30 cm da superfície em solo plano.

Conforme sugerido por Bez (2007), previamente à amostragem foi realizada a limpeza do local e remoção da camada superficial (0 a 5 cm). Com isto, são eliminados os resíduos orgânicos e restos de vegetação por ventura existentes, além do material mais exposto às intempéries dos dias que antecederam a coleta.

Nos polígonos ou áreas identificadas como A5 e A6 as subamostras foram obtidas nos furos de sonda realizados com objetivo de quantificar o rejeito (Figura 5).

Figura 5 - Obtenção da amostra de rejeito a partir de sondagem, onde: A) operação de sondagem no polígono A5 para quantificar a camada de rejeito; e B) amostra de rejeito.



Fonte: MS Engenharia, 2011.

As amostras compostas obtidas em cada polígono foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhadas ao Laboratório de Análise de Resíduos do IPAT/UNESC, onde passaram por homogeneização, trituração e quarteamento até obtenção de uma quantidade aproximada de 1 kg de material (Figura 6).

Figura 6 - Quarteamento das amostras do rejeito no laboratório do IPAT/UNESC.



Fonte: Autora, 2011.

As amostras compostas foram secas a 60°C em estufa com circulação forçada de ar. Este procedimento evita a perda de materiais por evaporação, eliminando-se apenas a umidade. Após a secagem, as amostras passaram pelo moinho de disco com objetivo de reduzir e homogeneizar a granulometria das partículas.

3.2.1 Caracterização do Rejeito

O rejeito foi caracterizado com a finalidade de se calcular o potencial de geração de acidez deste material que se encontra depositado na área de estudo. Para tanto, adotou-se a mesma metodologia utilizada por Bez (2007) e Cechella (2010).

a) Concentração de Enxofre Total

O potencial de geração de acidez do rejeito está diretamente relacionada à concentração de enxofre. A determinação do enxofre total seguiu a recomendação da NBR 8295 (ABNT, 2004), que consiste na combustão, a uma temperatura de 1350 °C, da amostra a ser analisada previamente seca e pesada. Os gases gerados na queima da amostra são conduzidos a um conjunto com três frascos lavadores de gás ou torres de absorção, contendo solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) com concentração 1% aos quais são adicionadas 10 gotas de indicador misto.

Os frascos são interligados entre si e o processo de queima leva 30 minutos. O conteúdo dos três frascos absorvedores são reunidos em um erlenmeyer e o SO₂ é titulado com NaOH com concentração 0,1N até atingir o ponto de viragem do indicador, observado pela mudança da cor vermelho-vinho para verde, isso segundo a NBR - 8295, (ABNT, 2004).

b) Determinação do potencial de neutralização

Para determinação do potencial de neutralização do rejeito, Cechella (2010) utilizou a metodologia proposta Skousen; Ziemkiewicz (1996) que consiste na realização do teste *fizz*. Basicamente o teste consiste na adição de duas gotas de HCl (25%) em 0,5g de amostra previamente seca. O objetivo da adição do ácido

é observar a presença de carbonato na amostra, a qual se verifica pelo borbulhamento ou som efervescente (*fizz*).

Dependendo da intensidade do som, ou do *fizz*, se estima a presença de maior ou menor quantidade de CaCO_3 na amostra (JICA, 1998), indicando o volume e concentração de ácido que deverá ser utilizado para neutralizar todo o carbonato presente.

A Tabela 01 apresenta os valores sugeridos pelo Farfan; Barbosa Filho; Souza, (2004), e modificados pelo Laboratório de Resíduos do IPAT em função das características dos resíduos provenientes da mineração e beneficiamento do carvão. Realizado o teste do *fizz*, adiciona-se o volume e concentração da solução de HCl conforme identificado na Tabela 01.

Tabela 1 - Volume e normalidade do HCl a ser utilizado para neutralização dos carbonatos após a realização do teste do *fizz*

Intensidade do <i>fizz</i>	Volume de HCl em mL	Normalidade do HCl
Nenhum	20	0,1
Fraco	40	0,1
Moderado	50	0,5
Forte	80	0,5

Fonte: CETEM (2004), modificado por Cechella, 2010.

Para as amostras ensaiadas foram utilizados 50 mL de ácido clorídrico com concentração 0,5N, em 1g da amostra de resíduo previamente seca. A mistura de resíduo e ácido é submetida à agitação e ao aquecimento para completar a reação de neutralização. O excesso de ácido é titulado potenciométricamente com solução de NaOH com concentração 0,5N até pH 7,0 (USEPA, 1978).

O PN ou poder de neutralização é calculado com base na equação:

$$\text{PN}(t_{\text{CaCO}_3}/1000t_{\text{resíduo}}) = \frac{(N_{\text{HCl}} \times V_{\text{HCl}} - N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}}) \times \text{Eq}_{\text{CaCO}_3} \times 100}{1000}$$

Onde:

- PN = Potencial de Neutralização expresso em t de CaCO_3 para 1000 t de resíduo.
- N_{HCl} e N_{NaOH} = Normalidade das soluções de HCl e NaOH utilizadas na titulação (respectivamente).
- V_{HCl} e V_{NaOH} = Volume em mL das soluções de HCl e NaOH utilizadas na titulação (respectivamente)
- $\text{Eq}_{\text{CaCO}_3}$ = Equivalente grama do CaCO_3

O potencial de neutralização pode resultar em um número positivo, indicando a quantidade de material neutralizante medido em equivalentes de CaCO_3 presente na amostra ensaiada, ou em um número negativo, o que significa que o material não dispõe de neutralizante em sua composição, sendo capaz apenas de gerar acidez (JICA, 1998).

c) Determinação do pH em água;

Para a avaliação do material presente na área de estudo quanto á corrosividade, a medida de pH foi realizada na pasta homogênea obtida da mistura de uma porção previamente seca da amostra composta do resíduo de cada área com água deionizada, na proporção de 10 mL de água, medida com uma pipeta, para 10 cm^3 de amostra.

A mistura foi submetida à agitação vigorosa por 5 minutos, sendo a leitura do pH realizada 30 minutos após o término da agitação, utilizando peagâmetro digital. As leituras foram realizadas em duplicata.

3.2.1 Potencial de Geração de Acidez

O potencial de geração de acidez por 1000 toneladas de resíduo dos materiais dispostos na área estudada é obtido multiplicando-se o percentual de enxofre total de cada subárea pelo valor da constante de Skousen que é de 31,25 (GALLATO, 2006 apud CEHELLA, 2010).

3.3 AMOSTRAGEM E CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O conjunto de variáveis ambientais que compõem o diagnóstico de qualidade da água foi selecionado a partir de estudos técnicos já consolidados e aprovados pelo Ministério Público Federal como principais indicadores físico-químico para avaliar a poluição por processos relacionados à mineração e beneficiamento de carvão. Estes indicadores constam no Terceiro Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais de Julho/2009, elaborado pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA) em atendimento à Procuradoria da República no Município de Criciúma - (Ação Civil Pública nº 2000.72.04.002543-9-SC).

O quadro 2 apresenta as variáveis monitoradas, o método analítico adotado com base na metodologia recomendada pelo *Standard Methods for Examination of the Water e Wastewater* (EATON, CLESCERI e GREENBERG, 2005) e o limite detectável para cada parâmetro.

