

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**

**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**LETÍCIA POSSOLI DOS SANTOS**

**PREDIÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA EM ÁREAS IMPACTADAS PELA  
MINERAÇÃO DE CARVÃO. ESTUDO DE CASO: ÁREA SANTA AUGUSTA E  
LINHA BATISTA – CRICIÚMA/SC**

**CRICIÚMA**

**2014**

**LETÍCIA POSSOLI DOS SANTOS**

**PREDIÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA EM ÁREAS IMPACTADAS PELA  
MINERAÇÃO DE CARVÃO. ESTUDO DE CASO: ÁREA SANTA AUGUSTA E  
LINHA BATISTA – 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. Rosimeri Venâncio Redivo

**CRICIÚMA**

**2014**

**LETÍCIA POSSOLI DOS SANTOS**

**PREDIÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA EM ÁREAS IMPACTADAS PELA  
MINERAÇÃO DE CARVÃO. ESTUDO DE CASO: ÁREA SANTA AUGUSTA E  
LINHA BATISTA – CRICIÚMA/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenheira 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, 01 de dezembro de 2014.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup>. Rosimeri Venâncio Redivo – Eng. MSc. Química – (UNESC) – Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Nadja Zim Alexandre – Eng. MSc. Química – (UNESC)

Prof. Sérgio Bruchchen – Eng. MSc. Minas – (UNESC)

**Aos meus pais, pelo apoio e pelas valorosas  
contribuições para minha formação acadêmica.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me iluminar e ter me concedido força e coragem nesta caminhada.

A meu pai Ponciano dos Santos e minha mãe Maria Luiza Possoli dos Santos pelo amor, incentivo, por todos os princípios fundamentais na construção do meu caráter.

Aos meus irmãos Leonardo e Monique, aos meus cunhados, por estarem ao meu lado incondicionalmente e principalmente pela motivação.

À minha família, pelo incentivo a enfrentar possíveis dificuldades.

Ao meu namorado Luiz Claudio Cacciatori, que sempre compreendeu meus momentos de ausência, e que me ajudou a superar obstáculos.

Ao CTCL, por ter me concedido a vaga de estágio para realização deste TCC.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, por terem me apoiado durante esse trabalho, em especial a Mariane da Silva Pereira.

Aos meus colegas de faculdade com quem convivi nesses longos anos, que serão excelentes profissionais.

À minha orientadora Rosimeri Venâncio Redivo, por ter aceitado meu convite, por estar sempre disposta e paciente, e por me tranquilizar nos momentos difíceis.

Agradeço à banca examinadora de defesa desse trabalho e a todos os professores que contribuíram com a minha formação acadêmica.

À minha supervisora de campo M<sup>a</sup> Gisele Ronconi de Souza, pelos ensinamentos transmitidos, pelo tempo, compreensão e disposição.

Aos colegas de trabalho pela ajuda prestada.

Ao pessoal do laboratório da empresa Rio Deserto, pela ajuda na realização dos ensaios laboratoriais, em especial ao João Hector, Bruna, Marcos, Wagner e Hediél.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estudo.

Muito obrigada!

“Não são as espécies mais fortes que sobrevivem, nem as mais inteligentes, e sim as mais suscetíveis a mudanças”.

Charles Darwin

## RESUMO

O presente trabalho consiste em avaliar a geração de Drenagem Ácida de Mina pela disposição de rejeitos carbonosos da mineração de carvão mineral no depósito de rejeito da área Santa Augusta e no pátio operacional da área Linha Batista, permitindo o planejamento e a incorporação de medidas de controle para os manejos adequados de rejeitos e estéreis, conseguindo reduzir de maneira considerável, problemas ambientais a longo prazo, e possivelmente eliminar custos desnecessários. O trabalho consiste em diversas etapas, as quais são: reconhecimento e descrição das áreas, planejamento e coleta das amostras de rejeito, preparação das amostras, ensaios laboratoriais, compreendendo a classificação granulométrica, umidade total e higroscópica, teor de cinza, materiais voláteis, carbono e enxofre total, conforme metodologias, e para quantificação do potencial de geração de DAM o teste estático Balanço Ácido Base – BAB, os cálculos e as análises dos resultados, bem como a classificação do resíduo sólido de acordo com a NBR 10004/2004. Por meio do estudo realizado com a utilização do método estático, determinou-se que as amostras de rejeito da área Santa Augusta e da Linha Batista são potencialmente geradores de acidez, aumentando o potencial de geração de DAM.

**Palavras-chave:** Rejeito de carvão. BAB. Predição de drenagem ácida de mina. DAM.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da bacia carbonífera em relação às bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão. ....	18
Figura 2: Perfil litológico da Formação Rio Bonito.....	20
Figura 3: Métodos de alteamentos de barragens. ....	25
Figura 4: Restauração, reabilitação e recuperação.....	28
Figura 5: Principais aspectos ambientais associados à atividade de mineração e processamento mineral. ....	29
Figura 6: Fluxograma das etapas que compõem a metodologia.....	38
Figura 7: Mapa de localização da área de estudo - Santa Augusta. ....	39
Figura 8: Mapa de localização da área de estudo - Linha Batista.....	40
Figura 9: A) Britador; B) Moinho de disco; C) Quarteamento; D) Moinho de bola; E) Peneira; F) Armazenamento da amostra preparada; G) Amostras aguardando análise.....	42
Figura 10: A) Pesagem da cápsula e amostra; B) Cápsulas na estufa; C) Estufa; D) Colocação das cápsulas no dessecador. ....	44
Figura 11: A) Pesagem das amostras; B) Agitador mecânico; C) Peneiras. ....	45
Figura 12: A) Equipamento LECO modelo SC – 632; B) Início do funcionamento do equipamento; C) Queima da amostra. ....	46
Figura 13: A) Pesagem dos cadinhos; B) Colocação dos cadinhos no forno mufla; C) Aquecimento do forno mufla; D) Adição de oxigênio.....	47
Figura 14: A) Forno mufla; B) Aquecimento dos cadinhos; C) Cadinhos com coloração rubra. ....	48
Figura 15: A) Pesagem das amostras; B) Colocação de 2 gotas de HCl; C) Colocação de 20 mL de HCl; D) Adição de água destilada; E) Aquecimento; F) Titulação.....	52
Figura 16: A) Remoção da camada superficial; B) Coleta do incremento; C) Dimensões da abertura; D) Compactação da camada superficial.....	56
Figura 17: A) Abertura das trincheiras; B e C) Seleção do incremento; D e E) Coleta do incremento; F) Dimensões da abertura. ....	57
Figura 18: Localização dos pontos na área Santa Augusta. ....	59
Figura 19: Localização dos pontos na área Linha Batista. ....	60
Figura 20: Linha do Tempo da área Santa Augusta.....	66

Figura 21: Linha do Tempo da área Linha Batista.....	67
Figura 22: Localização dos pontos de monitoramento na área Santa Augusta.....	71
Figura 23: Diagrama esquemático dos pontos monitorados. ....	72
Figura 24: Gráfico do parâmetro ferro total no período de 2007 a 2014. ....	73
Figura 25: Gráfico do parâmetro manganês no período de 2007 a 2014.....	73
Figura 26: Localização dos pontos de monitoramento na área Linha Batista. ....	76

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de ensaios e normas associadas.....	41
Tabela 2: Volume e Normalidade do Ácido Clorídrico a ser adicionado conforme avaliação da reação. ....	51
Tabela 3: Normalidade do NaOH (Hidróxido de sódio). ....	52
Tabela 4: Critérios para identificação do potencial de formação de ácido. ....	53
Tabela 5: Critérios para identificação de formação de DAM. ....	53
Tabela 6: Codificação, localização descrição dos pontos de amostragem na Área Santa Augusta.....	57
Tabela 7: Codificação, localização descrição dos pontos de amostragem na Área Linha Batista.....	58
Tabela 8: Resultados das análises físico-químicas das amostras da área Santa Augusta e Linha Batista. ....	61
Tabela 9: Resultados do ensaio granulométrico das amostras da área Santa Augusta e Linha Batista.....	62
Tabela 10: Resultados obtidos nos ensaios de potencial de neutralização nas amostras da área Santa Augusta e Linha Batista. ....	63
Tabela 11: Resultados do Potencial de Neutralização (PN), Potencial de Acidez (PA), Potencial de Neutralização de Líquido (PNL) e Razão do Potencial de Neutralização (RPN). ....	64
Tabela 12: Identificação do potencial de geração de acidez.....	65
Tabela 13: Média e desvio padrão amostral de cada área.....	65
Tabela 14: Caracterização do rejeito da Área Santa Augusta.....	67
Tabela 15: Caracterização do rejeito da Área Linha Batista. ....	68
Tabela 16: Estimativa do volume de resíduos, do PA e do PNL das áreas em estudo. ....	68
Tabela 17: Codificação, descrição e localização dos pontos de monitoramento superficial e subterrâneo da Área Santa Augusta. ....	70
Tabela 18: Resultados dos pontos superficiais dos parâmetros analisados no período de 2007 a 2014 - Santa Augusta.....	72
Tabela 19: Resultados dos pontos subterrâneos dos parâmetros analisados no período de 2009 a 2014 - Santa Augusta.....	74

Tabela 20: Codificação, descrição e localização dos pontos de monitoramento superficial e subterrâneo da Área Linha Batista.....	75
Tabela 21: Resultados dos pontos superficiais dos parâmetros analisados no período de 2007 a 2014 – Linha Batista.....	77
Tabela 22: Resultados dos pontos subterrâneos dos parâmetros analisados no período de 2012 a 2014 – Linha Batista.....	77
Tabela 23: Resultados dos testes de corrosividade e reatividade.....	78
Tabela 24: Resultados dos testes de lixiviação.....	79
Tabela 25: Resultados dos testes de solubilização.....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Ação Civil Pública
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BAB	Balanço Ácido Base
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CTCL	Centro Tecnológico do Carvão Limpo
DAM	Drenagem Ácida de Mina
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
JFSC	Justiça Federal de Santa Catarina
MPF	Ministério Público Federal
NBR	Norma Brasileira
NRM	Norma Regulamentadora de Mineração
PA	Potencial de Acidez
PN	Potencial de Neutralização
PNL	Potencial de Neutralização Líquido
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
ROM	<i>Run of Mine</i>
RPN	Razão do Potencial de Neutralização
SIECESC	Sindicato da Indústria e Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA .....	16
2.2 OCORRÊNCIA DO CARVÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	17
2.3 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS.....	21
2.4 AÇÃO CIVIL PÚBLICA (ACP) DO CARVÃO.....	22
2.5 DEFINIÇÃO, TIPOS E CONSTITUIÇÃO DO CARVÃO .....	23
2.6 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS.....	24
<b>2.6.1 Métodos de disposição de rejeitos</b> .....	<b>25</b>
2.7 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO MINERAL .....	26
2.8 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE: O PROBLEMA DA DRENAGEM ÁCIDA.....	28
2.9 FONTES E FATORES DE GERAÇÃO DE DAM.....	31
2.10 PREDIÇÃO DA GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA .....	33
<b>2.10.1 Testes estáticos</b> .....	<b>34</b>
2.10.1.1 BAB – Balanço Ácido Base .....	35
<b>2.10.2 Testes cinéticos</b> .....	<b>36</b>
2.11 MONITORAMENTO AMBIENTAL.....	37
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>38</b>
3.1 ORIGEM DAS AMOSTRAS .....	39
3.2 PLANEJAMENTO E AMOSTRAGEM .....	40
<b>3.2.1 Planejamento e amostragem no depósito da Área Santa Augusta</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2.2 Planejamento e amostragem no pátio operacional da Área Linha Batista</b>	<b>41</b>
3.3 ENSAIOS LABORATORIAIS.....	41
<b>3.3.1 Preparação da amostra</b> .....	<b>41</b>
<b>3.3.2 Determinação da Umidade Total e Umidade Higroscópica</b> .....	<b>42</b>
<b>3.3.3 Determinação da granulometria</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3.4 Determinação do teor de enxofre total</b> .....	<b>45</b>
<b>3.3.5 Determinação do teor de cinzas</b> .....	<b>46</b>
<b>3.3.6 Determinação do teor de matérias voláteis</b> .....	<b>48</b>
<b>3.3.7 Determinação do carbono fixo</b> .....	<b>49</b>

3.4 TESTES ESTÁTICOS DE CONTABILIZAÇÃO DE ÁCIDOS E BASES .....	49
<b>3.4.1 Medida do Potencial de Geração Ácida (PA) .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.2 Medida do Potencial de Neutralização (PN) .....</b>	<b>50</b>
3.5 EXECUÇÃO DO ENSAIO .....	51
<b>3.5.1 Princípio do Método .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5.2 Procedimento .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5.3 PNL – Potencial de Neutralização Líquido .....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.4 RPN – Razão do Potencial de Neutralização.....</b>	<b>53</b>
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....</b>	<b>54</b>
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS HISTÓRICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	54
<b>4.1.1 Histórico da área Linha Batista.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.2 Histórico da área Santa Augusta .....</b>	<b>55</b>
4.2 CONSIDERAÇÕES DA ÁREA SANTA AUGUSTA .....	55
4.3 CONSIDERAÇÕES DA ÁREA LINHA BATISTA.....	56
4.4 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS.....	57
4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS .....	61
4.6 DEFINIÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO PREDOMINANTE EM CADA ÁREA .....	65
4.7 COMPARAÇÃO TEMPORAL DA EXPOSIÇÃO DOS REJEITOS.....	66
<b>4.7.1 Santa Augusta .....</b>	<b>66</b>
<b>4.7.2 Linha Batista.....</b>	<b>67</b>
4.8 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS .....	68
4.9 QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS .....	69
<b>4.9.1 Santa Augusta .....</b>	<b>69</b>
<b>4.9.2 Linha Batista.....</b>	<b>75</b>
4.10 CLASSIFICAÇÃO DOS REJEITOS .....	78
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Como qualquer outra atividade impactante, a mineração de carvão gera impactos positivos e negativos ao meio ambiente. Com o aumento de sua produção e conseqüentemente maior quantidade de ROM (carvão bruto) beneficiado, ocorre também o aumento de quantidade de resíduos sólidos (estéreis e rejeitos). Este fator se agrava ainda mais quando ocorre a disposição do resíduo de forma inadequada, provocando significativos impactos e comprometendo o meio ambiente.

Desde que a atividade de mineração de carvão iniciou a mesma vem causando danos ambientais. Com isso, tem-se desenvolvidos testes para predição de Drenagem Ácida de Mina. Esses testes identificarão quais rejeitos ou estéreis serão potencialmente geradores de ácido, para assim desenvolver um manejo correto desses resíduos, evitando problemas ambientais a longo prazo.

Para a seleção das áreas objeto deste estudo foram selecionadas 2 áreas distintas inseridas na Bacia Carbonífera de Santa Catarina. Buscou-se definir uma área que já se encontra recuperada, e outra que ainda possuísse rejeitos expostos, buscando uma relação entre as duas áreas e analisando a eficácia da recuperação. Neste caso, a área de Santa Augusta e Linha Batista foram consideradas propícias para o estudo.

As áreas de estudo do trabalho, são de propriedade da Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. É importante ressaltar que com o Processo nº 2000.72.04.002543-9, determinou-se a formação do Processo nº 2008.72.04.002971-7, especificamente para acompanhar o cumprimento das obrigações devidas pela Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. (JFSC, 2012).

O trabalho consiste em avaliar a geração de Drenagem Ácida de Mina pela disposição de rejeitos carbonosos da mineração de carvão mineral nos bairros Santa Augusta e Linha Batista, no município de Criciúma, nas áreas de responsabilidade de recuperação da empresa Rio Deserto Ltda. por meio de método estático. Com isso, permite o planejamento e a incorporação de medidas de controle para os manejos adequados de rejeitos e estéreis, conseguindo reduzir de maneira considerável, problemas ambientais a longo prazo, e possivelmente eliminar custos desnecessários.

O presente estudo se insere na linha de pesquisa: Restauração de ambientes alterados e recuperação de áreas degradadas. Os objetivos específicos

para o presente trabalho são: 1) Levantar metodologias para predição da geração de drenagem ácida, e caracterização do rejeito; 2) Caracterizar os rejeitos carbonosos de áreas recuperadas e áreas a recuperar, respectivamente na área de Santa Augusta e Linha Batista de responsabilidade da empresa Rio Deserto; 3) Realizar estudo estático em laboratório de geração de potencial de acidez em depósitos recuperados na Santa Augusta e depósitos a recuperar na Linha Batista; 4) Avaliar a evolução da qualidade das águas superficiais e subterrâneas das áreas em estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será apresentada a base teórica desse estudo, o qual englobam: o histórico da mineração de carvão do estado de Santa Catarina, sua ocorrência; uma abordagem sobre legislação ambiental e a ACP do carvão; definição, constituição e tipos de carvão; disposição de rejeitos, enfatizando os métodos existentes; recuperação de áreas degradadas; um enfoque sobre a problemática causada pela drenagem ácida de mina; fontes e fatores de geração de DAM e sua predição. Serão abordados também, os tipos de testes para predição, enfatizando no teste que será utilizado, e sobre a importância do monitoramento ambiental nas áreas.

### 2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

De acordo com Gomes *et al* (p.583, 2003) “o carvão Catarinense foi descoberto em 1822 por tropeiros que desciam a serra do “12” rumo a Laguna. Após a descoberta foram enviadas à região inúmeras expedições com o fim de estudar a qualidade e a viabilidade econômica do carvão”.

Em 1884 foi construída a ferrovia Dona Tereza Cristina para tentar pôr fim nas tentativas frustradas de aproveitamento do energético, pois havia muita distância dos centros consumidores. Assim, facilitou o transporte do carvão da região produtora de Criciúma ao porto de Imbituba, alcançando também, centros consumidores no sudeste do País (GOMES *et al*, 2003).

Em 1917 entra em operação a Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA) e em 1918, a Companhia Carbonífera Urussanga (CCU). Na década seguinte, em 1921, surgem a Companhia Carbonífera Próspera e a Companhia Carbonífera Ítalo-Brasileira, e em 1922 a Companhia Nacional Mineração Barro Branco (ABCM, 2014).

No governo de Getúlio Vargas (anos 40) houve a decisão de implantar a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) no Brasil. Assim, para fornecimento do carvão, instalou-se parte do complexo da CSN em Santa Catarina, compreendendo o Setor Mineração (em Siderópolis), o Setor Beneficiamento (Lavador de Carvão) e uma Usina Termoelétrica em Capivari de Baixo (MILIOLI, 2009).

Entre 1895 e 1945 desenvolveu a mineração no Sul de SC para fins energéticos e em 1945 para suprimento da produção de aço. O carvão metalúrgico era destinado ao consumo na siderurgia no centro do país e tinha como subproduto a fração energética utilizada como combustível no Complexo Jorge Lacerda, situado no atual município de Capivari de Baixo/SC (JFSC, 2010).

Com as crises energéticas mundiais em 1973 e 1979, o Governo Federal aumentou ainda mais os incentivos à indústria carbonífera, através de subsídios ao transporte, ao consumo do carvão e de financiamentos facilitados às empresas, visando o desenvolvimento de fontes alternativas de energia no País, em substituição aos derivados de petróleo (JFSC, 2010; CETEM, 2001).