Quadro 2 - Variáveis ambientais selecionadas para descrever a qualidade da água na área de estudo. Método de análise e limite detectável de cada parâmetro

Variáveis Ambientais	Unidade	Mínimo Detectável	Método de análise
pH	---	0,1	Pontenciométrico
Acidez Total	(mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	0,5	Titulométrico à pH 8,3
Condutividade	(mS.cm ⁻¹)	0,001	Conducométrico
Sulfato	(mg.L ⁻¹)	2	Turbidimétrico
Oxigênio dissolvido	(mg.L ⁻¹)	0,1	Método de Winkler
Alumínio	(mg.L ⁻¹)	0,05	EAA – Chama
Ferro Total	(mg.L ⁻¹)	0,02	EAA – Chama
Manganês	(mg.L ⁻¹)	0,01	EAA – Chama
Medida de vazão	(L.s ⁻¹)	0,1	Molinete e flutuadores

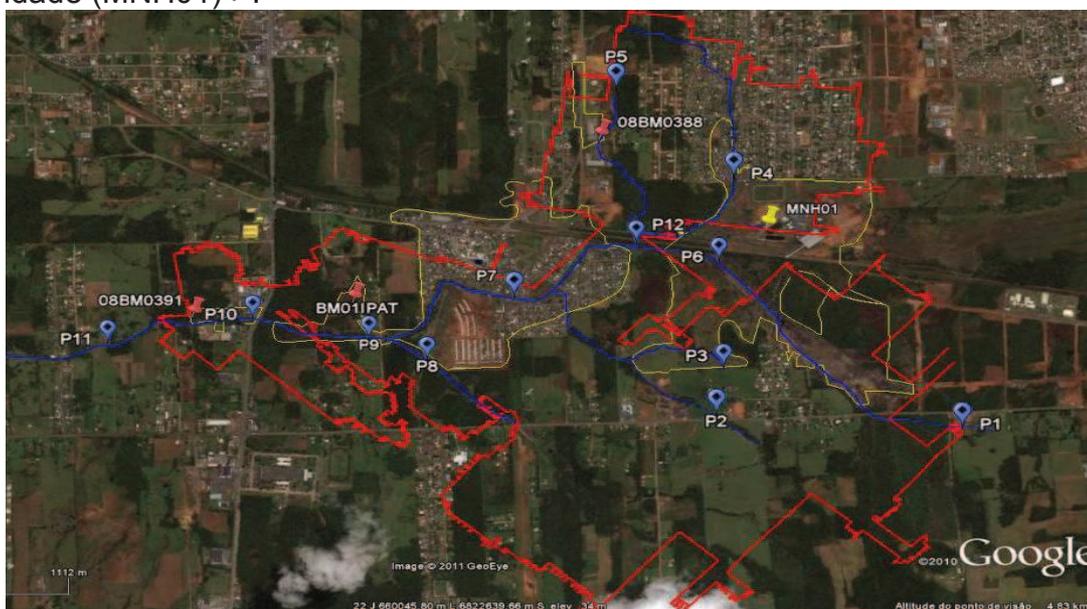
Fonte: TCC Éder Cechella apud (EATON, CLESCERI e GREENBERG, 2005).

Para a discussão e análise dos dados, os resultados obtidos em cada uma das estações monitoradas foram comparados aos instrumentos legais, em especial às Resoluções do CONAMA n^{os} 357/2005 e 430/2011; além da Lei n. 14.675/09 do Estado de Santa Catarina.

A amostragem da água seguiu a metodologia indicada no *Standard Methods for Examination of the Water e Wastewater* (EATON, CLESCERI e

GREENBERG, 2005), sendo realizada em doze (12) estações de monitoramento localizadas em rios e córregos, num ponto de descarte de efluentes de uma mina de carvão em atividade e em três (03) pontos de surgência de drenagem ácida de mina. Os pontos de monitoramento foram locados com base em visitas na área de estudo, fotointerpretação de imagens aéreas e no banco de dados do SIECESC/ACP. A Figura 7 mostra a distribuição das estações de amostragem da água na área de estudo.

Figura 7 – Localização dos pontos de amostragem no rio Cedro e seus afluentes ; surgências de drenagem de mina  e ponto de descarte de efluente de mina em atividade (MNH01) .



Fonte: Google Earth, 2011.

O quadro 3 descreve as estações de monitoramento da qualidade da água na área de estudo, as quais estão representadas na Figura 7.

Quadro 3 – Localização das estações de monitoramento de qualidade de água

Código da estação	Coordenadas UTM		Descrição da Estação
P1	0662103	822047	Rio Cedro a montante do polígono da área minerada em subsolo (Leste da área).
P2	0661176	822157	Córrego afluente do rio Cedro (margem esquerda), no bairro São João, às margens da Rod. Alexandre Beloli.
P3	0661172	822431	Córrego contribuinte da estação PONTO2. Bairro São João próximo a um remanescente florestal.
P4	0661252	823277	Afluente da margem direita do rio Cedro (córrego Ana Maria) após o loteamento Ana Maria.
P5	0660715	823598	Afluente do córrego Ana Maria a montante do 08BM0388 (Norte da área).
P6	0660793	823012	Rio Cedro a montante da confluência com o córrego Ana Maria.
P7	0660403	822739	Rio Cedro na área central do bairro Renascer.
P8	0659973	822440	Córrego afluente margem esquerda do rio Cedro.
P9	0659809	822557	Rio Cedro a jusante do bairro Renascer e após confluência com contribuinte da margem esquerda
P10	0659243	822660	Rio Cedro sob a ponte da rodovia Luiz Rosso.
P11	0658668	822533	Rio Cedro a jusante do polígono que corresponde à área da mina. Final da área de contribuição.
P12	0660960	823045	Córrego Ana Maria próximo à confluência com o rio Cedro.
MNH-1	0661276	823109	Ponto de descarte da mina Novo Horizonte (em atividade).
BM01IPAT	0659719	822719	Surgência de DAM a Oeste da área.
08BM0388	0660700	823550	Surgência de DAM localizada no Bairro Renascer
08BM0391	0659030	822671	Surgência de DAM (subsidiência) localizada no Bairro Primeira Linha.

Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

Os códigos das estações de amostragem das surgências de drenagem de mina foram obtidos junto ao Cadastro de Bocas de Mina elaborado pelo

SIECESC em atendimento à ação civil pública, exceto a surgência BM01IPAT que não consta do referido cadastro, porém foi identificada durante os trabalhos de campo da equipe do IPAT/UNESC. A Figura 8 ilustra dois pontos de surgência de drenagem de mina na área de estudo.

Figura 8 - Pontos de surgência de drenagem de mina identificada como BM01IPAT (A) e 08BM0391 (B).



Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

A medida de vazão nas estações de amostra foi realizada pela equipe de amostragem do laboratório de Águas e Efluentes do IPAT/UNESC. O método utilizado consiste na divisão da seção transversal do ponto de amostragem em uma série de verticais paralelas, onde se mede a velocidade do fluxo com auxílio de molinetes.

A descarga ou fluxo em cada ponto é obtido pelo produto da seção ou área pela velocidade do escoamento. A vazão total será obtida pelo somatório das vazões de cada segmento. A medida de vazão quando realizada concomitante à amostragem de água para análise físico-química possibilita o cálculo da carga poluente.

3.4 CÁLCULO DA CARGA POLUENTE TRANSPORTADA PELO FLUXO SUPERFICIAL

Considerando o princípio básico de uma equação de balanço de massa que estima a transferência de matéria através dos limites de um sistema, é possível calcular a quantidade de poluentes que é gerada dentro de um volume de controle (SPERLING, 1996).

A carga poluente gerada na área ou volume de controle é estimada em função da diferença entre a carga medida na saída e o somatório das cargas que alimentam o sistema. Se o valor resultar em um número negativo, significa que a área está consumindo ou armazenando poluentes. Por outro lado, valor positivo informa a carga de poluentes que está sendo produzida na área.

Em cada estação amostral de qualidade de água, o cálculo da carga poluente é obtida conforme a equação:

$$\text{Carga} \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right) = \frac{C(\text{mg/L}) \times Q(\text{L/s}) \times 86400}{1000000}$$

onde:

C – concentração do poluente em mg/L

Q – vazão do curso d'água no instante da amostragem (L/s)

Nas estações amostrais localizadas no rio Cedro, ou seja, nos pontos P1, P6, P7, P9, P10 e P11, os resultados de qualidade da água foram comparados aos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (Tabela 2).

Tabela 2 - Qualidade da água de acordo com classificação e tipo de uso (Resolução CONAMA 357/2005)

Parâmetros	Unidade	Classificação: Resolução CONAMA			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH		6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	> 6,0	> 5,0	> 4,0	> 2,0
Sulfato	mg.L ⁻¹	250	250	250	--
Alumínio	mg.L ⁻¹	0,1	0,1	0,1	--
Ferro II	mg.L ⁻¹	0,3	0,3	5,0	--
Manganês	mg.L ⁻¹	0,1	0,1	0,5	--

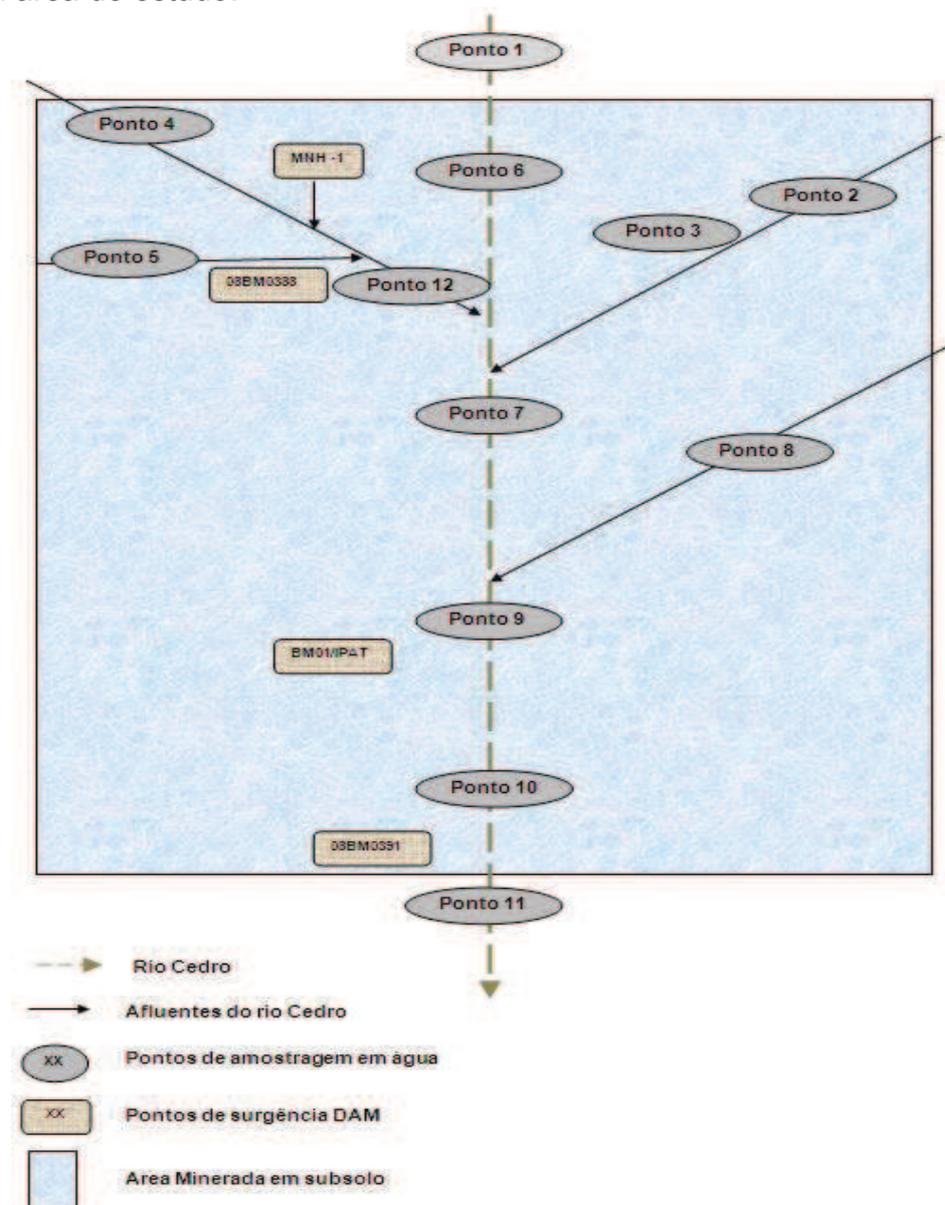
Fonte: Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

Os resultados laboratoriais nos pontos de surgência de drenagem de mina foram comparados aos padrões estabelecidos pela resolução do Conama 430/2011 que estabelece os limites a serem atendidos para o descarte de efluentes em cursos d'água.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Para facilitar a compreensão da dinâmica do sistema hídrico na área de estudo, foi confeccionada a figura 9 que ilustra a distribuição das estações de monitoramento de qualidade da água e o modo como elas se encontram inter-relacionadas, o que facilita a análise e interpretação dos dados.

Figura 9 – Diagrama de distribuição das estações de amostragem da qualidade da água na área de estudo.



Fonte: Autora, 2011.

Os dados de qualidade de água nas estações localizadas na área da Mina 4, encontram-se na tabela 03. A coleta foi realizada no dia 26 de julho de 2011.

Tabela 3 - Qualidade da água nas estações amostrais na área da Mina 4, Criciúma, SC

Estação Amostral	pH	Acidez mg.L ⁻¹	Alumínio mg.L ⁻¹	Ferro total mg.L ⁻¹	Manganês mg.L ⁻¹	Sulfatos mg.L ⁻¹	OD mg.L ⁻¹	Condutividade mS.cm ⁻¹
Ponto 1	6,1	14,6	<0,1	0,27	0,09	<10	6,7	0,104
Ponto 2	5,8	23,2	1,4	3,22	0,48	49	5,5	0,184
Ponto 3	5,0	114,5	1,7	1,58	0,48	53	1,2	0,246
Ponto 4	6,5	53,5	2,2	7,62	0,64	100	1,0	0,474
Ponto 5	6,7	7,6	0,3	1,00	0,13	<10	5,5	0,090
Ponto 6	3,0	308,7	15,8	53,6	0,98	372	7,2	0,941
Ponto 7	3,6	193,6	8,4	23,61	2,52	285	3,3	0,729
Ponto 8	5,8	41,6	0,8	3,76	1,08	62	5,2	0,214
Ponto 9	4,1	143,4	5,0	28,8	3,55	297	3,6	0,606
Ponto 10	4,2	126,4	4,8	27,47	3,60	264	6,0	0,565
Ponto 11	5,0	110,3	4,0	28,44	3,37	276	6,4	0,551
Ponto 12	6,5	37,0	0,5	6,57	0,87	414	1,0	0,798
BM01IPAT	6,5	198,4	<0,1	70,80	3,36	412	-	-
08BM0388	3,1	174,2	6	1,87	0,44	148	-	-
08BM0391	6,5	258,5	<0,1	70,96	3,27	475	-	-
MHN-1	8,8	<0,5	<0,1	2,33	1,54	782	-	-

Onde: OD – oxigênio dissolvido; CE – condutividade elétrica; na – não analisado

Fonte: Laboratório do IPAT/UNESC (2011).