Em 1988 foi suspenso qualquer tipo de subsídio ao carvão, delineando o início do seu declínio econômico. A crise maior do setor carbonífero deu-se na “era Collor de Mello”. Em setembro de 1990 o setor perdeu repentinamente o mercado de carvão metalúrgico e as empresas enfrentaram sérias dificuldades. Em 1997 a situação veio a se estabilizar com a conclusão da usina Jorge Lacerda IV, sendo ampliado o consumo de carvão energético (CETEM, 2001).

## 2.2 OCORRÊNCIA DO CARVÃO NO ESTADO DE SANTA CATARINA

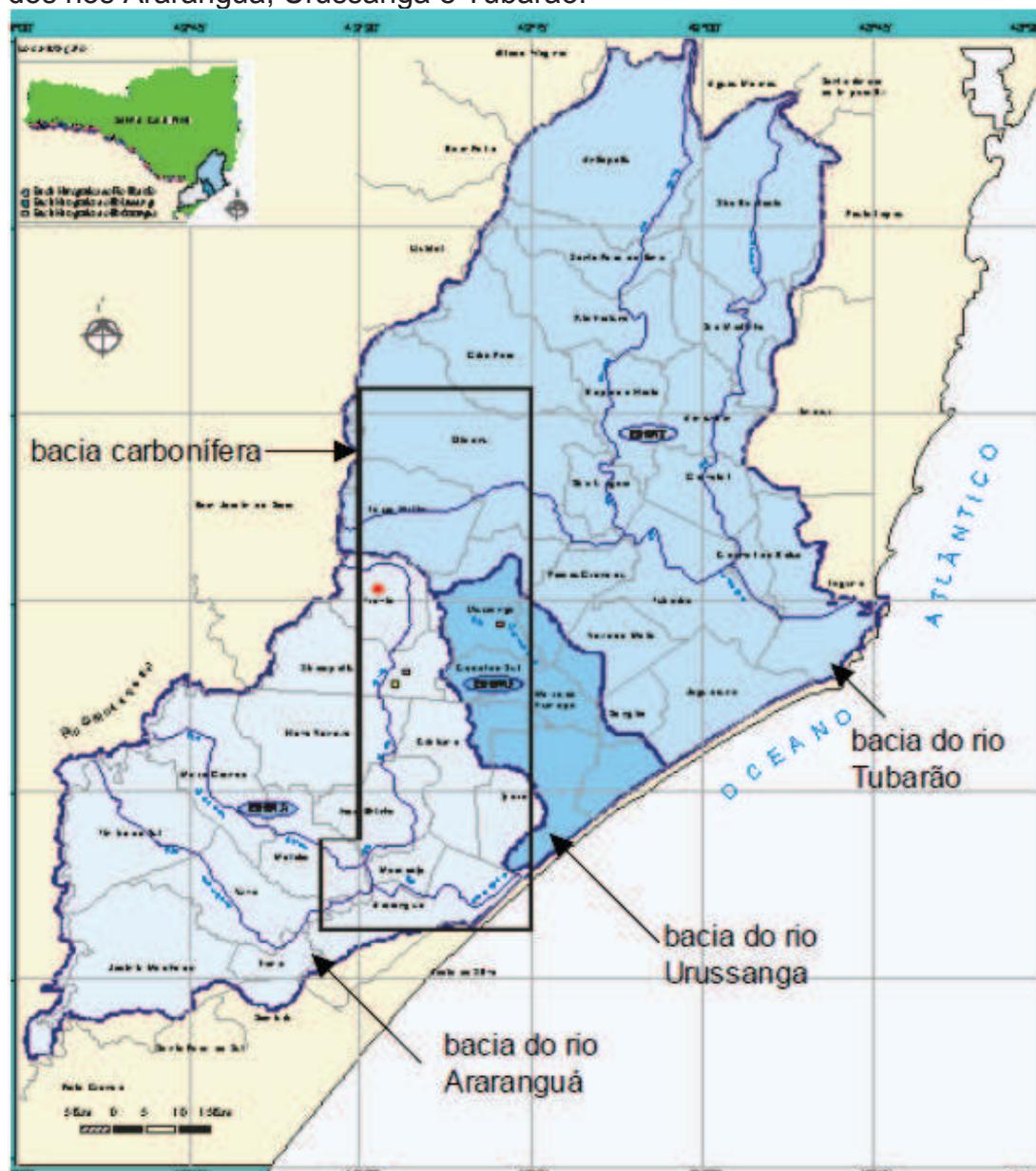
A Bacia Carbonífera de Santa Catarina localiza-se a sudeste do estado, estende-se das proximidades de Morro dos Conventos – Arroio do Silva, no litoral ao sul, até as cabeceiras do rio Hipólito, ao norte. No limite oeste, atinge Nova Veneza, e a leste, a linha natural de afloramento vai até Lauro Müller e Brusque do Sul. A Bacia possui um comprimento conhecido de 95 km e uma largura média de 20 km, compreendida na área delimitada pelas coordenadas 28011' a 29003' de latitude sul e 49010' a 49037' de longitude oeste (CETEM, 2001).

Na Figura 1, pode ser visualizado a localização da bacia carbonífera em relação às bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão.

Segundo Krebs e Possa (2008, p.109) “a bacia possui uma área de aproximadamente 1.625 km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 490 km<sup>2</sup> foram diretamente impactados pela atividade carbonífera”.

Belloli (2002, p.11) descreve que “no Brasil, as principais ocorrências de carvão mineral localizam-se na Região Sul e se estendem desde São Paulo, passando pelos Estados do Paraná e Santa Catarina, até o Rio Grande do Sul”.

Figura 1: Localização da bacia carbonífera em relação às bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão.



Fonte: KREBS; POSSA, p.110, 2008.

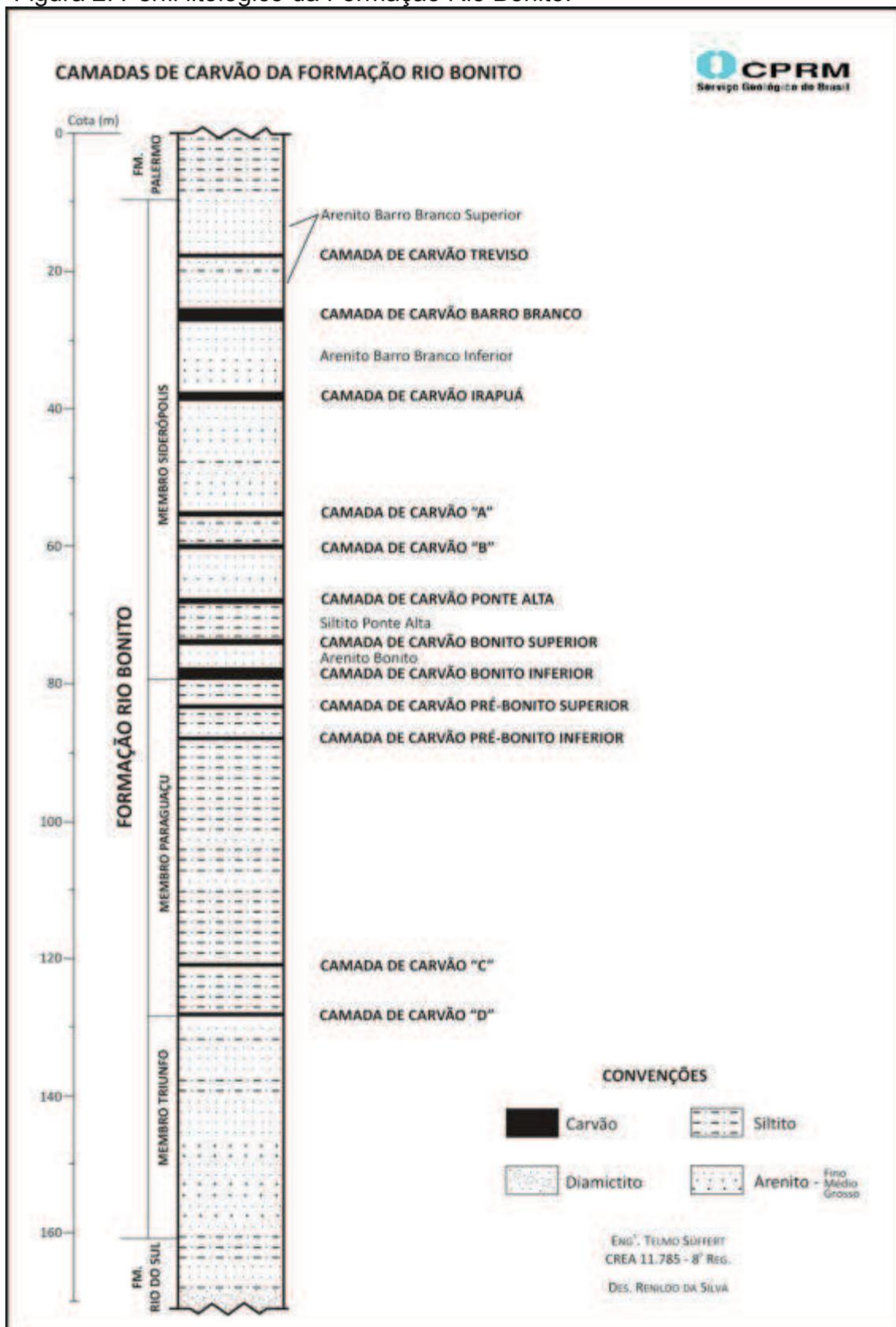
A exploração do carvão catarinense desenvolve-se na Região Sul do Estado, onde se criou importantes centros de mineração, compreendendo diversos municípios, entre eles: Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Treviso, Criciúma, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça e Maracajá. As reservas de carvão mineral de Santa Catarina chegam a 3,2 bilhões de toneladas (BELLOLI, 2002).

As três principais camadas de carvão em Santa Catarina fazem parte do Membro Siderópolis, da porção superior da Formação Rio Bonito, de idade Permiana: as camadas Bonito, Irapuá e Barro Branco. A camada Barro Branco é a

considerada mais nobre, uma vez que reúne fração de carvão metalúrgico, que pode ser utilizado nos fornos das siderúrgicas. Já o carvão da camada Irapuá já foi explorada quase em sua totalidade, e a maior parte da camada Bonito só pode ser utilizado para fins energéticos, como por exemplo, no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, localizado em Capivari de Baixo (SCHEIBE, 2002).

A descrição litológica da Formação Rio Bonito e sua delimitação foi realizada por Bortoluzzi *et al.* (1978), que a divide, da base para o topo, nos membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis. O perfil litológico típico dessa formação, contendo as camadas de carvão da Bacia Carbonífera Sul Catarinense, é observado na Figura 2, porém as camadas de maior importância estão na parte superior da Formação Rio Bonito, na porção correspondente ao Membro Siderópolis.

Figura 2: Perfil litológico da Formação Rio Bonito.



Fonte: SUFFERT, CAYE, DAEMON, 1977.

## 2.3 LEGISLAÇÕES AMBIENTAIS

A preocupação com as questões ambientais passou a ter maior relevância com a Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, que foi realizada em Estocolmo em 1972. No Brasil, teve seu efeito no ano de 1981, quando foi promulgada a Lei 6.938 estabelecendo a Política Nacional de Meio Ambiente, com fundamentos que definem a proteção ambiental (IBRAM, 1992).

Regulamentando a Lei 6.938, tem-se a Resolução CONAMA 001/86, que definiu os empreendimentos passíveis de licenciamento ambiental, entre eles a mineração.

O licenciamento ambiental específico para as atividades de mineração foi regulamentado pelas Resoluções CONAMA 009/90 e 010/90, publicadas em 28 de dezembro de 1990, e estabeleceram as Normas e Procedimentos de Licenciamento Ambiental para o setor mineral.

A recuperação de áreas degradadas e a exploração mineral foram abordadas na Constituição Federal estabelecida em 05 de outubro de 1988, que impõe que: “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da Lei” (BRASIL, 1988).

No Decreto nº 97.632 de 10/04/1989 no seu artigo 1º foi estabelecido que todos empreendimentos mineiros devem apresentar ao órgão competente juntamente com o Estudo de Impacto Ambiental/ Relatório de impacto ambiental – EIA/RIMA, o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (BRASIL, 1989).

Além destas legislações, existem normas específicas, como a Norma Regulamentadora de Mineração – 21 (NRM 21), que trata da reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas.

Segundo a NRM 21, o projeto de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas deve prever no mínimo a identificação e análise dos impactos ambientais diretos ou indiretos sobre os meios físico, biótico e antrópico; aspectos sobre as conformações paisagística e topográfica, observando-se a estabilidade, o controle de erosão, drenagens, a adequação paisagística e topográfica e revegetação da área; o programa de acompanhamento e monitoramento; a planta atualizada na qual conste a situação topográfica atual das áreas a serem reabilitadas; a aptidão e uso futuro da área, apresentando mapas,

fotografias, planilhas, referências bibliográficas e cronograma físico e financeiro do plano de reabilitação (IBRAM, 2001).

A norma para elaboração e apresentação de projetos de reabilitação em áreas degradadas pelas atividades de mineração é a NBR 13030/99. E a NBR 13029/06 para elaboração e apresentação de projetos de disposição de estéreis em pilha.

Para avaliação da qualidade dos recursos hídricos pode-se analisar a Resolução CONAMA 357/2005, que “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”.

## 2.4 AÇÃO CIVIL PÚBLICA (ACP) DO CARVÃO

Com toda a degradação ambiental gerada pela mineração, em 1993 o Ministério Público Federal (MPF) propôs uma ação civil pública perante a Justiça Federal em Criciúma. Ela tem como processo de conhecimento principal a sentença 93.80.00533-4 e o processo de execução principal 2000.72.04.002543-9 (JFSC, 2012).

Na ACP do Carvão foi determinado que as empresas e órgãos ambientais tivessem que apresentar projetos de recuperação ambiental para a região que compõe a Bacia Carbonífera do Sul Catarinense, contemplando as áreas de depósitos de rejeitos, áreas mineradas a céu aberto e minas abandonadas, bem como a intervenção nos rios e outros recursos hídricos impactados (SIECESC, 2014).

Neste contexto, há também o GTA, denominado Grupo Técnico de Assessoramento, sendo composto por representantes e técnicos de órgãos da área ambiental e de mineração. Tem como foco a obtenção de consensos sobre temas técnicos e também promover um monitoramento ambiental da região (JFSC, 2012).

Segundo a Justiça Federal de SC (2012), o GTA tem as seguintes atribuições:

[...] “i) integrar os dados de indicadores ambientais coletados por todos; ii) elaborar relatórios técnicos periódicos, destinados ao Juízo e sujeitos à ampla divulgação, avaliando a evolução dos indicadores ambientais; iii) propor ações tendentes à plena recuperação ambiental; iv) propor sequência de prioridades na execução de ações de recuperação; v) propor alterações nos indicadores ambientais, e plano de monitoramento, quando

entendê-las necessárias; vi) responder tecnicamente a eventuais questionamentos do Juízo”.

Com a ACP, reconheceu-se a necessidade de elaborar um relatório de proposta de indicadores ambientais e planos de monitoramento para as áreas degradadas pela mineração de carvão, monitorando: recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, biota, cobertura do solo e as bocas de minas abandonadas (JFSC, 2012).

## 2.5 DEFINIÇÃO, TIPOS E CONSTITUIÇÃO DO CARVÃO

O carvão mineral é resultante de restos de vegetação pré-histórica que originalmente se desenvolveu em áreas pantanosas. Pelos movimentos tectônicos, as áreas alagadas foram sofrendo subsidência e sendo soterradas por argilas e areias. Através de mudanças físico-químicas, pelo aumento de pressão e temperatura o material vegetal foi sendo transformado, houve a expulsão do oxigênio e o hidrogênio, concentrando o carbono (processo de carbonificação) (LOPES; SANTO; GALATTO, 2009).

Conforme a ANEEL (2008), existem dois tipos básicos de carvão na natureza: o vegetal que é obtido a partir da carbonização da lenha e o mineral que é formado pela decomposição da matéria orgânica (como restos de árvores e plantas) durante milhões de anos, a determinadas condições de temperatura e pressão.

O carvão é formado por carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre e traços de outros elementos, que constituem sua matéria carbonosa. Esta pode estar associada a rochas (arenito, siltito, folhelhos e diamictitos) e minerais como a pirita (CETEM, 2001).

O carvão mineral, no Brasil, constitui-se na maior fonte de energia não renovável. Suas reservas representam cerca de 50%, seguido pela energia nuclear com 27% e petróleo com 8%. O restante é atribuído a gás natural, xisto e turfa. O Estado de Santa Catarina detém mais de 3,4 bilhões de toneladas de carvão mineral, de um total de aproximadamente 33 bilhões (CETEM, 2001).

Os carvões se caracterizam pelo alto teor de carbono, geralmente de 55% a 95%. Em ordem crescente, o que apresenta um rico teor de carbono é o antracito com 96%, a hulha de 80% a 90%, o linhito de 67% a 78% e a turfa com 55% a 60% de carbono. O teor de água é alto nas turfás (75%), mas muito menores nos demais

carvões (8% a 10%). O poder calorífico, propriedade fundamental, é inferior a 4.000 kcal (quilocalorias) nos linhitos e turfas, e entre 7.000 e 8.650 kcal nos demais carvões (BRANCO, 2013).

## 2.6 DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

Quando dispostos de forma inadequada, os resíduos do processamento do carvão resultam na lixiviação dos elementos metálicos, que se encontram nas cinzas e associados à composição do carvão. A lixiviação desses elementos tende a alcançar os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, provocando impactos ao meio ambiente (ORTIZ; TEIXEIRA, 2002).

Amaral (2011), afirma que muitas áreas da região estão recobertas por rejeitos carbono-piritosos provenientes de antigas minerações. Por não ter nenhum controle, muitos desses estão assoreando drenagens, sofrendo queimas espontâneas e gerando fumaça e gases nocivos, e também, aterrando áreas baixas.

Os rejeitos provenientes dos processos de lavra e beneficiamento do carvão mineral são divididos em estéreis e rejeitos. Os estéreis são gerados pelas atividades de extração. Podem ser os materiais de cobertura, camadas que envolvem o mineral de interesse, onde os mesmos não têm valor econômico e são geralmente dispostos em pilhas. Já os rejeitos são resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidos os minérios (UBALDO; SOUZA, 2008).

Conforme Ubaldo e Souza (2008, p.130) “estima-se que para cada tonelada de carvão comercializada é gerada aproximadamente 0,5 – 0,6 tonelada de resíduos”.

Uma das preocupações para região sul do Brasil é a estocagem de rejeitos das minerações de carvão (KOPEZINSKI, 2000). Conforme a Lei 12.305 de 2010, a disposição final ambientalmente adequada é definida como distribuição ordenada de rejeitos em depósitos, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

Para a gestão da disposição dos resíduos, devem-se levar em conta as condições naturais predominantes na região onde se localiza o depósito tais como, formações geológicas, clima e proximidade de corpos hídricos (BORMA; SOARES, 2002).