Os dados de qualidade de água das estações localizadas no rio Cedro foram comparados aos instrumentos legais, especificamente com o que estabelece a Resolução do Conama n. 357/2005 em seu artigo 42 "...enquanto os estados não efetivarem o enquadramento, as águas doces serão consideradas como de Classe 2".

Em Santa Catarina apenas alguns cursos d'água sofreram o enquadramento em conformidade com o Conama 357/05, de onde conclui-se então, que os demais rios devem ser considerados como classe 2 e entre estes, o rio Cedro no trecho compreendido na área de estudo.

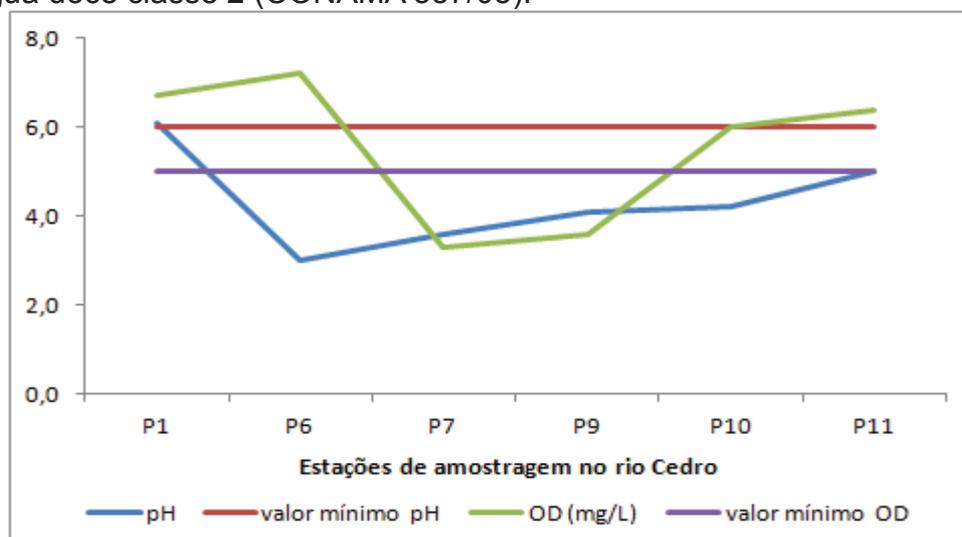
O primeiro ponto de amostragem de água (P1), localizado no rio Cedro a montante da área impactada pela antiga mina, apresenta características de uso compatíveis com água doce de classe 1.

Assim, a água do rio Cedro a montante da área impactada (P1) tem qualidade compatível com o uso para abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; proteção das comunidades aquáticas; irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película. Destaca-se que esta afirmativa é válida apenas para os indicadores de qualidade considerados no presente estudo e tem por objetivo avaliar a influência da atividade de mineração da qualidade da água.

Contraopondo-se à qualidade da água no P1, as demais estações amostrais localizadas no rio Cedro (P6, P7, P9, P10 e P11), em função do baixo valor de pH não apresentam quaisquer condições de uso previsto na Resolução 357 do CONAMA.

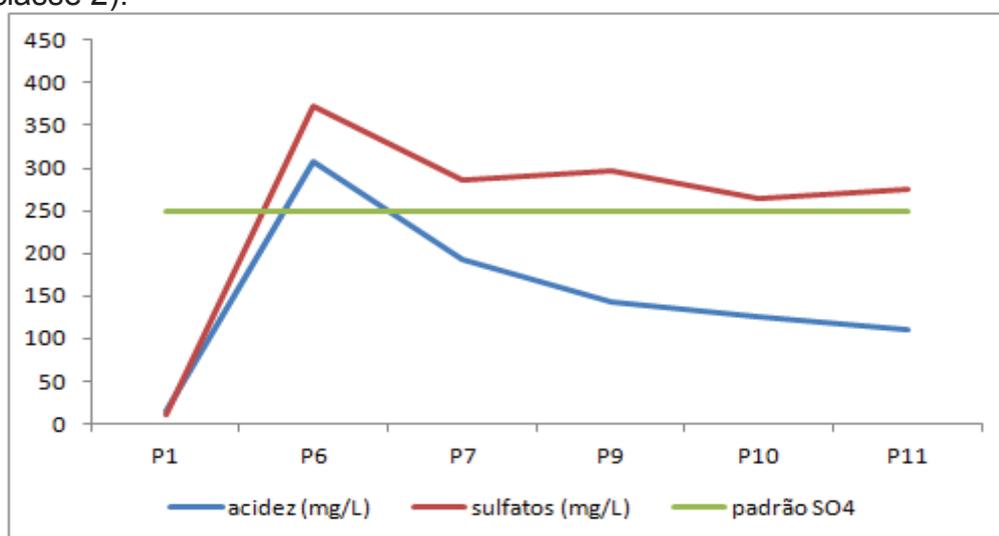
As figuras 10, 11 e 12 mostram o comportamento dos poluentes associados à mineração de carvão no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, destacando os padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA 357/05 para água doce de classe 2.

Figura 10 - Perfil do pH e concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação dos valores mínimos para água doce classe 2 (CONAMA 357/05).



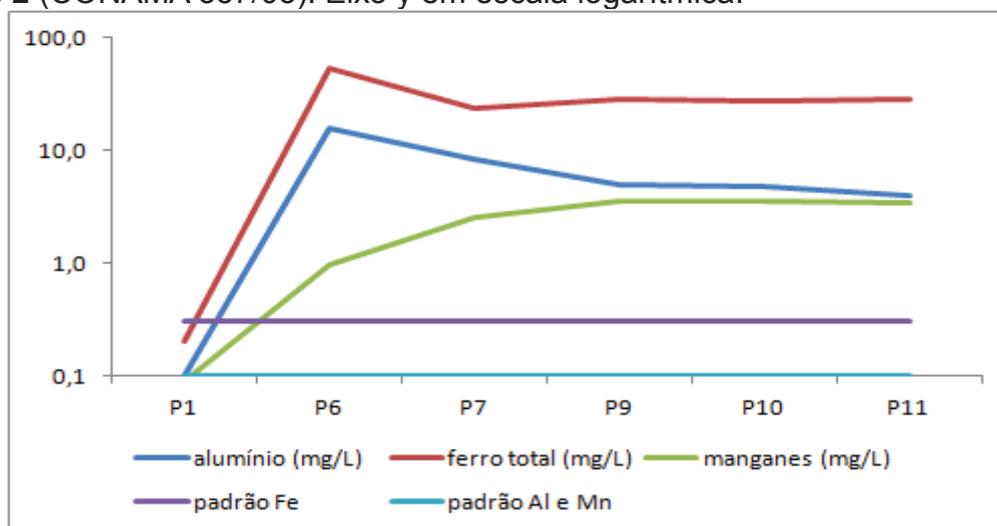
Fonte: Autora, 2011.

Figura 11 - Concentração de acidez e sulfatos (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação do padrão para sulfatos (água doce classe 2).



Fonte: Autora, 2011.

Figura 12 - Concentração de alumínio, ferro e manganês (mg/L) no trecho do rio Cedro compreendido na área de estudo, com indicação do padrão para água doce classe 2 (CONAMA 357/05). Eixo y em escala logarítmica.