Borma e Soares (2002) sugerem que em projetos de gestão de resíduos geradores de DAM, as áreas de disposição sejam localizadas distantes de corpos hídricos, reduzindo-se assim a probabilidade de que efluentes venham a alcançá-los.

No passado, os rejeitos de mineração de carvão eram bastante utilizados na região como material de empréstimo barato e abundante para aterrar áreas baixas, para assim poder construir moradias, fábricas e até para recobrir estradas, o que compromete não só as áreas mineradas (AMARAL, 2011).

### **2.6.1 Métodos de disposição de rejeitos**

Segundo Luz (2004), existem três métodos mais comuns de disposição de rejeito: de montante, de jusante e de linha de centro. Alguns fatores interferem na escolha de cada método, entre eles: topografia, hidrogeologia, geologia, tipos e propriedades do subsolo, granulometria, concentração de rejeitos e velocidade de deposição.

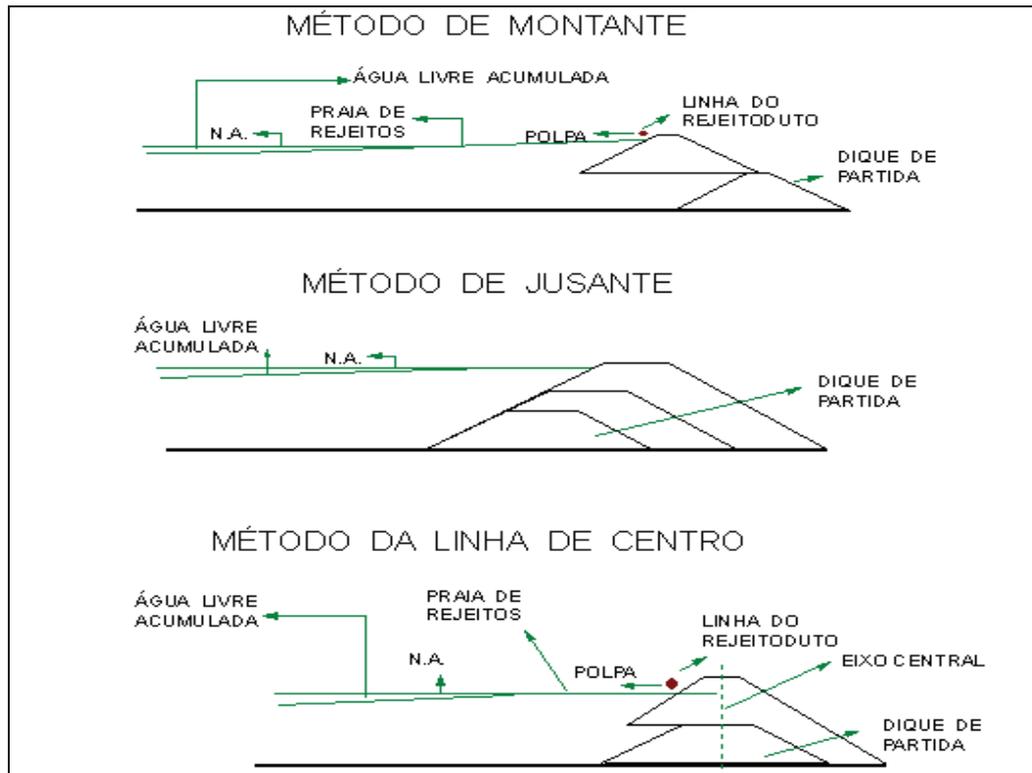
No método de linha de montante, o eixo da obra se desloca para montante e há o aproveitamento dos rejeitos que já foram depositados, servindo como uma estrutura de contenção. Ele é o método mais antigo, e o mais usado atualmente. Tem como vantagens o menor custo e a maior velocidade de alteamento (LUZ, 2004).

Já o método de jusante, o eixo da obra se desloca a jusante dos processos de alteamento. Tem como vantagem a maior segurança e a compactação de todo o corpo da barragem. Cabe ressaltar que tanto o método de jusante como o de montante, são necessários um dique inicial, onde deve ser impermeabilizado (LUZ, 2004).

As barragens alteadas pelo método de linha de centro apresentam um método intermediário entre os dois supracitados, até mesmo em termos de custo, embora seu comportamento estrutural se aproxime do método jusante (LUZ, 2004).

Os três métodos de barragens de contenção de rejeitos podem ser visualizados de acordo com a Figura 3.

Figura 3: Métodos de alteamentos de barragens.



Fonte: ESPÓSITO, 2000 *apud* DUARTE, 2008.

## 2.7 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO MINERAL

De acordo com CETEM (2001), a partir da década de 90 iniciou-se o pensamento de que a recuperação ambiental de áreas mineradas é uma tarefa multidisciplinar e deve-se incorporar o aprimoramento dos métodos de planejamento de lavra, beneficiamento e disposição de rejeitos e estéréis, muitas vezes implicando em uma mudança radical na maneira de planejar o empreendimento mineiro.

As atividades de mineração apresentam um grau de impacto ambiental de alta magnitude devido às modificações físicas, químicas e bióticas provocadas nas áreas de influência direta e indireta do projeto. Por exigência da legislação, o empreendedor deve requerer as devidas licenças ambientais para operação do empreendimento (IBAMA, 1990).

De acordo com a 6ª Revisão dos Critérios para Recuperação ou Reabilitação de áreas impactadas pela mineração de carvão, alguns itens devem ser observados para averiguar a efetividade da recuperação de áreas de preservação permanente degradadas por lavra de carvão a céu aberto e/ou deposição de rejeitos de carvão, entre eles: o uso futuro, a disposição de rejeito e estéréis, a

recomposição topográfica, solo, cobertura vegetal, taludes, sistema de drenagens, controle de erosão, monitoramento dos recursos hídricos e subterrâneos e manejo e manutenção da vegetação (JFSC, 2012).

Todos os subitens citados acima possuem particularidades e são de extrema significância num projeto de recuperação de área degradada. Com isso, para uma área ser considerada recuperada, o projeto deverá atender todos os quesitos de cada subitem (JFSC, 2012).

O processo de recuperação de uma área minerada é entendido sobre diversos enfoques (IBRAM, 1992). A degradação de uma área verifica-se quando, de forma simultânea ou isolada ocorre(m):

[...] “a) a supressão ou alteração da cobertura vegetal; b) a destruição ou a expulsão da fauna; c) a cobertura ou remoção da camada de solo fértil; d) a alteração em volume ou perda da qualidade físico-química e biológica dos corpos hídricos superficiais e das águas subterrâneas” (JFSC, 2012).

O termo reabilitação pode ser entendido como um: “conjunto de procedimentos através dos quais se propícia o retorno da função produtiva da área ou dos processos naturais, visando à adequação ao uso futuro” (NBR 13030:1999).

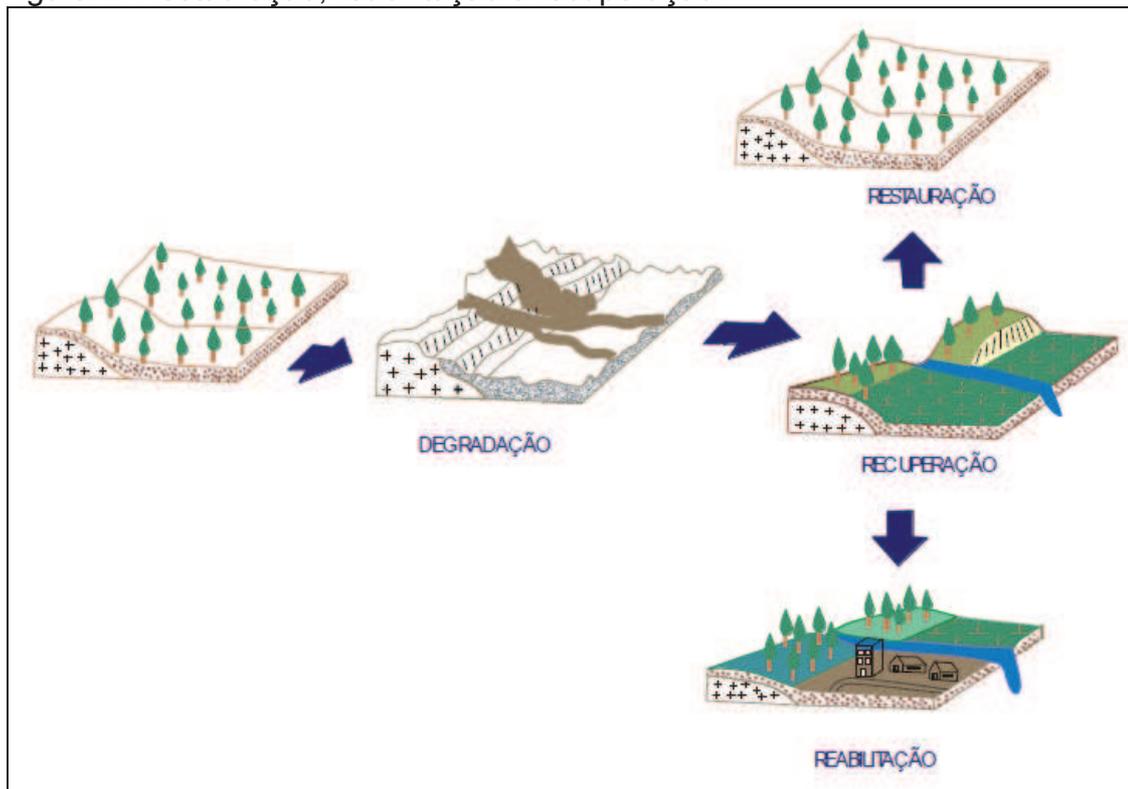
De acordo com a Lei nº9.985, 18/07/2000 em seu artigo 2º definem-se:

[...] “XIII: Recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original. XIV: Restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original” (BRASIL, 2000).

Os termos recuperação, reabilitação e restauração apresentam significados distintos e tem consequências ambientais diferentes (KOPEZINSKI, 2010).

Na Figura 4 verifica-se a diferença dos termos de recuperação, reabilitação e restauração.

Figura 4: Restauração, reabilitação e recuperação.



Fonte: KOPEZINSKI, 2000 apud modificado de BITAR & BRAGA, 1995.

O IBAMA (1990) avalia que recuperar uma área impactada compreende retornar a esta, uma forma de utilização de acordo com os planos pré-estabelecidos para o uso do solo neste local. Compreendem também fornecer condições mínimas para estabelecer um novo equilíbrio dinâmico as áreas, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

## 2.8 MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE: O PROBLEMA DA DRENAGEM ÁCIDA

O homem buscando seu bem estar social e econômico exerce forte influência sobre as modificações do ambiente físico e biótico, sendo necessária uma boa gestão de exploração e uso desses recursos (KREBS; NOSSE, 1998).

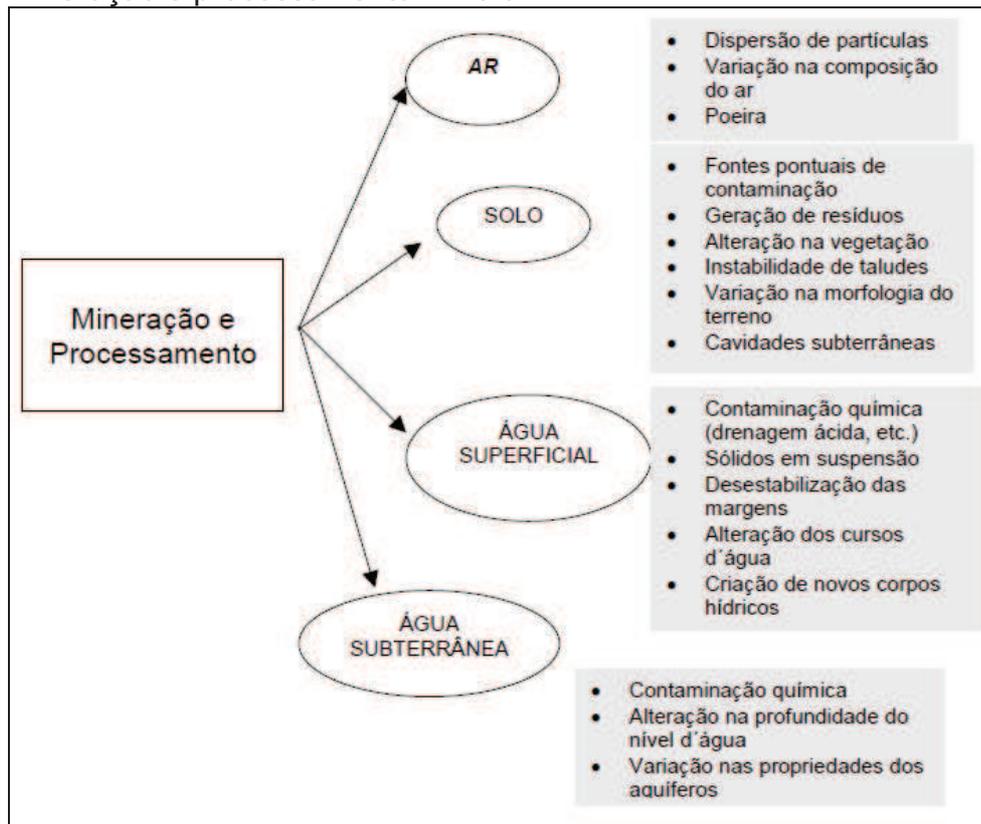
A mineração promove degradação no meio físico, de escala pontual até escalas regionais. De um modo geral os recursos hídricos são bastante atingidos pelos empreendimentos mineiros. Muito associado ao assunto mineração, é importante definir o que é impacto ambiental. Conforme a Resolução 001 do CONAMA (1986) definiu-se impacto ambiental como:

[...] “Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais”.

Para Kopezinski (2000), diversos impactos estão associados com a mineração, entre eles: desmatamento, alteração da paisagem e da topografia, destruição ou perda de solos férteis, desestabilização de encostas, alteração de corpos de água e níveis freáticos, e exposição a fenômenos da dinâmica superficial, como erosão e assoreamento.

Os principais aspectos ambientais associados à atividade de mineração e processamento mineral podem ser visualizados na Figura 5.

Figura 5: Principais aspectos ambientais associados à atividade de mineração e processamento mineral.



Fonte: CETEM, p.16, 2001.

Conforme o Projeto Conceitual de Recuperação Ambiental da bacia carbonífera do Sul Catarinense (CETEM, 2001), três bacias hidrográficas do Estado

de Santa Catarina são consideradas impactadas pela atividade mineradora de carvão: a Bacia do Rio Araranguá, do Rio Tubarão e do Rio Urussanga.

A região carbonífera catarinense caracteriza-se pelo alto grau de comprometimento da qualidade ambiental, sendo reconhecida pelo Decreto Federal 85.206/80 como a 14ª Área Crítica Nacional em termos de controle da poluição ambiental (MILIOLI, 2009).

A poluição hídrica causada pelas drenagens ácidas é provavelmente o impacto mais significativo das operações de mineração, beneficiamento e rebeneficiamento de carvão (ALEXANDRE E KREBS, 1995).

Atualmente na região carbonífera, os cuidados com a exploração do carvão são maiores, pois as bacias hidrográficas de maior expressão dessa região estão parcialmente ou completamente contaminadas, comprometendo o desenvolvimento econômico da região (CITADINI ZANETTE, 1999).

Para Alexandre e Krebs (1995), a disposição inadequada de rejeitos, sem compactação e o não revestimento de taludes com argila e vegetação, favorecem facilmente a oxidação da pirita, pois o oxigênio presente no ar e a umidade contribuem para a formação do ácido.

De acordo com Guevara (2007), a DAM é o resultado da oxidação de minerais sulfetados pelo oxigênio e água (oxidação química) e por bactérias (oxidação biológica). Ela se caracteriza por apresentar pH com valores baixos (faixa de 2 a 4,5), com elevados teores de sulfatos (2000 mg/L) e ferro (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

Conforme descrito por Skousen (1998), a DAM é uma água contaminada caracterizada por altos teores de metais, como Fe, Al e ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), razão pela qual pode apresentar coloração esverdeada ou laranja-amarelada, dependendo do estado predominante do Fe ( $Fe^{+2}$  ou  $Fe^{+3}$ , respectivamente).

Na natureza, sob condições do aquífero freático, a oxidação da pirita quase não ocorre graças à ausência de oxigênio. Quando a pirita está na rocha sob condições naturais de intemperismo, somente pequenas quantidades de pirita são oxidadas, gerando pequenas quantidades de ácido, que serão diluídas ou neutralizadas por rochas que contenham carbonatos na sua composição. Caso ocorram fraturas e/ou erosões serão criadas condições para que haja a formação de DAM (PEREIRA, 2010).

Ortiz e Teixeira (2002, p.303) afirmam que “a pirita é reconhecida como a maior fonte de drenagem ácida, porém esta pode também ser gerada por meio da oxidação de outros sulfetos, tais como a marcassita, pirrotita e calcopirita”.

Geralmente a ocorrência de drenagem ácida remete às atividades de mineração, entretanto toda atividade que provoque exposição de grandes volumes de materiais rochosos com minerais sulfetados que poderão ser oxidados, podem desencadear o processo de DAM (PEREIRA, 2010).

Pereira (2010) ainda afirma que o nível de acidez, concentração e composição do metal dependem do tipo e quantidade do mineral sulfetado e da presença ou ausência de materiais alcalinos. Cita também que o enxofre das jazidas de carvão e rochas associadas pode ocorrer como enxofre orgânico, sulfático, e pirítico.

## 2.9 FONTES E FATORES DE GERAÇÃO DE DAM

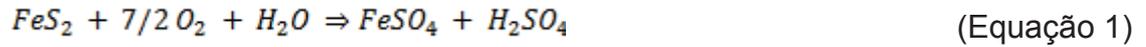
Os principais métodos de mineração de carvão no Brasil consistem em métodos de lavra a céu aberto e métodos de lavra subterrânea. Tem-se como lavra subterrânea o método de câmaras e pilares. Já a lavra a céu aberto, é representada pelo método em tiras (KOPPE; COSTA, 2002).

A indústria mineral produz diversas fontes geradoras de DAM, entre elas cavas de minas, pilhas de estéreis, bacias de decantação, pilhas de estoque de concentrados sulfetados e pilhas de lixiviação (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

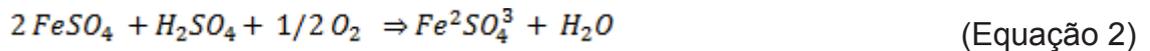
Para Rigotti (2002, p.102) “tanto o enxofre quanto o ferro da pirita são submetidos a muitas modificações, devido principalmente as propriedades do ferro. Com a presença de oxigênio e água inicia-se na pirita um processo de oxidação”.