Fonte: Autora, 2011.

Conforme esclarece as figuras 10, 11 e 12 quando se analisam os indicadores de poluição por atividades de mineração, a estação P6 se mostra a mais crítica com relação à qualidade da água, sendo o ponto com menor valor de pH registrado.

No trecho do rio Cedro compreendido entre o P1 e P6 há deposição de rejeito de beneficiamento em uma área de 106.127 m². Parte do material que se encontrava depositado neste polígono (A1) foi removido por empresas interessadas em rebeneficiar o rejeito para fins de recuperação da fração residual de carvão.

Conforme pode ser observado na Figura 4, que traz a distribuição das áreas de rejeito, o material disposto no polígono A1 contribui para a estação de amostragem P6 no rio Cedro. A Figura 13 mostra a deposição de rejeito a montante da estação de coleta P6 localizada no rio Cedro.

Figura 13 - Vista geral da área de deposição de rejeito de beneficiamento (A1), a montante da estação P6 localizada no rio Cedro. Criciúma, SC.



Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

Observam-se na figura 13, que ilustra a área A1 as marcas dos pneus das máquinas utilizadas para a extração de rejeito para fins de rebeneficiamento. Os dados de caracterização do rejeito depositado em A1 se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do rejeito no polígono A1, a montante da estação de coleta de água do rio Cedro P6

Parâmetro de análise	Polígono A1
pH em água (1:1)	3,2
Enxofre total (%)	1,05
Poder neutralização (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	-5,50
Potencial de acidez (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	32,81
Necessidade de neutralizante (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	38,31

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESC.

Apesar do longo período decorrido desde a deposição de rejeito em A1, a montante do P6, o material encontra-se ainda bastante reativo, contribuindo diretamente através de lixiviação para a redução do pH da água do rio Cedro.

Conforme abordado no referencial bibliográfico, os baixos valores de pH se devem a oxidação dos minerais sulfetados presentes em resíduos da mineração (rejeito), lembrando que Borma e Soares (2004) ressaltam que desta forma, a *solução* (água acidificada) age como um agente lixiviante dos minerais presentes

nos resíduos, produzindo um percolado rico em metais dissolvidos e ácido sulfúrico.

Os resultados da análise do rejeito no polígono A1 permitem concluir que cada 1000 toneladas deste material irão produzir ainda 32,8 toneladas de acidez, lembrando o que já foi dito na metodologia, que esse resultado é obtido pela multiplicação do percentual de enxofre total de cada subárea pela constante de Skousen de 31,25. Esta reação de liberação de ácido ocorrerá até que todo o enxofre presente no material seja oxidado e transportado para fora da área através do fluxo de água. É claro que neste caso, devem ser consideradas as recomendações de Perry (1985, apud Bez, 2007) quando afirmam que somente o enxofre pirítico irá reagir mais efetivamente.

A reatividade do rejeito depositado em A1 se reflete diretamente na qualidade da água amostrada na estação P6 localizada no rio Cedro. A vazão medida no instante da coleta nesta estação foi de 7 litros por segundo.

Considerando-se a vazão medida e a concentração de acidez, sulfatos, ferro total, alumínio e manganês; e com base na equação proposta por Sperling (1996) chega-se ao cálculo da carga poluente transportada pelo fluxo em P6 (Tabela 5).

Tabela 5 – Concentração e carga poluente na estação P6, localizada no rio Cedro, considerando-se vazão de 7 L/s

Parâmetro	Concentração (mg/L)	Carga poluente (kg/dia)
Acidez	308,7	186,7
Sulfatos	372,0	225,0
Ferro total	53,6	32,4
Alumínio	15,8	9,6
Manganês	0,98	0,6

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO, 2011.

Levando-se em conta que o rio Cedro a montante da área degradada, na estação P1, apresenta apenas uma concentração residual de acidez e sulfatos, resultando em 1,3 e 0,9 kg/dia de carga destes parâmetros, respectivamente, conclui-se que a diferença entre os valores obtidos entre P1 e P6 se deve basicamente ao rejeito depositado no polígono A1.

A próxima estação de amostragem da água do rio Cedro P7, localiza-se na área central do bairro Renascer. No trecho compreendido entre a estação P6 e P7, o rio Cedro recebe a contribuição do córrego Ana Maria que atravessa o bairro de mesmo nome. A contribuição total deste córrego ao rio Cedro é avaliada na estação P12. A Figura 14 mostra o córrego Ana Maria na estação de monitoramento P4, a montante da estação P12.

Figura 14 - Ponto 4 a montante (A) e jusante (B), respectivamente, sendo que a jusante verifica-se presença de lixo urbano.



Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

Identificam-se como principais focos de poluição por atividades ligadas à mineração de carvão no trecho do rio Cedro compreendido entre as estações P6 e P7: a) surgência de drenagem de mina cadastrada pelo SIECESC como 08BM0388; b) o descarte de efluente da mina Novo Horizonte (com tratamento químico, de forma a que as concentrações dos poluentes presentes no efluente se encontrem dentro do estabelecido pela Resolução referente a lançamento de efluentes); e c) as áreas de deposição de rejeito denominadas como A2, A3, A4 e A5.

A Figura 15 mostra o córrego Ana Maria a montante da estação P12 e a área de rejeito A2. No segundo plano o bairro Ana Maria e as instalações da Mina Novo Horizonte, de propriedade da Carbonífera Rio Deserto Ltda.

Figura 15 - Vista geral do polígono de deposição de rejeito A2 e do córrego Ana Maria (estação P12), contribuinte do rio Cedro.



Fonte: IPAT/UNESC, 2011.

Apesar de não ter sido avaliado neste estudo, observa-se intensa contribuição de esgoto doméstico no trecho do rio Cedro compreendido entre as estações P6 e P7. Contribuem com esgoto para o P7, a população residente do bairro Ana Maria e parte da população do bairro Renascer, isso porque a Estação de tratamento de efluente do bairro não funciona com a eficiência que deveria funcionar, e a demanda do lançamento registrado é superior a capacidade da Estação.

A baixa concentração de oxigênio dissolvido na estação P7 pode ser o reflexo do incremento de matéria orgânica em função do aporte de esgoto doméstico nesta estação.

Além disso, a falta de sistematização do sistema de coleta de resíduos domiciliares nestes bairros (LEVATI, 2009), resulta no carreamento do material depositado nas ruas e terrenos baldios para a calha do rio em época de precipitação pluviométrica mais intensa.

Os dados de qualidade da água e o cálculo da carga poluente proveniente da surgência 08BM0388, do ponto de descarte da mina Novo Horizonte e do rio Cedro na estação P7 encontram-se no tabela 6.

Tabela 6 - Qualidade da água e carga poluente das surgências de drenagem de mina e na estação P7, localizada no rio Cedro

Indicador		08BM0388	MNH-01	P7
Concentração (mg/L)	Acidez	174,2	<0,5	193,6
	Sulfatos	148,0	782	285
	Alumínio	6,0	<0,1	8,4
	Ferro total	1,9	2,3	23,6
	Manganês	0,4	1,5	2,5
Carga poluente (kg/dia)	Acidez	135,5	1,0	1371,6
	Sulfatos	115,1	1554,0	2019,2
	Alumínio	4,7	0,2	59,5
	Ferro total	1,5	4,6	167,3
	Manganês	0,3	3,1	17,9
Vazão (L/s)		9,0	23,0	82,0

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO, 2011

Ainda como fonte de degradação da qualidade da água do rio Cedro avaliada na estação P7, ocorre os polígonos delimitados como área de deposição de rejeito A2, A3, A4 e A5 (ver figura 4). O potencial de geração de acidez e demais características do rejeito depositado nestes polígonos se encontram na Tabela 7.

Tabela 7 - Características do rejeito nos polígonos A2 a A5 contribuintes para a estação de coleta de água do rio Cedro P7

<i>Parâmetro de análise</i>	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
pH em água (1:1)	4,0	3,7	3,3	3,8
Enxofre total (%)	0,40	0,51	0,45	0,59
Poder neutralização (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	-4,40	-2,60	-3,20	1,00
Potencial de acidez (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	12,50	15,94	14,06	18,44
Nec. Neutralizante (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	16,90	18,54	17,26	17,44

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO.

Os dados apresentados na tabela 7 demonstram que o rejeito que se encontra depositado nos polígonos A2, A3, A4 e A5 localizados a jusante da estação P6 e montante da estação P7, ambas localizadas no rio Cedro, são menos

agressivos que o rejeito disposto em A1. Esta situação reflete-se de certa forma, na qualidade da água na estação P7, que se encontra em condição pouco melhor do que aquela registrada em P6.

Comparando-se os dados de qualidade da água nas estações P6 e P7 da tabela 5 e da tabela 6 respectivamente, observa-se a água em P7 apresenta melhor qualidade que a água em P6, exceto no parâmetro manganês.

A Figura 12 que mostra a concentração de ferro total, alumínio e manganês ao longo do canal do rio Cedro na área de estudo, mostra que o manganês é o único parâmetro cuja concentração tende a aumentar de montante para jusante. Entre os parâmetros analisados no ponto de descarte da Mina Novo Horizonte, o manganês é o único que se encontra acima dos padrões estabelecidos pela resolução 430/2011 do CONAMA para despejo de efluente em corpos d'água, constituindo-se em uma das entradas de manganês para rio Cedro.

No trecho do rio Cedro compreendido entre as estações P7 e P9 não há rejeito de carvão exposto (Figura 16), e também não foi identificado ponto de surgência de drenagem de mina.

Figura 16 - Margens do rio Cedro nas proximidades da estação P9.



Fonte: Autora, 2011.

O rio Cedro recebe em sua margem esquerda e a montante da estação P9 a contribuição de afluente com água de melhor qualidade quando se compara com a água do rio Cedro. Os dados se encontram na tabela 8.

Tabela 8 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P7) e jusante (P9) da contribuição de afluente da margem esquerda (P8)

Indicador		P7	P8	P9
Concentração (mg/L)	Acidez	193,6	41,6	143,4
	Sulfatos	285,0	62,0	297,0
	Alumínio	8,4	0,8	5,0
	Ferro total	23,6	3,76	28,8
	Manganês	2,52	1,08	3,55
Carga poluente (kg/dia)	Acidez	1371,6	79,1	1462,0
	Sulfatos	2019,2	117,8	3028,0
	Alumínio	59,5	1,5	51,0
	Ferro total	167,3	7,1	293,6
	Manganês	17,9	2,1	36,2
Vazão (L/s)		82,0	22,0	118,0

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO, 2011.

Os dados demonstram que ocorre aumento nas concentrações de sulfatos, ferro total e manganês na estação P9 quando se compara com a qualidade da estação P7. Considerando que o afluente P8 apresenta água com melhor qualidade que o rio Cedro, é provável que o incremento destes poluentes em P9 se deva ao rejeito que se encontra disseminado na área urbanizada do bairro Renascer, embora estes não se encontrem expostos.

A Figura 17 mostra a imagem do loteamento Airton Senna, no bairro Renascer onde se observa a ocupação desordenada da área (invasão) após um trabalho de remodelamento e cobertura do rejeito com material siltoso.

Figura 17 - Vista do loteamento Airton Senna implantado sobre depósito de rejeito após remodelagem da área e cobertura com material siltoso. Bairro Renascer, Criciúma, SC.



Fonte: Autora, 2011.

Em termos de cobertura do solo, a área de drenagem do rio Cedro no trecho compreendido entre a estação P9 e P10 apresenta-se com características semelhantes ao trecho anterior (entre P7 e P9). A diferença é que a montante do P9 a equipe do IPAT/UNESC identificou uma surgência de drenagem ácida de mina cadastrada como BM01IPAT.

Os dados de qualidade da água e o cálculo da carga poluidora nas estações do rio Cedro P9 (montante) e P10 (jusante) da surgência de DAM BM01/IPAT encontram-se no tabela 9.

Tabela 9 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P9) e jusante (P10) da contribuição da surgência BM01IPAT

Indicador		P9	BM01/IPAT	P10
Concentração (mg/L)	Acidez	143,4	198,4	126,4
	Sulfatos	297,0	412,0	264,0
	Alumínio	5,0	<0,1	4,8
	Ferro total	28,8	70,80	27,5
	Manganês	3,55	3,36	3,60
Carga poluente (kg/dia)	Acidez	1462,0	120,0	1419,7
	Sulfatos	3028,0	249,2	2965,2
	Alumínio	51,0	0,1	53,9
	Ferro total	293,6	42,8	308,5
	Manganês	36,2	2,0	40,4
Vazão (L/s)		118,0	7,0	130,0

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESC, 2011.

Constata-se que a surgência identificada à montante da estação P10, localizada no rio Cedro, apresenta pouca influência na qualidade da água desta estação, o que se deve provavelmente à baixa vazão registrada na surgência.

Uma vez que o ponto de surgência apresenta baixa influência sobre as características do ponto 10, a menor concentração dos poluentes neste último em relação ao ponto 9 é provavelmente devido ao consumo por reações químicas por um lado, e pelo processo de diluição durante o trajeto da água do ponto 9 ao ponto 10.

No trecho seguinte do rio Cedro, entre as estações P10 e P11, o rio Cedro recebe a contribuição de outra surgência de DAM, cadastrada no banco de dados do SIECESC como 08BM0391 e também de uma área (denominada A6) onde ocorreu o aterro com rejeito (ver figura 4).

Os dados de qualidade da água e o cálculo da carga poluidora nas estações do rio Cedro P10 (montante) e P11 (jusante) da surgência de DAM 08BM0391 encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Qualidade da água e carga poluente no rio Cedro a montante (P10) e jusante (P11) da contribuição da surgência 08BM0391

Indicador		P10	08BM0391	P11
Concentração (mg/L)	Acidez	126,4	258,5	110,3
	Sulfatos	264,0	475,0	276,0
	Alumínio	4,8	<0,1	4,0
	Ferro total	27,5	70,96	28,44
	Manganês	3,6	3,27	3,37
Carga poluente (kg/dia)	Acidez	1419,7	893,4	1667,7
	Sulfatos	2965,2	1641,6	4173,1
	Alumínio	53,9	0,3	60,5
	Ferro total	308,5	245,2	430,0
	Manganês	40,4	11,3	51,0
Vazão (L/s)		130,0	40,0	175,0

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO, 2011.

A exemplo do que foi constatado no trecho anterior, também neste observa-se que apesar da importante contribuição da drenagem 08BM0391, tanto em termos de vazão quanto com relação à concentração acidez, sulfatos e ferro, principalmente, a qualidade da água em P10 e P11 são bastante semelhantes. Os dados que caracterizam o rejeito amostra em A6 se encontram na Tabela 11.