Baird (2002) ressalta que a temperatura do meio interfere na cinética das reações químicas e bioquímicas: quanto maior é a temperatura média, maior é a atividade biológica e mais rapidamente se processam as reações catalisadas por microrganismos. A intensidade e a distribuição das chuvas também influenciam significativamente na qualidade da drenagem ácida, sendo que regimes pluviométricos com intervalos longos entre chuvas de maior intensidade favorecem a cinética das reações produtoras de acidez.

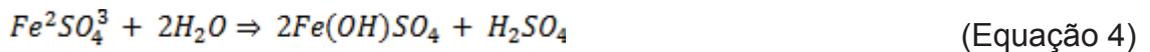
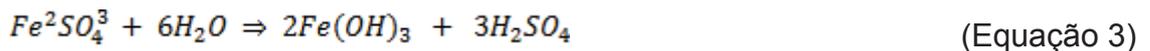
De acordo com Rigotti (2002) e CETEM (2001) as principais reações químicas associadas à drenagem ácida, em presença de pirita, podem ser representadas pelas seguintes equações:



O  $Fe^{2+}$  sofre uma nova oxidação, passando para a forma insolúvel:



O sulfato férrico pode também hidrolisar-se resultando em ácido sulfúrico e hidróxido férrico ou sulfato férrico básico:



A característica da DAM está relacionada com a mineralogia dos carvões de onde provêm os estéreis e os rejeitos. Podem-se encontrar diversos elementos na composição do carvão, ora nos minerais, ora na matriz orgânica, ou em ambos. Os elementos maiores, como Al, Fe, Ca, Ti, Mg e K são encontrados na fração mineral do carvão, enquanto os elementos-traços, como Zn, Ni, Cu, Pb, Co, estão associadas as espécies minerais e/ou a fração orgânica do carvão (ORTIZ; TEIXEIRA, 2002).

Skousen *et al* (1998) citou algumas variáveis que influenciam na taxa de oxidação da pirita, entre elas:

- Área superficial reativa da pirita;
- Forma de enxofre pirítico;
- Presença de oxigênio;
- pH da solução;
- Agentes catalíticos;
- Frequência de fluxo;
- Presença da bactéria *Thiobacillus*.

Devido a diferentes formações, normalmente ocorre à presença de materiais inorgânicos, geralmente argila e pirita, misturado com macerais do carvão. Estas impurezas necessitam serem extraídas do mineral através do beneficiamento (SAMPAIO, 2002).

Segundo Sampaio (2002, p.29) “as argilas são as principais responsáveis pelas cinzas geradas após a combustão de carvões e a pirita pelo teor de enxofre, muitas vezes prejudicial ao processo empregado e danoso ao meio ambiente”.

## 2.10 PREDIÇÃO DA GERAÇÃO DE DRENAGEM ÁCIDA DE MINA

A predição é considerada uma ferramenta importante para a identificação de estéreis ou de rejeitos que sejam potencialmente geradores de ácido, para assim poder desenvolver planos de manejo adequado dos estéreis e dos rejeitos, podendo reduzir consideravelmente os problemas ambientais a longo prazo, assim como os custos de suas medidas corretivas (BIFANO, 2007).

A avaliação de predição de drenagem quando realizada na fase de planejamento mineiro possibilita uma melhor gestão de disposição dos resíduos, bem como a adoção de alternativas adequadas de mitigação e controle. Com isso, além de minimizar os impactos ambientais ao longo da vida útil da mina, facilitam as operações de recuperação por ocasião do encerramento das atividades (CETEM, 2001).

Conforme o relatório do CETEM (2001), duas questões são de suma importância para o estudo da geração de drenagem ácida. A primeira é que a lixívia não se restringe à área minerada, podendo contaminar os cursos d'água superficiais e subterrâneos bem como as áreas circunvizinhas ao empreendimento. Já a segunda é que a reação química envolvida no processo de geração da lixívia é lenta, podendo o fenômeno persistir durante anos mesmo depois de esgotado o depósito mineral.

Conforme Pinto e Kampf (2002, p.75) “a predição da geração de acidez apresenta dois objetivos principais: (1) determinar se o material vai gerar acidez e (2) predizer a qualidade da drenagem com base na taxa de formação do ácido”.

Os diversos métodos de predição de DAM podem ser classificados em:

- Métodos Estáticos, para determinar as propriedades geoquímicas (potencial para gerar acidez e potencial de neutralização) do material;

- Métodos Cinéticos, para determinar o comportamento geoquímico do material no tempo e a determinação dos componentes solúveis.

### 2.10.1 Testes estáticos

Os primeiros testes estáticos para previsão de DAM foram desenvolvidos na década de 70 por Richard M. Smith e Andrew A. Sobek, na *West Virginia University*, com estudos voltados à drenagem ácida em minas de carvão (Skousen *et al.*, 1998).

Consistem em ensaios laboratoriais de bancada que se baseiam na avaliação do Balanço Ácido-Base de uma amostra, denominado ABA - do inglês *Acid Base Account*. Estes testes envolvem basicamente a avaliação dos potenciais de geração de ácido e da quantidade de base de uma amostra. Originou-se com o propósito de avaliar a capacidade de produção de ácido de rejeitos de minas de carvão (Skousen *et al.*, 1998).

Conforme Guevara (2007, p.41):

[...] “O principal objetivo do método estático é a caracterização do potencial de geração de ácido de uma amostra. Geralmente este método é utilizado em uma primeira etapa em todo programa de testes de determinação de potencial de DAM. São métodos simples e de custos relativamente baixos. Muitos destes métodos podem ser utilizados na caracterização do material para realizar a seleção de amostras para métodos posteriores (cinéticos). Um método estático define o balanço entre minerais potencialmente geradores de acidez e aqueles potencialmente consumidores de acidez de uma amostra. Minerais que produzem ácido em geral são sulfetos reativos. Os carbonatos são os principais minerais que consomem ácidos”.

Conforme Machado (2007, p.29) “os ensaios estáticos determinam o potencial de geração de acidez (PA) e o potencial de neutralização (PN) de uma amostra. O balanço entre estas duas grandezas (PA e PN) permite prever a geração de drenagem ácida”.

Farfan, Barbosa e Souza (2004) complementam que o potencial para gerar ácido (PA) é dado pelo teor de enxofre presente na amostra. Já o potencial de neutralização (PN) é avaliado pela quantidade de minerais com reação básica presente na amostra. Ele também cita que um problema encontrado na utilização destes testes é que eles medem somente a capacidade de produção e consumo de

ácido, não considerando as diferenças entre as respectivas taxas de dissolução de minerais produtores de ácido e neutralizadores do mesmo.

Pinto e Kampf (2002, p.75) afirmam que “os testes estáticos buscam determinar o potencial de acidificação (PA) devido aos sulfetos e o potencial de neutralização (PN) devido aos carbonatos”.

Segundo Bifano (2007, p.5) “a diferença entre a capacidade de produção ácido (PA) e o potencial de neutralização (PN), fornece o valor do Potencial de Neutralização Líquido (PNL), sendo o valor expresso em Kg  $\text{CaCO}_3$ / 1000 t de rocha”.

Entre os principais métodos estáticos tem-se: Balanço Ácido Base (método Sobek); Balanço Ácido Base modificado; Teste de pesquisa inicial British Columbia (B.C.) e Produção de ácido apurado (FARFAN; BARBOSA; SOUZA, 2004).

#### 2.10.1.1 BAB – Balanço Ácido Base

O método BAB foi desenvolvido por Smith e seus colaboradores em 1974 e depois modificado por Sobek *et al.* (1978), sendo conhecido como método padrão Sobek.

Sobek *et al.* (1978) desenvolveram uma metodologia para quantificar o potencial que um determinado material apresenta para gerar e neutralizar ácido, e a nomearam de ABA, o Balanço Ácido-Base. A *U.S. Environmental Protection Agency* (U.S.EPA) publicou um manual para determinação do BAB baseado nesta metodologia de Sobek que vem sendo utilizado e quando necessário, modificado para atender a outros tipos de material.

Este balanço é efetuado medindo-se o potencial que uma amostra tem para gerar ácido (PA) e medindo-se o potencial que este mesmo material tem para neutralizar o ácido que eventualmente é gerado (PN). Este último reflete a quantidade de bases presentes na amostra. A diferença entre estes potenciais determina se um empreendimento gerará ácido ou não (Sobek *et al.*, 1978).

O PA deste material é baseado no total de enxofre presente na amostra, considerando que todo o enxofre virá a gerar ácido sulfúrico (Sobek *et al.*, 1978).

Presumindo que a amostra irá neutralizar parte do ácido adicionado, o excedente ácido é então quantificado por titulação de retorno com solução padrão

de uma base (NaOH), obtendo-se o PN do material. A quantidade de ácido a ser adicionada é pré-determinada pela quantidade de carbonatos presentes na amostra. Esta presença de carbonatos é avaliada pelo teste “fizz” (análise auditiva do ruído “fizz” gerado pela reação de carbonato com ácido), que mensura a quantidade de carbonato de cálcio e magnésio contidos na amostra. Gotas de solução de ácido clorídrico são adicionadas a uma pequena alíquota da amostra, e a dimensão do “fizz” é observada. O potencial de neutralização ácida (PN) é expresso em toneladas de carbonato equivalentes por mil toneladas de material (Sobek *et al.*, 1978).

### 2.10.2 Testes cinéticos

De acordo com Guevara (2007, p.42) “estes métodos têm como finalidade confirmar o potencial de geração de acidez e predizer a qualidade da água de drenagem a longo prazo”.

Geralmente, o método cinético se inicia após a realização do método estático em um programa de predição ou de avaliação da jazida. Consiste em uma simulação de laboratório, onde as amostras são expostas a condições parecidas com a que estava exposta, com o objetivo de determinar as velocidades de geração de acidez, de oxidação de sulfetos e de neutralização (GUEVARA, 2007).

Os métodos cinéticos conseguem oferecer uma alternativa para examinar as velocidades de reação, tanto para a dissolução de metais como para a geração de acidez, para certas condições específicas.

Os ensaios cinéticos diferem dos estáticos por simularem reações naturais de oxidação do local de estudo. Estes ensaios usam grande quantidade de amostra e requerem muito tempo para sua realização (MACHADO, 2007).

Segundo Guevara (2007, p.43):

[...] “Existem diversos métodos cinéticos disponíveis para a predição da DAM, variando consideravelmente entre eles a complexidade, tempo de duração, custos e tipo dos resultados. Dentre os principais métodos cinéticos podemos citar: confirmação de pesquisa B.C; células úmidas e colunas de lixiviação”.

Os testes cinéticos pretendem imitar os processos encontrados nos locais da mina normalmente a uma taxa acelerada. Estes requerem mais tempo e são consideravelmente mais caros que os testes estáticos (U.S.EPA, 1994).

## 2.11 MONITORAMENTO AMBIENTAL

Segundo Ramos (2014), o monitoramento ambiental é um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e sistemático das variáveis ambientais com o objetivo de identificar e avaliar qualitativa e quantitativamente as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como as tendências ao longo do tempo.

É considerado um instrumento para avaliar o desempenho de projetos de recuperação ambiental e deve ser projetado para operar por um longo período de tempo. Os resultados devem ser interpretados através de análises, de comparações com os padrões de qualidade ambiental, e legislações aplicáveis (SIECESC, 2006).

A efetividade de um monitoramento depende de diversos quesitos, entre eles a real efetividade do PRAD, a forma que foi executada as ações previstas, se todas as ações foram concluídas pois sob o ponto de vista administrativo, uma área é considerada recuperada quando o PRAD foi implementado em sua totalidade.

Sánchez (2010) afirma que a implantação de um sistema de monitoramento envolve diversas esferas. Dentre elas, pode ser dividido em práticas de caráter topográfico, edáfico, hídrico e vegetativo. O mesmo autor cita também que o aspecto visual da área recuperada demonstra uma síntese de resultados, mas para saber sua real avaliação cientificamente necessita-se de um monitoramento.

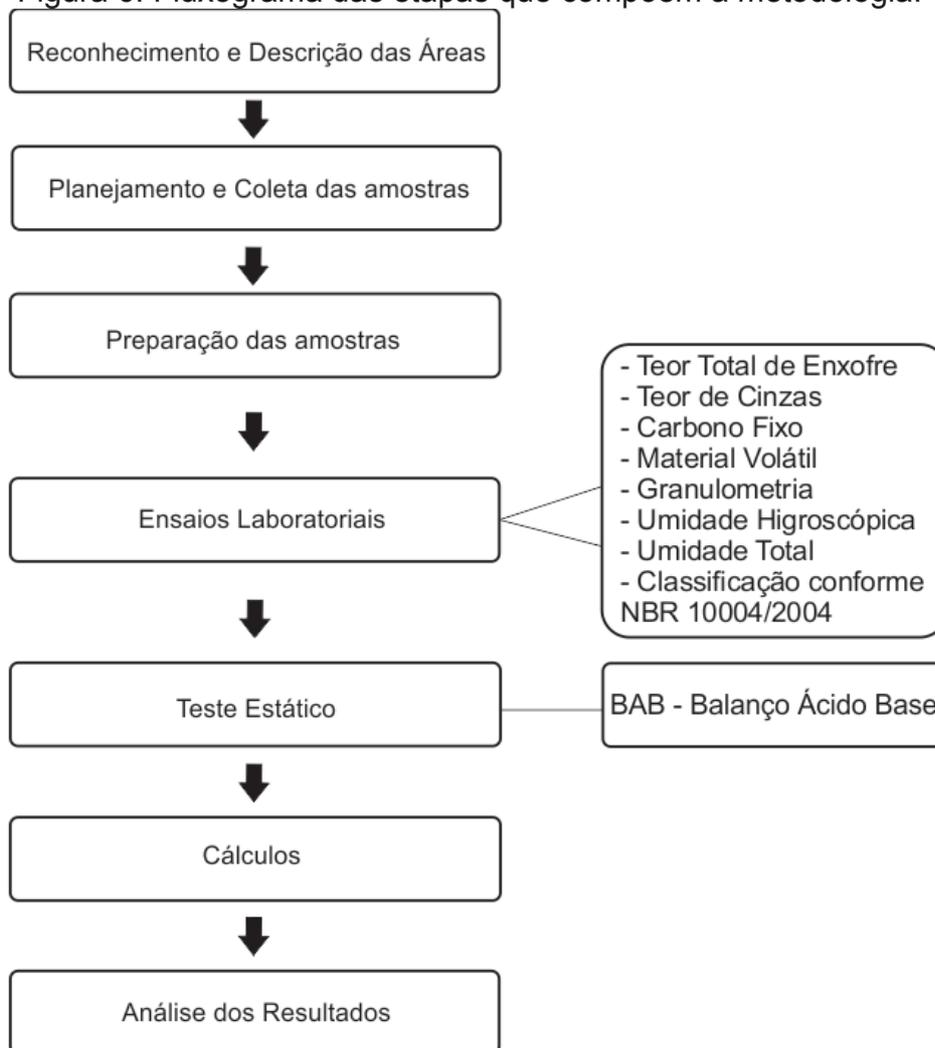
Alguns objetivos do monitoramento são listados por Sánchez (2010):

- Verificar conformidade com requisitos legais;
- Alertar possíveis não conformidades, para serem tomadas ações corretivas;
- Documentar e demonstrar resultados do programa de gestão ambiental;
- Verificar o atendimento dos objetivos propostos para a área que está sendo recuperada;
- Acompanhar a área até sua estabilização.

### 3 METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos propostos, realizou-se um estudo de caso em 2 áreas de passivo ambiental. O trabalho consiste em diversas etapas, as quais são: reconhecimento e descrição das áreas, planejamento e coleta das amostras de rejeito, preparação das amostras, ensaios laboratoriais, compreendendo a classificação granulométrica, umidade total e higroscópica, teor de cinza, materiais voláteis, carbono e enxofre total, conforme metodologias, e para quantificação do potencial de geração de DAM o teste estático Balanço Ácido Base – BAB, os cálculos e as análises dos resultados, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma das etapas que compõem a metodologia.



Fonte: Da autora, 2014.

Foram realizados ensaios de classificação do resíduo carbonoso de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), tendo como finalidade classificar o mesmo quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ter destinação adequada e atender a legislação aplicável.

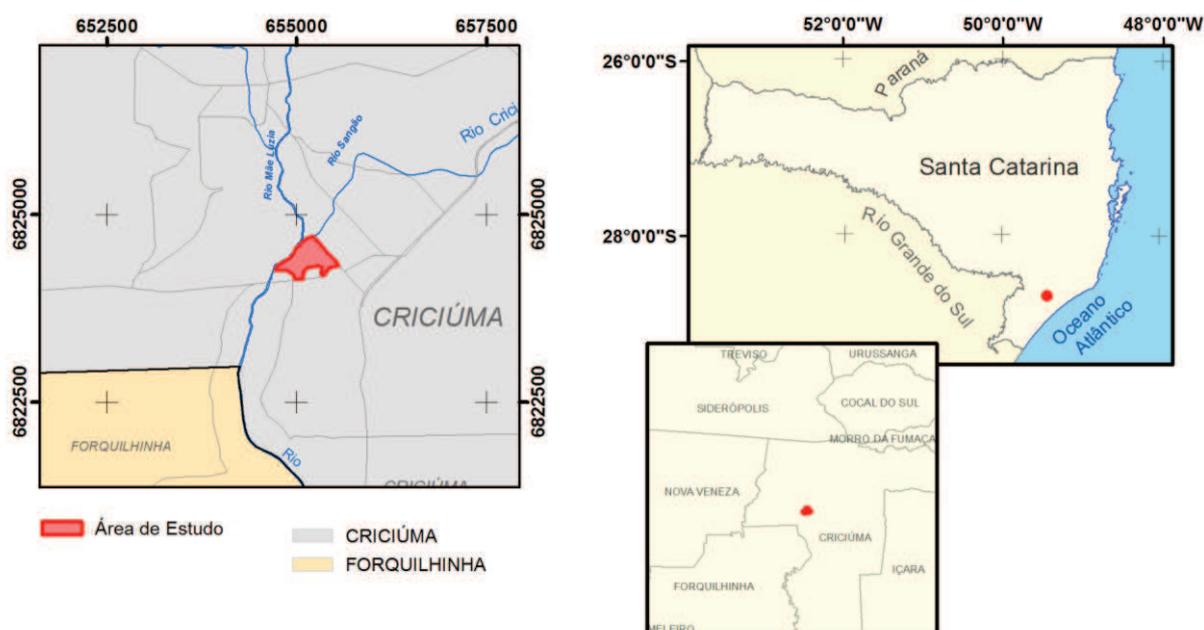
Os ensaios necessários para caracterização das amostras foram realizados no Laboratório da Indústria Carbonífera Rio Deserto.

### 3.1 ORIGEM DAS AMOSTRAS

O estudo de caso foi realizado com amostras de rejeito provenientes de duas áreas que se encontram no município de Criciúma – SC. A primeira é o depósito da antiga Mina Santa Augusta (Figura 7), localizada na Rua Arcângelo Meller, no Bairro Santa Augusta, e a segunda é o pátio operacional da antiga Mina Linha Batista (Figura 8) que se localiza no Bairro Linha Batista.

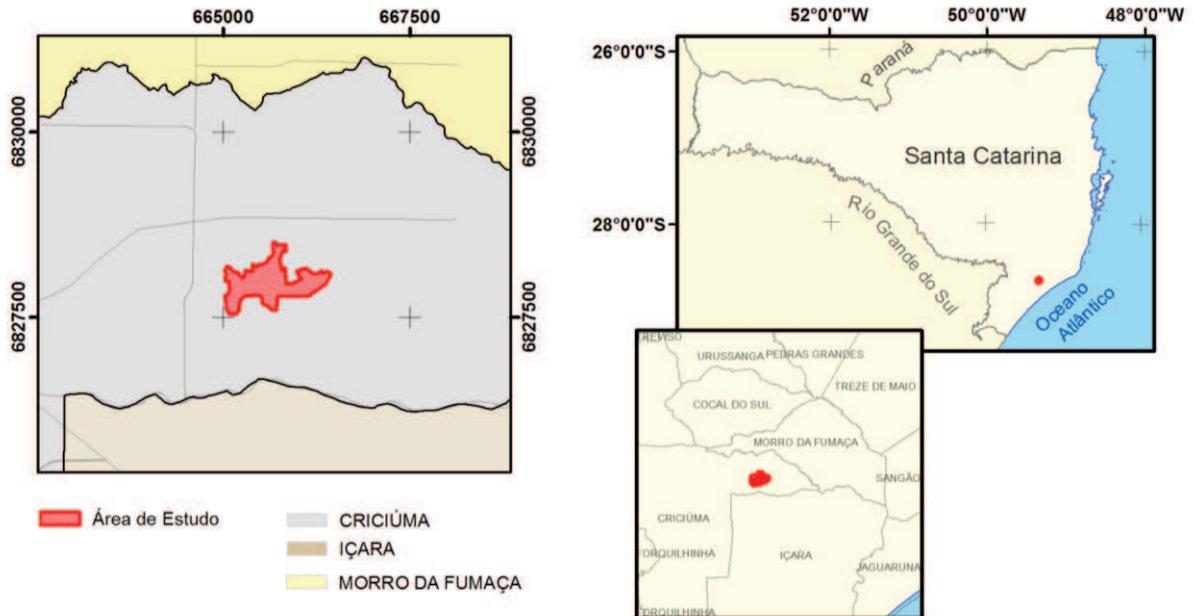
As duas áreas objeto deste estudo são de responsabilidade de recuperação da Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., porem à área denominada Linha Batista foi impactada pela CSN.

Figura 7: Mapa de localização da área de estudo - Santa Augusta.



Fonte: Da autora, 2014.

Figura 8: Mapa de localização da área de estudo - Linha Batista.



Fonte: Da autora, 2014.

### 3.2 PLANEJAMENTO E AMOSTRAGEM

No dia 5 de setembro, acompanhada de um técnico da empresa Rio Deserto foi realizado o reconhecimento das áreas a fim de se obter um prévio conhecimento para definição dos pontos de coleta.

#### 3.2.1 Planejamento e amostragem no depósito da Área Santa Augusta

O depósito da área Santa Augusta, aleatoriamente foi dividido em 6 setores, onde em cada setor, foram coletados incrementos para compor uma amostra de forma à representar a totalidade da área. Em alguns setores a amostra foi composta apenas com 1 incremento, sendo coletado em torno de 10 e 15 kg de rejeito. Já em outros foram coletados de 2 a 3 incrementos, totalizando 6 amostras entre 10 e 15 Kg cada. As amostras foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos, onde tentou-se evitar ao máximo a interação com o oxigênio.

Com auxílio de um GPS, todos os pontos foram demarcados para posteriormente serem referenciados no mapa, e constituir a malha amostral da área.

Os materiais coletados em campo foram encaminhados para o Laboratório da Empresa Rio Deserto para os ensaios laboratoriais.

### 3.2.2 Planejamento e amostragem no pátio operacional da Área Linha Batista

A porção Linha Batista 2, aleatoriamente foi dividida em 6 setores, onde em cada setor, foram coletados 5 incrementos com aproximadamente 2 á 3 Kg cada, totalizando 6 amostras entre 10 e 15 Kg cada, de forma à representar a totalidade da área. As amostras foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos, onde tentou-se evitar ao máximo a interação com o oxigênio.

Com auxílio de um GPS, todos os pontos foram demarcados para posteriormente serem referenciados no mapa, e constituir a malha amostral da área.

Os materiais coletados em campo foram encaminhados para o Laboratório da Empresa Rio Deserto para os ensaios laboratoriais.

### 3.3 ENSAIOS LABORATORIAIS

Uma vez nos laboratórios da Empresa Rio Deserto, as amostras seguiram para caracterização, onde foram realizados os procedimentos descritos a seguir. As análises foram realizadas em duplicatas.

A Tabela 1 apresenta os tipos de ensaios, o número e título das principais normas que foram utilizadas.

Tabela 1: Tipos de ensaios e normas associadas.

Ensaio	Normas
Determinação da Umidade Total e Umidade Higroscópica	NBR 8293/1983
Determinação do Carbono Fixo	NBR 8299/1983
Determinação do Ensaio Granulométrico	NBR 7181/1984
Determinação do Teor de Enxofre Total	ASTM 4239/1997
Determinação do Teor de Cinzas	NBR 8289/1983
Determinação do Teor de Matérias Voláteis	NBR 8290/1983
Teste BAB – Balanço Ácido Base	Sobeck

Fonte: Da autora, 2014.

#### 3.3.1 Preparação da amostra

Cada uma das 12 amostras recebidas foi homogeneizada e quarteada, para uma melhor representatividade do material. De cada amostra retirou-se uma fração de cerca de 7 kg, para a realização de todas as análises. Os restantes das

amostras foram devidamente acondicionados em sacos plásticos, identificados e reservados para uma eventual necessidade de realização de testes adicionais.

No laboratório as amostras foram pesadas e secas. Após a secagem, foram novamente pesadas. As amostras passaram pelo britador, moinho de disco e moinho bola com objetivo de reduzir e homogeneizar a granulometria das partículas, abaixo de 60 mesh para prosseguir com as análises. Algumas etapas e equipamentos da preparação das amostras são ilustrados na Figura 9.

Figura 9: A) Britador; B) Moinho de disco; C) Quarteamento; D) Moinho de bola; E) Peneira; F) Armazenamento da amostra preparada; G) Amostras aguardando análise.



Fonte: Da autora, 2014.

### 3.3.2 Determinação da Umidade Total e Umidade Higroscópica

A NBR 8293 (ABNT, 1983) definiu umidade superficial como a água agregada à superfície externa do carvão, decorrente de manuseio e ou agentes externos; umidade residual ou inerente é a água retirada em poros ou capilares do carvão; umidade de análise ou higroscópica é a água absorvida pelo carvão seco

durante sua manipulação para análise, e umidade total como o somatório da umidade superficial e a umidade residual ou inerente.

O método para determinação da umidade baseia-se na evaporação da água existente na amostra e consequente perda de massa, quando submetida a rígido controle de fluxo de ar, temperatura e tempo.

Para determinação da Umidade Total, as amostras foram colocadas em bandejas, pesadas e levadas para uma estufa de laboratório a 140°C (± 25°C) por no mínimo 120 minutos para eliminação da umidade. Após esse tempo, retiraram-se as bandejas do forno, deixou-se esfriar até a temperatura ambiente, e pesaram-se novamente as bandejas.

O percentual de umidade total é calculado com o auxílio da equação 5:

$$\%U.T. = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

%U.T = Percentual de Umidade Total.

m<sub>1</sub> = Massa bandeja vazia (g).

m<sub>2</sub> = Massa bandeja com amostra úmida (g).

m<sub>3</sub> = Massa bandeja com amostra seca (g).

Para determinação da Umidade Higroscópica, pesou-se 1,0g da amostra em uma cápsula, levou-se para uma estufa pré-aquecida a uma temperatura de 110°C (± 25°C) por 60 minutos. Após esse tempo, retirou-se a cápsula da estufa, deixou-se até perder sua coloração rubra, colocou-se no dessecador para esfriar até a temperatura ambiente e pesou-se novamente a amostra. Algumas etapas e equipamentos podem ser visualizados na Figura 10.

Figura 10: A) Pesagem da cápsula e amostra; B) Cápsulas na estufa; C) Estufa; D) Colocação das cápsulas no dessecador.



Fonte: Da autora, 2014.

O percentual de umidade higroscópica é calculado com o auxílio da equação 6:

$$\%U.H. = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

%U.H = Percentual de Umidade Higroscópica.

$m_1$  = Massa cápsula vazia (g).

$m_2$  = Massa cápsula com amostra úmida (g).

$m_3$  = Massa cápsula com amostra seca (g).

### 3.3.3 Determinação da granulometria

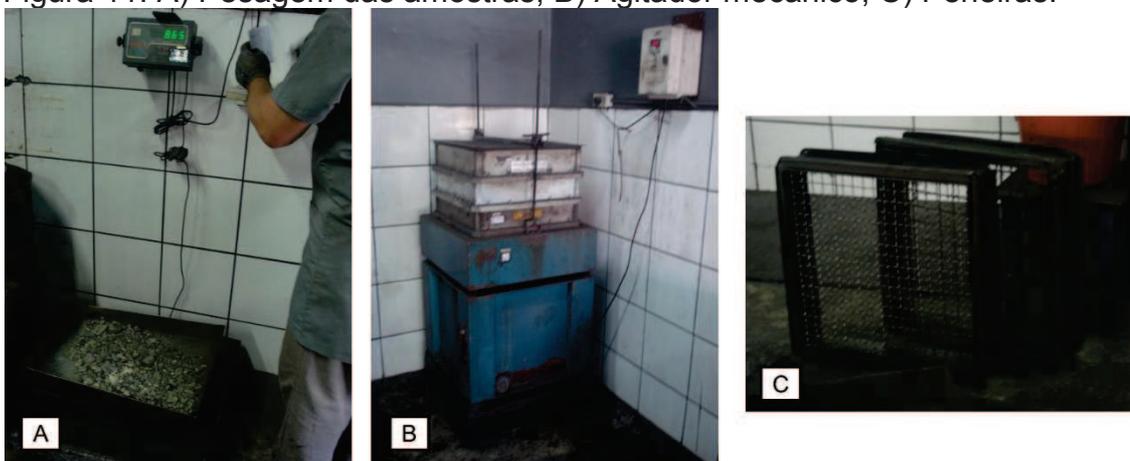
Para os ensaios granulométricos, foi seguido a NBR 7181 (ABNT, 1984), que consiste no peneiramento do material seco, utilizando peneiras padronizadas, sobrepostas em um agitador mecânico.

O rejeito foi peneirado nas seguintes frações granulométricas: 1.1/2" (38,10mm), 1" (25,4mm) e 30mesh.

A metade da amostra recebida foi seca em estufa a 140°C ( $\pm$  25°C), pesada e quarteada. As peneiras foram colocadas umas sobre as outras na ordem crescente de aberturas, colocou-se a amostra sobre o conjunto de peneiras, e levou-se ao agitador durante 10 minutos, foram pesadas as quantidades retidas em cada peneira e determinado o peso passante.

Algumas etapas e equipamentos estão ilustrados na Figura 11.

Figura 11: A) Pesagem das amostras; B) Agitador mecânico; C) Peneiras.



Fonte: Da autora, 2014.

### 3.3.4 Determinação do teor de enxofre total

A determinação da concentração do enxofre total foi efetuada utilizando o analisador da LECO, modelo SC – 632.

A amostra é queimada à 1350°C. O enxofre elementar liberado reage com o oxigênio formando SO<sub>2</sub>. O gás é carregado e passa por uma célula de SO<sub>2</sub> (infravermelho), onde através da frequência do gás forma uma integral e o percentual de enxofre é medido pela área formada.

O teor de enxofre total representa a soma das diversas formas de enxofre presentes na amostra (sulfático, pirítico e orgânico).

O enxofre orgânico não é quimicamente reativo e possui pequeno ou nenhum efeito na produção de ácido. O enxofre sulfático é encontrado em menores quantidades, sendo resultado do intemperismo e oxidação do enxofre. Já o pirítico, é

a forma dominante de enxofre no carvão, e são os maiores produtores de ácido. Geralmente tem-se a predominância de sulfetos de ferro (PEREIRA, 2010).

Algumas etapas e o equipamento estão ilustrados na Figura 12.

Figura 12: A) Equipamento LECO modelo SC – 632; B) Início do funcionamento do equipamento; C) Queima da amostra.



Fonte: Da autora, 2014.

### 3.3.5 Determinação do teor de cinzas

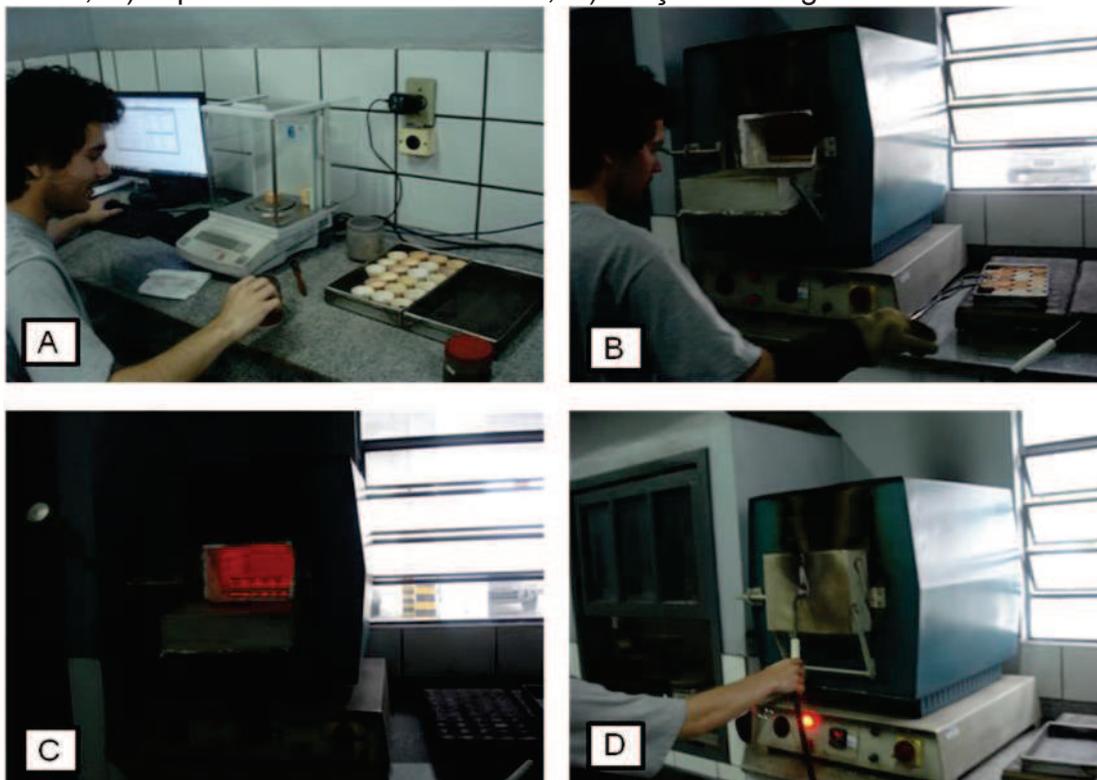
Cinza é o resíduo inorgânico remanescente determinado por métodos normalizados após a queima das substâncias combustíveis. A determinação do teor de cinzas foi realizada conforme metodologia da NBR 8289 (ABNT, 1983).

O método consiste na determinação da massa do resíduo mineral, resultante da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos da amostra em forno mufla, sob rígido controle da massa, temperatura, tempo e atmosfera.

Para determinação, pesou-se 1,0 g da amostra em um cadinho de cerâmica, levou-se para um forno mufla pré-aquecido a uma temperatura de 480°C ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) e elevou-se a 780°C ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) por 90 minutos, com adição de oxigênio. Após esse tempo, retirou-se o cadinho do forno, deixou-se até perder sua coloração rubra, colocou-se no dessecador para esfriar até a temperatura ambiente e pesou-se novamente a amostra.

Algumas etapas e equipamentos podem ser visualizados na Figura 13.

Figura 13: A) Pesagem dos cadinhos; B) Colocação dos cadinhos no forno mufla; C) Aquecimento do forno mufla; D) Adição de oxigênio.



Fonte: Da autora, 2014.

O resíduo remanescente após a queima total da matéria inorgânica é pesado e registrado como teor de cinzas. O percentual de cinzas é calculado pelas equações 6 e 7:

$$\%C (b.u.) = \frac{P_2 - P_1}{m.a.} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

$$\%C (b.s.) = \frac{\%C(b.u.)}{100 - \%U.H.} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

%C = Percentual das cinzas.

%U.H. = Percentual da Umidade Higroscópica.

m.a.=Massa da amostra (g).

P<sub>1</sub> = Peso cadinho vazio (g).

P<sub>2</sub> = Massa do resíduo após a queima (g).

### 3.3.6 Determinação do teor de matérias voláteis

Para os ensaios de determinação do material volátil, foi seguido à metodologia da NBR 8290 (ABNT, 1983). Ela baseia-se na determinação dos destilados voláteis do carvão, desprendido durante o aquecimento em forno elétrico, na ausência do oxigênio, sob rígido controle de massa, temperatura e tempo (FERNANDES; MERGEL; SÁNCHEZ, 2002).

Material volátil é todo produto, exceto a umidade, desprendido por uma matéria, como gás ou vapor.

Para determinação, pesou-se 1,0 g da amostra em um cadinho de cerâmica com tampa, levou-se para um forno mufla pré-aquecido a uma temperatura de 950°C ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) por 7 minutos. Após esse tempo, retirou-se o cadinho do forno, deixou-se até perder sua coloração rubra, colocou-se no dessecador para esfriar até a temperatura ambiente para pesar novamente a amostra.

Algumas etapas e equipamentos podem ser visualizados na Figura 14.

Figura 14: A) Forno mufla; B) Aquecimento dos cadinhos; C) Cadinhos com coloração rubra.



Fonte: Da autora, 2014.

O percentual de matéria volátil é calculado pelas equações 8 e 9:

$$\%M.V. (b.u) = \frac{P_1 - P_2}{m.a.} \times 100 - \%U.H. \quad (\text{Equação 8})$$

$$\% M.V. (b.s.) = \frac{\%M.V. (b.u.)}{100 - \%U.H.} \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

%M.V. = Percentual de Matérias Voláteis.

%U.H. = Percentual da Umidade Higroscópica.

P<sub>1</sub> = Peso cadinho + tampa + amostra (g).

P<sub>2</sub> = Peso cadinho + tampa + amostra calcinada (g).

m.a. = Massa da amostra (g).

### 3.3.7 Determinação do carbono fixo

Carbono fixo é o resíduo sólido obtido pela destilação destrutiva e determinado por métodos padronizados. Ele representa basicamente a concentração de carbono apesar de conter outros elementos como enxofre, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio (FERNANDES; MERGEL; SÁNCHEZ, 2002).