Tabela 11 - Características do rejeito no polígono A6 contribuinte para a estação de coleta de água do rio Cedro P11

Parâmetro de análise	Área 6
pH em água (1:1)	3,80
Enxofre total (%)	0,62
Poder neutralização (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	1,90
Potencial de acidez (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	19,38
Necessidade Neutralizante (tCaCO ₃ /1000t rejeito)	17,48

Fonte: Laboratório do IPAT/ UNESCO, 2011.

Consta-se que o rejeito depositado nesta parcela da área de estudo tem a menor concentração de enxofre, quando se comparam com as demais amostras ensaiadas. Outro ponto de destaque no material caracterizado em A6 é que este

apresentou poder de neutralização, ou seja, cada 1000 toneladas deste rejeito produzem 1,9 toneladas de alcalinidade. O balanço ácido-base ainda é favorecido para o lado de produção de acidez, porém é menos impactante para a água quando se compara aos resultados das demais áreas ou polígonos de deposição, especialmente com o A1.

Esse fato pode ser o fator que faz com que apesar da drenagem de mina, a qualidade da água em P11 seja semelhante àquela registrada em P10.

Mesmo assim, esse trecho do rio Cedro apresenta-se bastante degradado, recebendo não só a contribuição dos contaminantes relativos à atividade de mineração, mas também de outras fontes poluidoras. A Figura 18 mostra a ocupação da APP do rio Cedro nas proximidades da estação P10 por uma atividade prestadora de serviços. Observa-se também a coloração da água do rio Cedro, típica da concentração elevada de ferro e a deposição de rejeitos de beneficiamento e outros tipos de resíduos.

Figura 18 - Rio Cedro nas proximidades da estação de coleta P10.



Fonte: Autora, 2011.

Cabe ainda lembrar que a estação de monitoramento P11 mede toda a carga poluente que é exportada da área de estudo, tanto aquela gerada em função do passivo ambiental referente à Mina 4, como também daquelas provenientes de outras fontes poluentes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

As consequências no solo e no recurso hídrico, da carga poluente gerada pelas pilhas de rejeito depositadas na área de estudo, aqui denominada de Mina 4, uma área cuja mineração iniciou na década de 60, é bastante visível e uma preocupação que já deveria ser tida há muito tempo atrás. As alterações que aconteceram nesse ecossistema foram de forma tal que a área ficou incapacitada de por si só se recompor, agravado ao fato de haver ainda a contribuição da população que se instalou no local sem nenhum planejamento e construindo suas moradas sobre o rejeito.

A principal causa do problema vivenciado na área é a não prevenção da geração de drenagem ácida decorrentes da lixiviação dos depósitos de rejeitos através de métodos para disposição adequada dos rejeitos como cobertura seca (solos, resíduos não inertes ou materiais geossintéticos) cujo número de camadas, a disposição e a espessura dependerão do clima da região e dos materiais usado; cobertura úmida, tratamento químico e biológico dos efluentes.

A ocupação desordenada por parte da população de baixa renda (figura 17), que por falta de condições básicas de saneamento contribui com esgotos domésticos a céu aberto e resíduos sólidos urbanos que não têm o devido tratamento de recolhimento e deposição agrava o estado de degradação da área de estudo, e a situação piora pelo fato de ainda haver resíduos sólidos industriais e de construção civil espalhados em vários pontos da área. Nesse sentido, considera-se urgente a necessidade de o Governo intervir de forma a salvaguardar a saúde e a dignidade da população local.

Em relação às concentrações dos poluentes no rio, apesar do rio Cedro ser considerado como rio de classe 2, a avaliação da qualidade da água nas estações instaladas ao longo do seu canal na área de estudo demonstram que os pontos não apresentam qualidade de uso compatível com esse enquadramento, exceto no ponto 1, cuja qualidade da água nos parâmetros analisados são compatíveis a classe 1. O ponto 6 é o ponto com pior qualidade de água por ser o ponto em que os poluentes têm maior concentrações isso porque esse ponto é influenciado diretamente pela área 1, que possui uma grande quantidade de rejeito

e bastante reativo. Devido ao baixo valor de pH nenhum ponto analisado no rio Cedro e seus afluentes não apresentam condição nem para os usos menos nobres como os previstos na classe 4, exceptuando-se como já foi dito, o ponto 1.

O baixo valor do pH é justificado pela presença da drenagem ácida de mina que ainda é gerada pelo rejeito depositado no solo e também de três pontos de surgência da mina subterrânea que afloram na área estudada.

Neste caso, importa sublinhar que a classificação feita nesse trabalho segundo as Resoluções CONAMA 357/2005 não deve ser considerada segura, uma vez que apenas as concentrações de alguns parâmetros foram analisados, sendo que os outros apresentados pela Resolução são imprescindíveis para que se classifique seguramente as águas em classe. Assim sendo o uso aqui sugerido é um uso limitado aos parâmetros analisados.

Em relação à carga poluente gerada, verificou-se o rejeito que se encontra depositado na área 1, a montante do ponto de amostragem de água P6, é a que apresenta maior potencial poluidor, refletindo-se diretamente na qualidade da água do rio Cedro em P6, mas o ponto com maior potencial de poluição é o ponto 11, devido a sua vazão que é a mais alta entre os pontos.

O volume e o dinamismo da carga poluente gerada no local, como nos mostraram os resultados, exigem urgentemente que sejam adotadas medidas que visem reabilitar o local, tornando-o mais digno para a população e menos agressivo ao meio ambiente, começando pela retirada do rejeito que se encontra depositado na área.

Os programas governamentais devem contribuir para minimizar os danos ambientais nas áreas de exploração do carvão e as empresas carboníferas não devem deixar de realizar medidas mitigadoras de impactos ambientais, pensando não apenas no que deverá ser feito terminado a atividade, mas também em usar alternativas de extração e beneficiamento cada vez menos agressivas ao meio em que a atividade está a ser desenvolvida, isso porque o passivo ambiental acumulado ao longo de décadas como foi o que aconteceu na Mina 4 é muito grande.

6 REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, N. Z. Água: componente vital ameaçado. In.: GOULART FILHO, A.(Org.). **Memória e Cultura do Carvão em Santa Catarina**: Impactos Sociais e Ambientais. Santa Cruz do SUL: EDUNISC, 2010. p 63 - 82.

ALEXANDRE, N. Z. **Análise integrada da qualidade das águas da Bacia do Rio Araranguá (SC)**. Florianópolis: Ed. UFSC. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. 300 p.

ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. . **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. 2. Ed.Porto Alegre: CPRM, 1995. 73 p. (Recursos hídricos v. 5).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 10007: **Amostragem de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR – 8295: **Carvão mineral - Determinação do enxofre total pelo processo de combustão (Hidróxido de sódio)** - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 7p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-13030: **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Rio de Janeiro: ABNT, 1999. 5 p.

BEZ, M. L. **Priorização de áreas para reabilitação utilizando o método do balanço ácido – base (BAB)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental. Criciúma. UNESC, 2007. 67 f.

BITAR, O. Y. **Recuperação de áreas degradadas por mineração urbana: um desafio para a sustentabilidade ambiental das cidades**. In: Ciência da terra e meio ambiente – diálogos para (inter)relações no Planeta. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 1999. 201-226 p.

BORMA, L. de S.; SOARES, P. S. M. **Drenagem Ácida e Gestão de Resíduo Sólido da Mineração**. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. Capítulo 10. p. 243-266. Disponível em: <
http://www.cetem.gov.br/publicacao/extracao_de_ouro/capitulo_10.pdf> . Acesso em: 06 ago. de 2011.