A determinação do carbono fixo foi realizada conforme o procedimento da NBR 8299 (ABNT, 1983). O método consiste em determinar o teor de carbono fixo em base seca através de cálculos, a partir da soma dos percentuais de cinza e material volátil, subtraído de 100, como mostra a equação 10:

$$\%C.F. = 100 - (\%C + \%M.V.) \quad \text{(Equação 10)}$$

Onde:

%C.F.= Carbono Fixo.

%C = Percentual de cinzas em base seca.

%M.V.= Percentual de matérias voláteis em base seca.

## 3.4 TESTES ESTÁTICOS DE CONTABILIZAÇÃO DE ÁCIDOS E BASES

A seguir encontra-se a descrição dos métodos usados para medir cada um destes parâmetros (PA e PN) separadamente e que posteriormente foram usados nos cálculos de avaliação da geração ácida.

### 3.4.1 Medida do Potencial de Geração Ácida (PA)

O potencial de geração ácida (PA) é a quantidade de ácido que uma amostra pode gerar ao oxidar os sulfetos presentes na mesma, expressa em quilogramas de ácido sulfúrico por tonelada de amostra.

Ou seja, é verificado se a amostra apresenta potencial de geração de acidez e de solubilização de elementos que podem acarretar problemas ambientais, como a drenagem ácida e contaminação de solos e cursos d'água.

No presente trabalho o PA foi obtido por medição direta do teor de enxofre total presente na amostra, através do analisador LECO, modelo SC – 632.

O cálculo de obtenção do PA se dá pela equação 11, multiplicando o percentual de enxofre total pelo valor da constante de Skousen:

$$PA = \left( \frac{1000}{32} \right) \cdot \%S_{Total} \quad (\text{Equação 11})$$

### 3.4.2 Medida do Potencial de Neutralização (PN)

Representa a quantidade de neutralizante que pode ser liberada em águas de drenagem.

Neste trabalho foi realizado o teste “fizz” para verificar a presença ou não de minerais carbonatos nas amostras de rejeito. O nome “fizz” provém do ruído gerado pela efervescência ocorrida ao reagir carbonatos com ácido.

O potencial de neutralização, em Kg CaCO<sub>3</sub>/t foi calculado conforme equação 12:

$$PN = \frac{(\text{Volume ácido consumido}) \cdot 50 \cdot 100}{M.A. (g)} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

$$\text{Volume ácido consumido} = (\text{mL ácido adicionado}) - (\text{mL NaOH gasto} \times C)$$

$$C = \frac{\text{mL HCl}(PB)}{\text{mL NaOH}(PB)}$$

PN: Potencial de neutralização (Kg CaCO<sub>3</sub>/t amostra).

N NaOH: Normalidade do Hidróxido de Sódio.

M.A: Massa da amostra (g).

### 3.5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

#### 3.5.1 Princípio do Método

O potencial de neutralização é calculado a partir de uma lixiviação quente ácida. O procedimento consiste no ataque da amostra com ácido aquecido a 90° C para consumir os minerais neutralizantes da amostra e titulação com hidróxido de sódio até pH 7,0.

#### 3.5.2 Procedimento

No teste para determinação do potencial de neutralização foram utilizados 2,0 g de amostra, os quais foram colocados em frascos erlenmeyers, devidamente identificados.

Para cada amostra foram adicionadas 2 gotas de HCl (ácido clorídrico) com concentração 1:3 para avaliar a presença de CaCO<sub>3</sub> (carbonato de cálcio).

A presença de CaCO<sub>3</sub> é indicada por um “fizz” audível e a reação é avaliada através da Tabela 2:

Tabela 2: Volume e Normalidade do Ácido Clorídrico a ser adicionado conforme avaliação da reação.

Determinação do PN		
Teste Fizz	HCl (mL)	HCl (Normalidade)
Nenhum	20	0,1
Fraco	40	0,1
Moderado	40	0,5
Forte	80	0,5

Fonte: Da autora, 2014. Modificado de Sobeck et. al., 1978.

Foi aguardado cerca de 5 minutos e observada alguma reação. Após esta etapa, foi adicionado 20 mL de HCl 0,1N, conforme Tabela 2, e água destilada até completar 125 mL. As amostras foram aquecidas até atingir 90°C.

Ao retornar a temperatura ambiente, as amostras foram tituladas com NaOH (Hidróxido de sódio) até atingir o pH 7,0, de acordo com a normalidade do ácido utilizado, conforme Tabela 3.

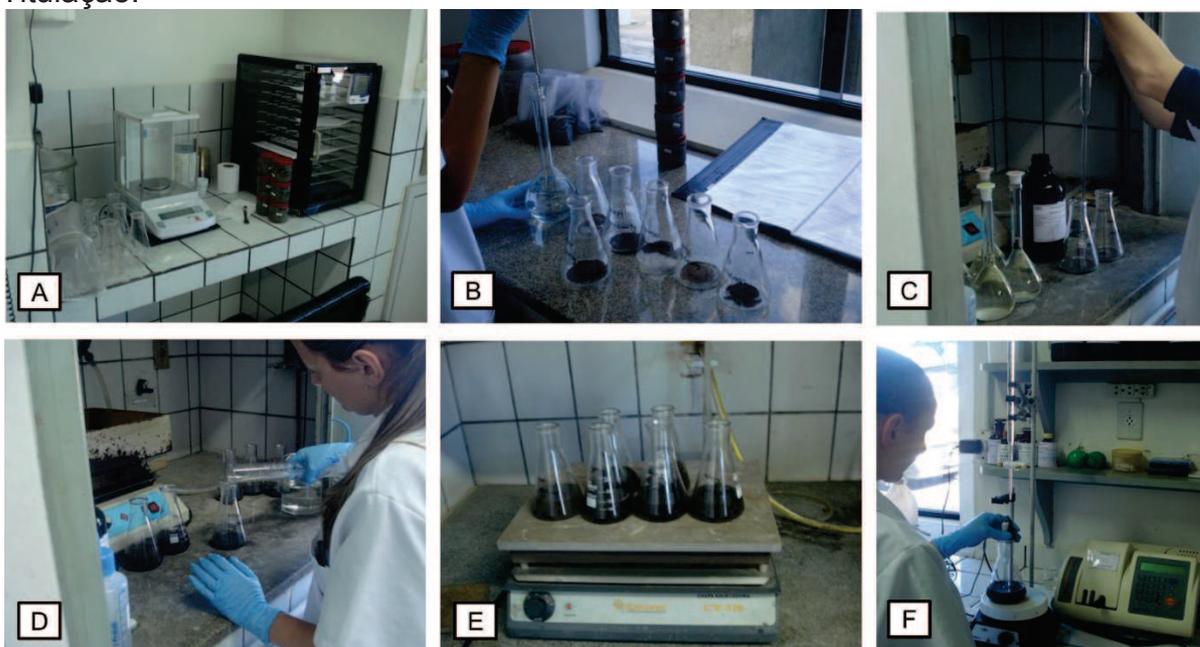
Tabela 3: Normalidade do NaOH (Hidróxido de sódio).

HCl	NaOH
0,1N	0,1N
0,5N	0,5N

Fonte: Da autora, 2014. Modificado de Sobeck et. al., 1978.

Algumas etapas e equipamentos podem ser visualizados na Figura 15.

Figura 15: A) Pesagem das amostras; B) Colocação de 2 gotas de HCl; C) Colocação de 20 mL de HCl; D) Adição de água destilada; E) Aquecimento; F) Titulação.



Fonte: Da autora, 2014.

### 3.5.3 PNL – Potencial de Neutralização Líquido

O Potencial de Neutralização Líquido é determinado pela diferença entre o PN e o PA, conforme equação 13:

$$\text{PNL} = \text{PN} - \text{PA} \quad (\text{Equação 13})$$

Para a identificação do potencial de formação de ácido dos materiais seguem os critérios na Tabela 4:

Tabela 4: Critérios para identificação do potencial de formação de ácido.

PNL	
Valores (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	Indicação
Menores que -20	Haverá formação de ácido
Maiores que +20	Não haverá formação de ácido
Entre -20 e +20	Difícil prever a formação ou não de ácido

Fonte: Da autora, 2014. Modificado de Sobeck et. al., 1978.

### 3.5.4 RPN – Razão do Potencial de Neutralização

A razão do potencial de Neutralização é determinada pela razão entre o PA e o PN, conforme equação 14:

$$RPN = PN / PA \quad (\text{Equação 14})$$

Para a identificação do potencial de geração de acidez dos materiais seguem-se os critérios:

- Valores de RPN <1:1, provável a geração de drenagem ácida;
- Valores de RPN 1:1 a 2:1 poderá ocorrer à drenagem ácida se o PN é insuficientemente reativo e é consumido em uma taxa mais rápido do que sulfetos;
- Valores de RPN 2:1 a 4:1, não é potencialmente esperada a geração de drenagem ácida, a não ser que ocorra a exposição preferencial de sulfetos ao longo de planos de fraturas ou que os sulfetos sejam extremamente reativos e os minerais neutralizantes muito pouco reativos;
- Valores de RPN >4:1, nenhum teste adicional para drenagem ácida é requerido, a não ser que seja como fonte de alcalinidade.

Em síntese, segue Tabela 5:

Tabela 5: Critérios para identificação de formação de DAM.

RPN	
Valores	Indicação
Menores que 1:1	Provável geração de DAM
Entre 1:1 e 2:1	Possível geração de DAM
Entre 2:1 e 4:1	DAM não é esperada
Maiores que 4:1	Não será gerada a DAM

Fonte: Da autora, 2014. Modificado de Sobeck et. al., 1978.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS**

A seguir serão apresentados os resultados desse estudo, o qual englobam: o levantamento histórico das áreas; considerações sobre a coleta do rejeito, bem como uma breve descrição das amostras. Será apresentada a caracterização do rejeito de cada amostra, e também do rejeito predominante em cada área. Abordará a comparação temporal da exposição de rejeitos, a quantidade de resíduos em cada área, uma correlação com a qualidade dos recursos hídricos, e também a classificação do rejeito pela NBR 10004.

### **4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS HISTÓRICOS DAS ÁREAS DE ESTUDO**

As informações relevantes para execução do estudo de caso foram consultadas em PRAD's e relatórios de monitoramento das áreas de estudo.

#### **4.1.1 Histórico da área Linha Batista**

A área operacional Mina Linha Batista localiza-se no Bairro Linha Batista, em Criciúma/SC. Está inserida na Bacia do Rio Urussanga, e na sub-bacia do Rio Ronco D'água e Linha Anta. Nesta área o carvão mineral foi explorado da camada Barro Branco. O método de lavra consistiu em câmara e pilares (PRAD LINHA BATISTA, 2006).

Na década de 40 e 60 houve nesta área extração subterrânea do carvão mineral por parte da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Após esta data as áreas foram arrendadas a outras empresas, onde até 1996 houve extração a céu aberto e rebeneficiamento (REDIVO; CONSONI; SILVA, 2013).

Segundo o 6º Relatório de andamento das obras de recuperação, o setor Linha Batista foi dividido em 2 porções (Linha Batista 1 – aproximadamente 42ha e Linha Batista 2 – aproximadamente 51ha), totalizando 93ha a serem recuperados (REDIVO; CONSONI; SILVA, 2013).

#### 4.1.2 Histórico da área Santa Augusta

A área operacional Mina Santa Augusta localiza-se na Rua Arcângelo Meller, no Bairro Santa Augusta, em Criciúma/SC. Encontra-se nas proximidades da UNESC. Está inserida na Bacia do Rio Ararângua, e na sub-bacia do Rio Sangão (PRAD SANTA AUGUSTA, 2006).

Nesta área o carvão mineral foi explorado da camada Barro Branco e Irapuá. O método de lavra consistiu em câmara e pilares (PRAD SANTA AUGUSTA, 2006).

A antiga Mina Santa Augusta iniciou suas atividades em 1978 com extração de carvão em subsolo até 1991. Paralisou suas atividades de beneficiamento de carvão em 1996. Na superfície da mina foram desenvolvidas as atividades de beneficiamento e deposição de rejeitos. A formação de depósitos de rejeitos obedeceu aos preceitos projetados pelo Consórcio ZETA-IESA, e foi implantada a drenagem de fundo do mesmo (PRAD SANTA AUGUSTA, 2006).

A recuperação ambiental da área da Mina Santa Augusta (13,12 ha) teve seu início no segundo trimestre de 2003. Os trabalhos de recuperação nesta área tiveram como etapas a raspagem do pátio, conformação topográfica, seguida de impermeabilização com argila e cobertura com solo orgânico com espessura na ordem de 0,10m (REDIVO; CONSONI; SILVA, 2013).

#### 4.2 CONSIDERAÇÕES DA ÁREA SANTA AUGUSTA

A coleta do material ocorreu no dia 02 de outubro. Antes da coleta foi realizada a remoção da camada superficial para a retirada de resíduos orgânicos e vegetação, e estes foram conservados para posterior devolução. Na amostragem dessa área, foi tomado o máximo de cuidado, pois como ela já foi recuperada, se encontrando em fase de manutenção, procurou-se manter as condições do substrato e da camada de baixa permeabilidade.

Os incrementos foram coletados com auxílio de uma retroescavadeira e uma pá, formando trincheiras, a uma profundidade máxima de 1m da superfície. A abertura possui dimensões de 1m x 1m, como pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16: A) Remoção da camada superficial; B) Coleta do incremento; C) Dimensões da abertura; D) Compactação da camada superficial.



Fonte: Da autora, 2014.

#### 4.3 CONSIDERAÇÕES DA ÁREA LINHA BATISTA

A coleta do material ocorreu no dia 01 de outubro. Os incrementos foram coletados com auxílio de uma retroescavadeira e uma pá, formando trincheiras, a uma profundidade entre 2m e 2,5m da superfície. A abertura possui dimensões de 1m x 2m, como pode ser visualizado na Figura 17.

Figura 17: A) Abertura das trincheiras; B e C) Seleção do incremento; D e E) Coleta do incremento; F) Dimensões da abertura.



Fonte: Da autora, 2014.

#### 4.4 DESCRIÇÃO DAS AMOSTRAS

Os incrementos coletados resultaram em um total de 12 amostras, sendo 6 delas rejeitos provenientes da área Linha Batista e as outras 6 procedentes da área Santa Augusta.

Na Tabela 6 pode-se visualizar a codificação, a localização e a descrição dos pontos da área Santa Augusta e na Tabela 7 os da área Linha Batista.

Tabela 6: Codificação, localização descrição dos pontos de amostragem na Área Santa Augusta.

Amostra	Incremento	Coordenadas		Descrição
		UTM (X)	UTM (Y)	
P01_SA	01	655306,99	6824756,61	Pontos alocados fora do limite da área.
	02	655287,52	6824733,33	
	03	655249,42	6824705,28	
P02_SA	04	655068,91	6824587,46	Ponto alocado no Setor 02
P03_SA	05	655120,98	6824554,44	Pontos alocados no Setor 03.
	06	655158,66	6824507,45	
P04_SA	07	655024,25	6824529,15	Ponto alocado no Setor 04.
P05_SA	08	654896,03	6824377,75	Ponto alocado no talude do Setor 05.
P06_SA	09	654793,37	6824316,90	Ponto alocado no Setor 06.

Fonte: Da autora, 2014.

Tabela 7: Codificação, localização descrição dos pontos de amostragem na Área Linha Batista.

Amostra	Incremento	Coordenadas		Descrição
		UTM (X)	UTM (Y)	
P01_LB	01	665149,62	6828092,18	Pontos alocados no Setor 01
	02	665131,10	6828048,79	
	03	665166,03	6827937,67	
	04	665260,53	6827954,28	
	05	665249,10	6828020,32	
P02_LB	06	665509,19	6827976,14	Pontos alocados no Setor 02
	07	665596,82	6827971,06	
	08	665477,44	6828052,34	
	09	665562,53	6828062,50	
	10	665632,38	6828059,32	
P03_LB	11	665681,06	6828221,67	Pontos alocados no Setor 03
	12	665737,79	6828224,21	
	13	665712,81	6828171,72	
	14	665752,61	6828092,98	
	15	665678,95	6828097,21	
P04_LB	16	665475,54	6828099,96	Pontos alocados no Setor 04
	17	665539,04	6828112,66	
	18	665546,66	6828204,10	
	19	665626,03	6828207,91	
	20	665633,23	6828123,46	
P05_LB	21	665729,85	6828052,34	Pontos alocados no Setor 05
	22	665710,91	6827928,51	
	23	665751,55	6827925,97	
	24	665682,12	6827945,44	
	25	665787,53	6827938,67	
P06_LB	26	665863,31	6827920,89	Pontos alocados no Setor 06
	27	666079,00	6827943,22	
	28	665975,70	6827933,91	
	29	666026,93	6827985,98	
	30	666104,40	6828012,65	

Fonte: Da autora, 2014.

Os pontos de amostragem da área Santa Augusta e Linha Batista podem ser visualizados respectivamente na Figura 18 e na Figura 19.

Figura 18: Localização dos pontos na área Santa Augusta.



Fonte: Da autora, 2014.

Figura 19: Localização dos pontos na área Linha Batista.

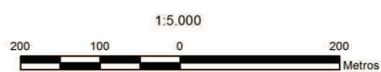


#### Legenda

- Setor 01 X=665.569 Y=6.828.011
- Setor 02 X=665.190 Y=6.827.995
- Setor 03 X=665.561 Y=6.828.162
- Setor 04 X=665.712 Y=6.828.158
- Setor 05 X=665.735 Y=6.827.977
- Setor 06 X=666.011 Y=6.827.959

#### Limites

- Área Impactada



Fonte: Da autora, 2014.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS REJEITOS

Os resultados obtidos das análises físico-químicas dos materiais amostrados nas duas áreas encontram-se apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados das análises físico-químicas das amostras da área Santa Augusta e Linha Batista.

ÁREA	AMOSTRAS	Parâmetros					
		Umidade Higroscópica (%)	Umidade Total (%)	Cinzas (%)	Matéria Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	Enxofre Total (%)
SANTA AUGUSTA	SA_01	1,78	8,25	80,43	11,08	8,50	2,31
	SA_02	1,72	10,29	79,28	10,50	10,22	0,70
	SA_03	1,95	9,84	78,44	10,65	10,91	0,65
	SA_04	1,43	14,49	77,50	11,04	11,46	2,66
	SA_05	0,98	12,80	87,68	7,22	5,10	0,49
	SA_06	0,92	9,21	80,98	9,98	9,04	1,89
LINHA BATISTA	LB_01	0,70	11,60	81,39	9,69	8,92	0,78
	LB_02	1,10	11,25	83,64	9,82	6,54	0,33
	LB_03	1,56	9,09	79,64	11,21	9,15	0,44
	LB_04	1,93	12,05	82,40	9,76	7,84	0,82
	LB_05	1,68	9,52	78,18	11,03	10,79	1,29
	LB_06	0,40	12,36	82,58	9,40	8,02	0,47

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

Através do método descrito no item 3.4.2 os teores da umidade higroscópica que é umidade intrínseca do material, foram calculados e não ultrapassam 2% em todas as amostras. A umidade total também foi calculada pelo método descrito no item 3.4.2 e varia de 8 a 15%. O teor de cinzas (item 3.4.5) não ultrapassa 84%. A matéria volátil (item 3.4.6) não ultrapassa 12%. O teor de carbono fixo (item 3.4.7) está entre 5 a 12%.