BORMA, L. de S.; SOARES, P. S. M. **Drenagem Ácida e Gestão de Resíduo Sólido da Mineração**, 2002. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br/publicacao/extracao_de_ouro/capitulo_10.pdf>; acesso em: 07 março 2010.

BRASIL. Decreto federal nº 97.632/89. **Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências**. Brasília: Diário oficial da União. 12 de Abril de 1989. Disponível em: <http://folio.mp.pr.gov.br/CGI-BIN/om_isapi.dll?clientID=132009&hitsperheading=on&infobase=fund_legislacao.nfo&record={47E}&softpage=Document42>. Acesso em 02 março 2010.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Lex: Coletânea de Legislação e Jurisprudência**. 14 p. Agosto de 2007. Legislação Federal e marginalia. Disponível em: <http://www.mp.go.gov.br/nat_sucroalcooleiro/Documentos/legislacao/Geral/lic_ambiental/lic3.pdf>, acesso em: 02 de março de 2011.

CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, D. B.; CESAR, R. G., et al. **CETEM, Série Gestão e Planejamento Ambiental**. Rio de Janeiro, 2010, 103 p.

CEHELLA, É. C. **Identificação e caracterização das fontes poluidoras em área degradada pela atividade de mineração a céu aberto**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental. Criciúma. UNESC,, 2010. 84 f.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997, Dispõe sobre Licenciamento ambiental**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>>, acesso aos: 11 de Nov. de 2011.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**.- Data da legislação: 03/04/2008 - Publicada no DOU nº 53, de 18 de março de 2005, pág. 280 a 304, Livro do CONAMA – BRASIL – Ministério do Meio Ambiente.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente**-

CONAMA. Data da legislação: 13/05/2011 – Publicada no DOU. Livro do CONAMA – BRASIL – Ministério do Meio Ambiente.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA 01 de 2006, Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental pela Fundação do Meio Ambiente – FATMA e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento.** Data da legislação: 14/12/2011 – Publicada no DOU. Livro do CONSEMA – SANTA CATARINA – Ministério do Meio Ambiente.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**, 3. Ed. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2007, 192 p.

EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A.E. Standard methods: **For the examination of water e wastewater.** 21st. Edition. USA: American Public Health, 2005. 1055 p.

FARFAN, J. R. J. Z.; BARBOSA FILHO, O.; DE SOUZA, V.P; **Avaliação do Potencial de Drenagem Ácida de Rejeitos da Indústria Mineral.** Rio de Janeiro: CETEM, 2004, 58 p.

FOSCHINI, R. C. **Legislação ambiental sobre recuperação de áreas degradadas pela exploração de minérios e o uso do mecanismo da caução.** São Carlos: PPGEU/UFSCar, 2011. Disponível no site: <http://cesinha27a.wordpress.com/2011/05/14/legislacao-ambiental-sobre-recuperacao-de-areas-degradadas-pela-exploracao-de-minerios-e-o-uso-do-mecanismo-da-caucao/>, acesso em: 15 de Novembro de 2011.

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Leste, Siderópolis, Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2002, 121p. (Relatório técnico).

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental Morosini, Siderópolis, Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2006, 233p. (Relatório técnico).

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Insumos Básicos para o Plano Diretor do**

Município de Criciúma, Santa Catarina. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2007, 308 p. (Relatório técnico).

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - UNESCO – Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental das Áreas Degradadas da Ex Carbonífera Treviso, sob responsabilidade da União, Bloco 1, Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2010, 680 p. (Relatório técnico).

IPAT - Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas; UNESCO - Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Planos de Recuperação de Áreas Degradadas pela mineração do carvão, no Estado de Santa Catarina, correspondentes às áreas da ex-Treviso S.A, de responsabilidade da UNIÃO.** Bloco1. Relatório técnico. Criciúma, 2010. 913 p. (Relatório Técnico).

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. **The feasibility study on recuperation of mined-out areas in south region of Santa Catarina State, the Federative Republic of Brazil.** Japan: JICA-Mitsubishi Materials Corporation, 1998. 397 p. (Main Report).

KOPPE, J. C.; COSTA, J. F. C. L.; Mineração In: TEIXEIRA, E. C. et al. **Meio ambiente e carvão:** Impactos da exploração e utilização. Porto Alegre: FEPAM, 2002. 497 p.

LANNA, A E. **Instrumentos econômicos de gestão ambiental.** Notas de aula. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1996.

LEVATI, M. **Aplicação do indicador de salubridade ambiental (isa) para áreas urbanas.** Estudo de caso: Município de Criciúma, SC. 2009. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

MELLO, J. W. V; ABRAHÃO, W.A.P. Geoquímica da drenagem ácida. In: DIAS, L.E. ; MELLO, J. W.V.(Editor). **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa, 1998, p. 45-57.

MILIOLI, G.; DOS SANTOS, R.; ZANETTE, V. C. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina**. Curitiba: Juruá, 2009. 305 p.

MPF – Ministério Público Federal. Portal da Ação Civil Pública do Carvão: **Critérios para recuperação ou reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão – revisão**. 2009. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=47> . Acesso aos 18 de Agosto de 2011.

NESI, M. **Diagnóstico das águas superficiais da microbacia do rio Rocinha no Lauro Muller**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Ambiental. Criciúma. UNESC, 2006. 122 f.

NUNES, D. G; SOARES, A.C.; ROSA, J. J.; RUBIO, J. **Remoção de Íons Sulfato de Águas de Drenagem Ácida de Carvão por Precipitação Química**. Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental - Departamento de Engenharia de Minas – PPGEM. Universidade Federal Do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. 2006.

ORTIZ, L.; TEIXEIRA, E. C.; Influência das atividades de processamento do carvão sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. In: TEIXEIRA, Elba Calessio et al. **Meio ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FEPAM, 2002. 497 p.

SÁNCHEZ, L. E. **A desativação de empreendimentos industriais, um estudo sobre o passivo ambiental**. Tese de livre docência. Escola Politécnica da USP. São Paulo. 1998.

SÁNCHEZ, L. E. **Recuperação de Áreas Degradadas na Mineração**. Escola Politécnica da USP. São Paulo. 2000.

SANTA CATARINA. FATMA – Fundação do Meio Ambiente. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água de Santa Catarina e dá outras providências. **RESOLUÇÃO CERH Nº 003/2007**. De 16 de Dezembro de 1985. Santa Catarina. Legislação Federal e marginália.

SANTA CATARINA. FATMA - Fundação do Meio Ambiente. Programa de Conservação e Recuperação Ambiental da região sul da Santa Catarina: **Projeto B - Avaliação de Impacto Ambiental**. Florianópolis, 1982.

SANTOS, R. Mineração e o Meio ambiente, 2010. Disponível no site: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAABjkAD/minera-meio-ambiente>>, acesso: 28 de Ago. 2010.

SCHIANETZ, B. **Passivos ambientais**. Curitiba: Santa Mônica, 1999.205 p.

SINGER,P.E.; STUMM, W. Acid mine drainage: the rate determining step. Science, v. 167, 1970, p. 1121-1123.

SKOUSEN, J. G., ZIEMKIEWICZ, P. F. **Acid Mine Drainage – Control and Treatment**. Second edition. 1996. 361 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed Belo Horizonte: DESA, 2002. 243 p.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed Belo Horizonte: DESA, 1996. 243 p.

USEPA. **Microbiological Methods for Monitoring the Environment**: Water and Wastes. USEPA ORD EMSL-Cincinnati, OH. 1978.