O teor de enxofre das amostras de rejeito proveniente do depósito da área Santa Augusta de uma forma geral, apresentaram valores superiores aos obtidos do rejeito do pátio operacional da área Linha Batista. Considerando que a água, o oxigênio e os sulfetos são os principais reagentes que devem estar simultaneamente em contato para a geração de drenagens ácidas de mina, as ações de recuperação que aconteceram na área Santa Augusta, podem ser vistas

como uma estratégia para limitar a geração de drenagem, pois ela impede o contato entre os reagentes e inibe a geração de DAM.

Isto implica que o rejeito que está no depósito teve suas reações limitadas pelas ações de recuperação que ocorreram na área, ou seja, as variáveis geradoras de acidez também tiveram suas condições limitadas.

Já os rejeitos da Linha Batista que se encontravam expostos ao meio ambiente, o processo de lixiviação já vem ocorrendo há algumas décadas. O intemperismo reduz o tamanho de partícula, expondo mais área superficial e mudando características físicas do material, neste caso o teor de enxofre se apresentou menor, indicando também que já ocorreu muita geração de DAM.

De acordo com a Tabela 9, podem-se observar os resultados referentes ao ensaio granulométrico dos rejeitos.

Tabela 9: Resultados do ensaio granulométrico das amostras da área Santa Augusta e Linha Batista.

ÁREA	AMOSTRAS	Peneiras			
		Retido Peneira 1 1/2" (38,10mm) (%)	Retido Peneira 1" (25,40mm) (%)	Retido Peneira 30# (0,60mm) (%)	Retido Peneira Fundo (%)
SANTA AUGUSTA	SA_01	3,37	10,11	78,65	7,87
	SA_02	0,00	11,47	72,13	16,39
	SA_03	0,00	10,91	78,18	10,91
	SA_04	0,00	6,78	76,27	16,95
	SA_05	0,00	0,00	73,33	26,67
	SA_06	0,00	0,00	86,96	13,04
LINHA BATISTA	LB_01	0,00	2,02	80,81	17,17
	LB_02	0,00	0,00	70,42	29,58
	LB_03	2,50	2,50	80,00	15,00
	LB_04	0,00	5,48	83,56	10,96
	LB_05	0,00	0,00	89,50	10,50
	LB_06	0,00	3,85	82,05	14,10

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

Os resultados dos ensaios granulométricos demonstram que o material tende a concentrar-se nas frações de menor tamanho. Em torno de 70% do rejeito fica retido na fração de 0,60mm, 10% na fração de 25,40mm e 20% na fração passante.

A determinação do PA foi realizada a partir da análise de enxofre total. O potencial de geração de acidez está diretamente relacionado à concentração de enxofre, uma vez que é obtido multiplicando-se o percentual de enxofre total medido na amostra pela constante 31,25 que relaciona a quantidade equivalente de carbonato de cálcio necessária para neutralizar os sulfetos presentes. Assim, quanto maior o percentual de enxofre, maior será o potencial de acidez.

Para a determinação do PN, o procedimento consistiu em submeter à amostra a uma solução ácida (com o volume e concentração determinados pelo teste fizz) e aquecer a 90°C para consumir os minerais neutralizantes. Após, titulou-se a solução ácida com NaOH (com a mesma concentração do ácido) até pH 7,0, onde os valores consumidos podem ser visualizados na Tabela 10.

Nenhuma das amostras estudadas apresentou ruído (teste fizz) quando foram adicionadas gotas de ácido. Isto indica a ausência de quantidades significativas de carbonatos de cálcio e/ou magnésio em sua composição.

Tabela 10: Resultados obtidos nos ensaios de potencial de neutralização nas amostras da área Santa Augusta e Linha Batista.

ÁREA	AMOSTRAS	Parâmetros				
		N NaOH	V NaOH (mL)	V NaOH branco (mL)	m.a. (g)	S Total %
SANTA AUGUSTA	SA_01	0,105	26,40	23,40	1,9998	2,31
	SA_02	0,105	24,50	23,40	1,9996	0,70
	SA_03	0,105	25,80	23,40	2,0019	0,65
	SA_04	0,105	24,50	23,40	2,0059	2,66
	SA_05	0,105	23,90	23,40	2,0029	0,49
	SA_06	0,105	26,00	23,40	2,0047	1,89
LINHA BATISTA	LB_01	0,110	24,50	23,40	2,0023	0,78
	LB_02	0,110	23,10	23,40	2,0034	0,33
	LB_03	0,110	28,00	23,40	1,9996	0,44
	LB_04	0,110	24,10	23,40	2,0016	0,82
	LB_05	0,110	24,20	23,40	1,9999	1,29
	LB_06	0,110	23,70	23,40	2,0030	0,47

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

A determinação dos dois fatores PN e PA permitiu calcular o potencial de neutralização líquido ( $PNL = PN - PA$ ) e a razão do potencial de neutralização ( $RPN = PN/PA$ ).

As principais propriedades relacionadas aos testes estáticos para determinação do potencial de geração de acidez do rejeito foram calculadas e estão discriminadas na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados do Potencial de Neutralização (PN), Potencial de Acidez (PA), Potencial de Neutralização de Líquido (PNL) e Razão do Potencial de Neutralização (RPN).

ÁREA	AMOSTRAS	Parâmetros			
		PN (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	PA (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	PNL (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	RPN (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)
SANTA AUGUSTA	SA_01	-6,73	72,19	-78,92	-0,09
	SA_02	-2,47	21,88	-24,34	-0,11
	SA_03	-5,38	20,31	-25,69	-0,26
	SA_04	-2,46	83,13	-85,59	-0,03
	SA_05	-1,12	15,31	-16,43	-0,07
	SA_06	-5,82	59,06	-64,88	-0,10
LINHA BATISTA	LB_01	-2,47	24,38	-26,84	-0,10
	LB_02	0,67	10,31	-9,64	0,07
	LB_03	-10,32	13,75	-24,07	-0,75
	LB_04	-1,57	25,63	-27,19	-0,06
	LB_05	-1,79	40,31	-42,11	-0,04
	LB_06	-0,67	14,69	-15,36	-0,05

Fonte: Da autora, 2014.

A relação entre valores de PN e PA expressos em quilogramas de carbonato de cálcio por tonelada de rejeito é usado para classificação do material ensaiado em potencialmente gerador ou não gerador de ácido.

Conforme dados da Tabela 11, nos resultados de RPN, percebe-se que todos os valores descritos são menores que a proporção 1:1, indicando a provável geração de drenagem ácida nas áreas, conforme mostra a Tabela 12.

Já nos valores de PNL (Tabela 11), percebe-se que das 12 amostras, 9 apresentaram valores de PNL menores que -20, indicando a formação de ácido. Já as 3 restantes, os valores ficaram entre -20 e +20, indicando uma dificuldade para prever a formação ou não de ácido, conforme Tabela 12.

Tabela 12: Identificação do potencial de geração de acidez.

ÁREA	AMOSTRAS	Parâmetros	
		Irá formar ácido?	Irá gerar drenagem ácida?
SANTA AUGUSTA	SA_01	Sim	Provável
	SA_02	Sim	Provável
	SA_03	Sim	Provável
	SA_04	Sim	Provável
	SA_05	Difícil verificar	Provável
	SA_06	Sim	Provável
LINHA BATISTA	LB_01	Sim	Provável
	LB_02	Difícil de verificar	Provável
	LB_03	Sim	Provável
	LB_04	Sim	Provável
	LB_05	Sim	Provável
	LB_06	Difícil de verificar	Provável

Fonte: Da autora, 2014.

#### 4.6 DEFINIÇÃO DA CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO PREDOMINANTE EM CADA ÁREA

Neste caso, considerando que as 6 amostras coletadas representaram a característica do rejeito de cada área, e que todo o rejeito presente tenha essa característica realizou-se a média e desvio padrão dos resultados das análises físico-químicas para estimar a caracterização do rejeito predominante em cada área, os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 13.

Tabela 13: Média e desvio padrão amostral de cada área.

Parâmetros	ÁREA	
	LINHA BATISTA	SANTA AUGUSTA
Umidade Higroscópica (%)	1,23 ± 0,60	1,46 ± 0,43
Umidade Total (%)	10,98 ± 1,36	10,81 ± 2,36
Cinzas (%)	81,31 ± 2,04	80,72 ± 3,64
Matéria Volátil (%)	10,15 ± 0,77	10,08 ± 1,46
Carbono Fixo (%)	8,54 ± 1,44	9,21 ± 2,30
Enxofre Total (%)	0,69 ± 0,35	1,45 ± 0,95
PN (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	(-) 2,69 ± 3,89	(-) 4,00 ± 2,27
PA (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	21,51 ± 11,05	45,31 ± 29,72
PNL (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	(-) 24,20 ± 11,20	(-) 49,31 ± 30,65
RPN (Kg CaCO <sub>3</sub> /t)	(-) 0,16 ± 0,30	(-) 0,11 ± 0,08

Fonte: Da autora, 2014.

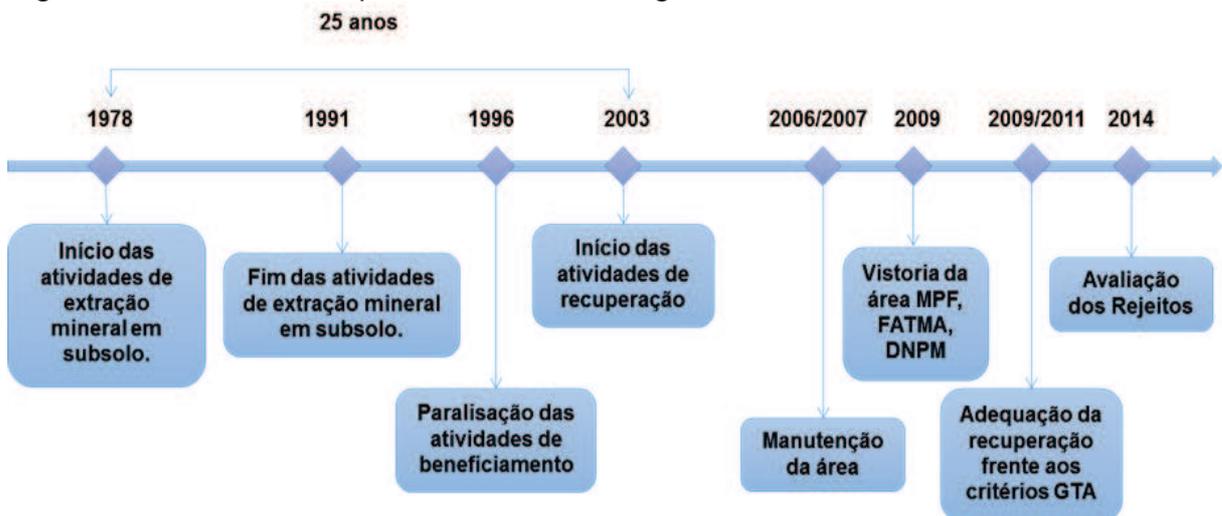
Esses dados representam a caracterização do rejeito em 2014, onde servirão para auxiliar na interpretação dos dados subsequentes.

## 4.7 COMPARAÇÃO TEMPORAL DA EXPOSIÇÃO DOS REJEITOS

### 4.7.1 Santa Augusta

A linha do tempo trás os principais fatos que ocorreram em cada área até os dias de hoje, ajudando a compreender os processos atuantes e as modificações que aconteceram em cada área. A Figura 20 ilustra a linha do tempo da área Santa Augusta.

Figura 20: Linha do Tempo da área Santa Augusta.



Fonte: Da autora, 2014.

Conforme dados consultados no PRAD da área Santa Augusta, em 1991 foi realizada a caracterização do rejeito primário e secundário da Camada Barro Branco. Assim, com os dados obtidos da média dos valores das 6 amostras da área, pode-se visualizar a redução do teor de enxofre total na Tabela 14.

Tabela 14: Caracterização do rejeito da Área Santa Augusta.

SANTA AUGUSTA	Caracterização do Rejeito		
	1991*		2014**
Parâmetros (%)	Rejeito Primário	Rejeito Secundário	Rejeito (Depósito)
Umidade Higroscópica	1,86	1,29	1,46
Cinzas	80,81	78,82	80,72
Matéria Volátil	12,78	11,14	10,08
Carbono Fixo	6,41	10,04	9,21
Enxofre Total	11,47	5,48	1,45

\*PRAD Santa Augusta, 2006.

\*\* Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

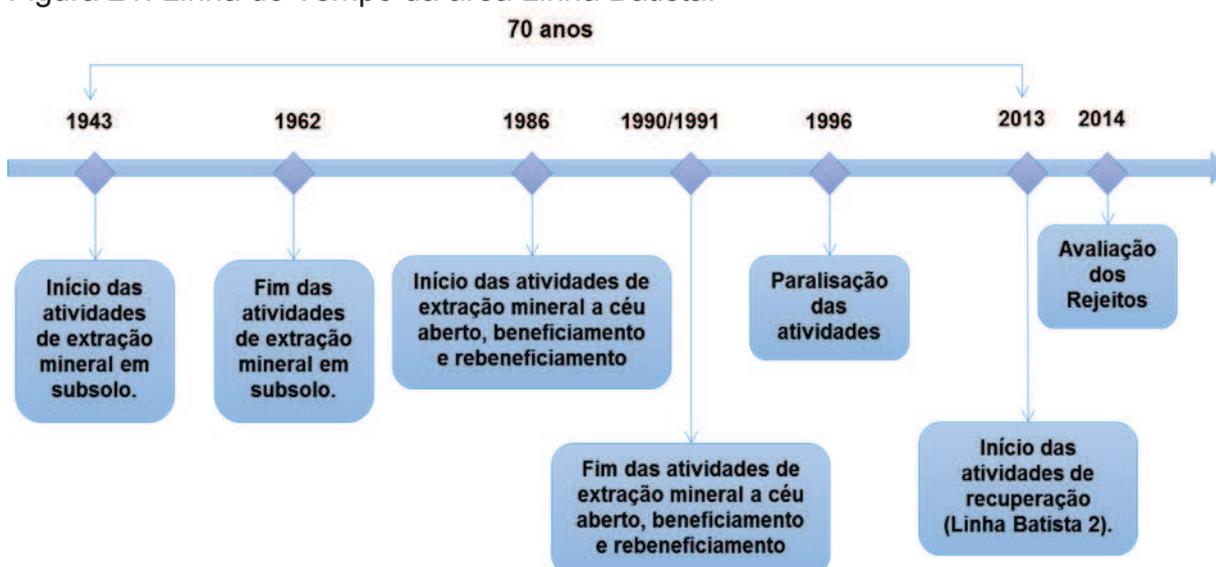
Fonte: Da autora, 2014.

Em relação ao valor encontrado em 2014, considerando que o rejeito ficou exposto 25 anos, e que após 2003 iniciaram-se as atividades de recuperação da área, pode-se verificar que após 11 anos, a redução do teor de enxofre chega a 74%.

#### 4.7.2 Linha Batista

A seguir encontra-se ilustrada na Figura 21 a linha do tempo da área Linha Batista.

Figura 21: Linha do Tempo da área Linha Batista.



Fonte: Da autora, 2014.

Conforme dados consultados no PRAD da área Linha Batista, em 1991 foi realizada a caracterização do rejeito da Camada Barro Branco, nessa época o rejeito já tinha ficado exposto às intempéries durante 48 anos (1943-1991). Assim, com os dados obtidos da média dos valores das 6 amostras da área, pode-se visualizar a redução do teor de enxofre total na Tabela 15.

Tabela 15: Caracterização do rejeito da Área Linha Batista.

LINHA BATISTA – Área 02	Caracterização do Rejeito	
	1991*	2014**
Parâmetros		
Cinzas (%)	78,6	81,31
Matéria Volátil (%)	11,13	10,15
Carbono Fixo (%)	10,27	8,54
Enxofre Total (%)	0,81	0,69

\*PRAD Linha Batista, 2006.

\*\* Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

Fonte: Da autora, 2014.

Em relação ao valor obtido nos testes, considerando que o rejeito está exposto 70 anos, que se têm dados da caracterização do rejeito datado em 1991, pode-se dizer que após 23 anos (1991 – 2014), a redução do teor de enxofre chega a 15%.

O fato de não termos uma caracterização inicial do rejeito, nos remete que esse rejeito já sofreu bastante lixiviação, mas ainda com potencial de geração de drenagem ácida. O teor de redução de 15% apresenta-se como um valor baixo quando comparado com o teor de enxofre da área Santa Augusta.

#### 4.8 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS

Para se conhecer a quantidade de resíduos causadores de acidez que estão depositados nas áreas, buscaram-se as profundidades das áreas, para assim estimar a quantidade de resíduos.

A Tabela 16 mostra os volumes estimados de rejeitos que se encontram em cada área, assim como o potencial para gerar ácido que cada área apresenta e a quantidade de material necessário para neutralizar todo o ácido a ser produzido.

Tabela 16: Estimativa do volume de resíduos, do PA e do PNL das áreas em estudo.

<b>Dados</b>	<b>Linha Batista (2)</b>	<b>Santa Augusta</b>
Área (m <sup>2</sup> )	510.000	131.200
Camada média de resíduo (m)	5,5	30
Volume estimado de resíduos (m <sup>3</sup> )	2.805.000	3.936.000
Massa estimada do resíduo (t)	5.610.000	7.872.000
Potencial de geração de ácido (t CaCO <sub>3</sub> )	120.671,10	318.579,84
Necessidade de Neutralizante (PNL)(t CaCO <sub>3</sub> )	(-)135.762,00	(-)388.168,32

\*Densidade estimada = 2t/m<sup>3</sup>.

Fonte: Da autora, 2014.

Observa-se que a área Santa Augusta possui maior volume de rejeito, e apresenta o maior potencial de geração de acidez, em função de seu teor de enxofre ser maior, indicando ser um rejeito mais agressivo e até mais reativo.

Cabe citar que essa área tem potencial de gerar a drenagem, porém está limitada pelas ações de recuperação. Caso ocorra algum evento na área, ela pode sofrer alterações, como por exemplo, sofrer erosões, facilitando a infiltração da água da chuva e facilitando o contato do sulfeto com o oxigênio.

#### 4.9 QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

O acompanhamento da evolução da qualidade das águas visa avaliar a contribuição das medidas previstas no PRAD, no caso da área Santa Augusta e acompanhar o comportamento da área Linha Batista, visando uma evolução ou estabilização da qualidade do recurso hídrico.

##### 4.9.1 Santa Augusta

Conforme divulgado no 6º Relatório de passivos ambientais e pelas informações cedidas pela Carbonífera Rio Deserto Ltda., na Tabela 17 seguem para conhecimento os pontos de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas com sua respectiva localização e descrição.

Tabela 17: Codificação, descrição e localização dos pontos de monitoramento superficial e subterrâneo da Área Santa Augusta.

PONTO	Coordenadas		Descrição
	E	N	
<b>Monitoramento Superficial</b>			
SA 01	654903	6826800	Montante dos depósitos de rejeito no Bairro Boa Vista.
SA 02	654914	6826108	Jusante dos depósitos no Bairro Boa Vista.
SA 03	655087	6824808	Montante pátio da mina no Bairro Santa Augusta.
SA 03.1	655167	6824696	Rio Criciúma a montante do pátio da mina Santa Augusta.
SA 04	654642	6824107	Jusante da área no limite com o Bairro Santa Luzia.
SA 06	655317	6824359	Drenagem que corta a área no sentido UNESCO Cidade Mineira, antes do Rio Sangão.
SA 09	654989	6824549	Após a confluência do Rio Sangão com canal artificial esgoto.
SA 13	654708	6824282	Rio Sangão ao final da área.
<b>Monitoramento Subterrâneo</b>			
SAPZ 01	654742	6824289	Jusante da área, talude do rio Sangão.
SAPZ 02	654943	6824434	Talude do rio Sangão, próximo à calha 03.
SAPZ 03	655034	6824556	Próximo ao poço antigo de ventilação (Minageo).
SAPZ 04	65508	6824583	Localiza-se na área 2.
SAPZ 05	655200	6824494	Pátio da mina, montante a área.
SAPZ 06	655240	6824427	Próximo a boca de mina tamponada.
SAPZ 07	655060	6824267	Leste da área recuperada.
SAPZ 08	654829	6824336	Próximo ao SAPZ 02.
SAPZ 09	655264	6824711	Margens do Rio Criciúma a montante da área.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 2014.

Para correlacionar a qualidade dos recursos hídricos foram selecionados pontos representativos da área. Para o monitoramento superficial foram os pontos SA 03, SA 09, SA 13 e o SA 04, e para o monitoramento subterrâneo foram os pontos SAPZ 01, SAPZ 02, SAPZ 03, SAPZ 05 e o SAPZ 09. A localização dos pontos de monitoramento selecionados pode ser visualizada na Figura 22.

Também foram definidos 3 parâmetros para análise, que são: o pH, manganês e o ferro total.

Figura 22: Localização dos pontos de monitoramento na área Santa Augusta.

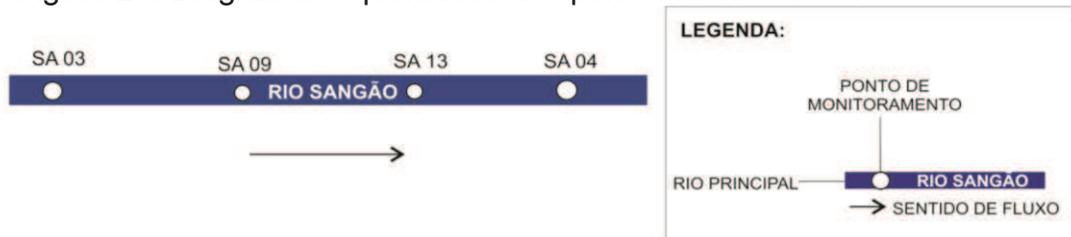


Fonte: Da autora, 2014.

O ponto SA 03 está localizado a montante do pátio na Mina Santa Augusta, e cabe salientar que a montante deste ponto, o corpo hídrico recebe inúmeras contribuições externas que influenciam negativamente a qualidade da área, além de passar por outras áreas mineradas, assim quando chega à área Santa Augusta os parâmetros já se apresentam em desacordo com a legislação. O ponto SA 04 está a jusante da área, sendo possível através da correlação com o ponto a montante verificar se a área apresenta influência sobre a qualidade da água analisando este ponto. O ponto SA 09 se encontra após a confluência do Rio Sangão com canal artificial de esgoto e o SA 13 é um ponto no Rio Sangão ao final da área.

O fluxo do escoamento superficial pode ser visualizado pela Figura 23.

Figura 23: Diagrama esquemático dos pontos monitorados.



Fonte: Da autora, 2014.

Com relação aos pontos de monitoramento superficial, as médias anuais dos parâmetros analisados encontram-se apresentados na Tabela 18.

Tabela 18: Resultados dos pontos superficiais dos parâmetros analisados no período de 2007 a 2014 - Santa Augusta.

Pontos	SA 03			SA 09			SA 13			SA 04		
	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)									
2007	2,75	121,00	4,21	2,92	90,63	2,72	*	*	*	*	*	*
2008	3,00	118,00	3,30	3,25	82,85	2,52	*	*	*	*	*	*
2009	2,86	62,28	2,43	2,97	46,75	2,05	*	*	*	*	*	*
2010	2,76	56,71	2,78	2,82	44,46	2,21	*	*	*	*	*	*
2011	2,90	56,61	2,48	3,02	36,93	1,90	3,06	37,64	1,93	3,70	26,40	1,11
2012	2,85	57,67	2,85	2,96	36,37	1,93	2,97	42,58	1,95	3,33	27,77	1,43
2013	2,99	78,19	2,32	3,10	69,25	1,97	3,10	46,05	1,97	3,39	50,75	1,45
2014	2,96	44,22	1,97	3,06	38,12	1,63	3,06	35,62	1,70	3,08	37,42	1,64

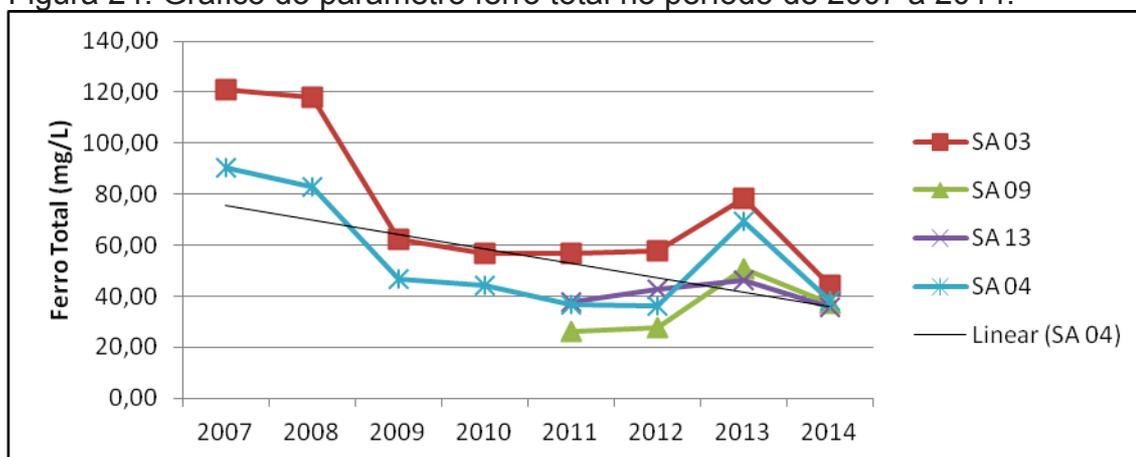
\*Ausência de dados de monitoramento.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 2014.

Analisando as tabelas com os dados de monitoramento, percebe-se que todos os parâmetros, nos pontos SA 03 e SA 09, no período de 2007 até 2014 tiveram uma gradativa melhora, e os pontos SA 13 e SA 04 se mantiveram estabilizados, indicando uma evolução positiva no processo de recuperação da área.

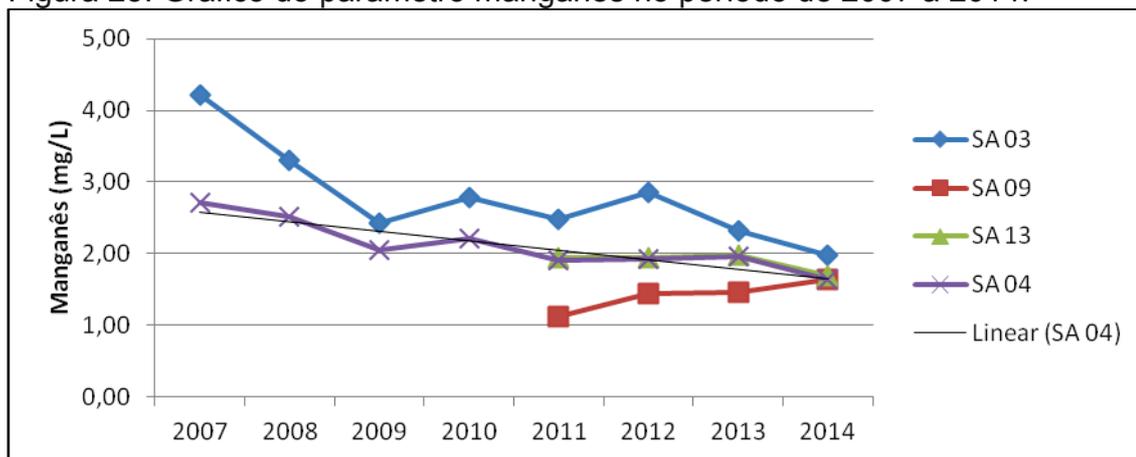
Por exemplo, em 2007 o ponto SA 03, no parâmetro de ferro total apresentava valores de 121,00 mg/L, chegando à 44,22 mg/L em 2014. Essa tendência de redução, pode ser visualizada nas Figuras 24 e 25, onde se optou em colocar a tendência no ponto a jusante da área.

Figura 24: Gráfico do parâmetro ferro total no período de 2007 a 2014.



Fonte: Da autora, 2014.

Figura 25: Gráfico do parâmetro manganês no período de 2007 a 2014.



Fonte: Da autora, 2014.

Apesar de todos os parâmetros analisados estarem acima do estabelecido pelos padrões legais, eles indicam uma tendência de evolução positiva nos pontos amostrados da área.

Pode-se afirmar que os serviços de recuperação ambiental executados na área apresentaram saldo positivo, sem influência adversa na qualidade das águas superficiais. Entretanto, no que tange à legislação ambiental para qualidade das águas superficiais os rios da região estão em desacordo. Porém os recursos hídricos da região não foram classificados, sendo adotados como classe II.

Com relação aos pontos de monitoramento subterrâneo, as médias anuais dos parâmetros analisados encontram-se apresentados na Tabela 19.

Tabela 19: Resultados dos pontos subterrâneos dos parâmetros analisados no período de 2009 a 2014 - Santa Augusta.

Pontos	ANO	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SAPZ 09	pH	*	4,46	4,06	4,9	3,52	4,97
	Fe (mg/L)	*	29,98	1,85	1,06	5,83	25,92
	Mn (mg/L)	*	0,49	0,2	0,15	0,19	0,08
SAPZ 03	pH	3,39	3,2	3,01	3,11	3,01	3,21
	Fe (mg/L)	667	450	557	689	576,5	592
	Mn (mg/L)	5,71	5,61	5,89	8,38	5,54	5,31
SAPZ 05	pH	3,05	3,11	2,99	3,3	3,04	3,12
	Fe (mg/L)	208	474	392	80,3	16,45	35,81
	Mn (mg/L)	5,84	5,39	4,83	3,21	5,05	3,74
SAPZ 02	pH	3,74	3,66	3,36	3,37	3,37	3,95
	Fe (mg/L)	2420	2210	2199	1893	2370	2150
	Mn (mg/L)	41,7	39,48	32,21	28,83	37,3	27,4
SAPZ 01	pH	2,91	2,75	2,82	2,86	2,9	2,85
	Fe (mg/L)	500	284	314	225	230	390
	Mn (mg/L)	6,79	5,09	4,45	4,08	5,12	4,32

\*Ausência de dados de monitoramento.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda, 2014.

Na correlação dos pontos subterrâneos, o ponto SAPZ 09 está fora do limite da área, sendo definido como ponto a montante, caracterizando o ponto branco, porém este também recebe contribuições externas. No ponto SAPZ 03 se localiza no antigo poço de ventilação, e o ponto SAPZ 05 é o antigo pátio da mina. O ponto SAPZ 02 está alocado no talude do Rio Sangão e por fim o ponto SAPZ 01 que está à jusante da área.

Analisando as tabelas com os dados de monitoramento, percebe-se que desde 2007 até 2014 todos os parâmetros tiveram uma gradativa melhora.

Percebe-se que o ponto SAPZ 02 tem os valores mais elevados para o parâmetro ferro. Esses valores podem ser explicados, pois neste local se concentra

exatamente o talude do depósito de rejeitos. Apesar desse fato, desde 2009 a 2014 esses valores vêm diminuindo.

#### 4.9.2 Linha Batista

Conforme divulgado no 6º Relatório de passivos ambientais e pelas informações cedidas pela Carbonífera Rio Deserto Ltda., na Tabela 20 seguem para conhecimento os pontos de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas com sua respectiva localização e descrição.

Tabela 20: Codificação, descrição e localização dos pontos de monitoramento superficial e subterrâneo da Área Linha Batista.

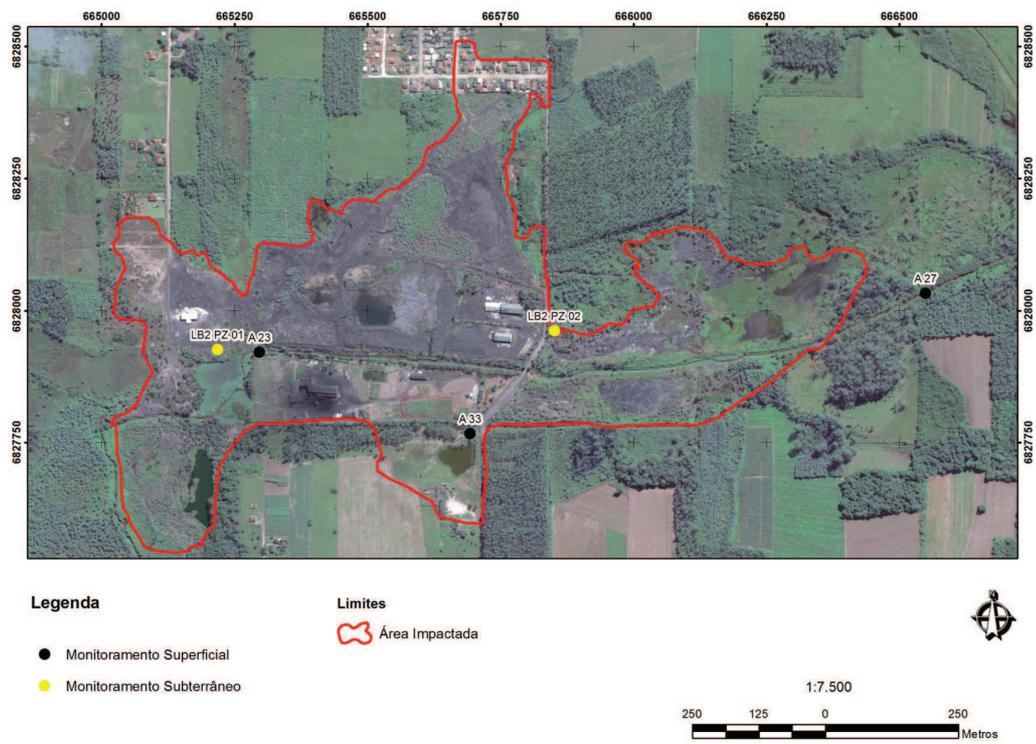
PONTO	Coordenadas		Descrição
	E	N	
<b>Monitoramento Superficial</b>			
A 11	665760	6830745	Rio Ronco d'água a montante da A1
A 15	666190	6830745	Rio Ronco d'água abaixo da A1
A 16	665256	6829481	Afluente do Rio Linha Anta próximo ao Loteamento Buenos Aires
A 18	666005	6829060	Drenagem leste ao chegar no afluente do Rio L.Anta
A 23	665300	6827767	Estrada no canal principal a oeste na A2
A 27	666550	6828033	Canal principal a jusante da área A2
A 28	668999	6826599	Linha Anta abaixo do canal principal e da área A1 e A2
A 33	665693	6827767	Águas de subsolo aflorantes na lagoa ao sul da área
<b>Monitoramento Subterrâneo</b>			
LB1 PZ 01	665822	6828998	Montante da área esquina da estrada vicinal/municipal ao lado do muro.
LB1 PZ 02	665706	6830124	Estrada de acesso ao Shalon.
LB1 PZ 03	665880	6830531	Jusante da área, próximo à estrada municipal.
LB2 PZ 01	665218	6827926	Montante da área na parte oeste.
LB2 PZ 02	665852	6827962	Lado estrada municipal, antes ponte acesso para empresa Carbomar.
LB2 PZ 03	6661120	6827980	Jusante da área na parte leste, próximo ao banhado.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 2014.

Para correlacionar a qualidade dos recursos hídricos foram selecionados pontos representativos da área. Para o monitoramento superficial foram os pontos A 23, A 27 e o A 33 e para o monitoramento subterrâneo foram os pontos LB2 PZ01, LB2 PZ02 e o LB2 PZ03. A localização dos pontos de monitoramento selecionados pode ser visualizada na Figura 26.

Também foram definidos 3 parâmetros para análise, que são: o pH, manganês e o ferro total.

Figura 26: Localização dos pontos de monitoramento na área Linha Batista.



Fonte: Da autora, 2014.

Com relação aos pontos de monitoramento superficial, as médias anuais dos parâmetros analisados encontram-se apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Resultados dos pontos superficiais dos parâmetros analisados no período de 2007 a 2014 – Linha Batista.

Pontos	A 23			A 33			A 27		
	ANO	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	pH	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	pH	Fe (mg/L)
2007	5,05	12,89	0,79	3,1	121	5,77	4,35	19,95	0,82
2008	4,35	12,42	0,7	3,2	47,62	3,47	3,8	26,75	0,73
2009	6,6	11,76	0,61	*	*	*	6,51	16,06	0,6
2010	5,54	4,9	0,37	2,54	444	1,25	4,09	13,34	0,36
2011	6,19	12,05	0,59	2,43	396	1,78	5,86	13,85	0,59
2012	7,03	4,27	0,36	3,06	116	5,02	4,81	3,54	0,36
2013	6,74	7,93	0,78	3,17	103,4	7,61	6,44	10,53	0,73
2014	6,33	2,85	0,61	3,49	75,93	2,41	5,4	6,98	0,63

\*Ausência de dados de monitoramento.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 2014.

Analisando as tabelas com os dados de monitoramento, percebe-se que todos os parâmetros, no período de 2007 até 2014 tiveram uma melhora significativa. O parâmetro pH apresenta tendência de aumento, e o parâmetro ferro total e manganês uma tendência de diminuição.

O fluxo de escoamento se dá do ponto A 23 para o ponto A 27, já o ponto A 33 são águas de subsolo aflorantes na lagoa ao sul da área.

Percebe-se que o ponto A 33, no ano de 2010 e 2011 tiveram os valores mais elevados para o parâmetro ferro, indicando uma anormalidade. Apesar desse fato, a partir de 2012 os valores vêm diminuindo, voltando a se estabilizar.

Com relação aos pontos de monitoramento subterrâneo, as médias anuais dos parâmetros analisados encontram-se apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: Resultados dos pontos subterrâneos dos parâmetros analisados no período de 2012 a 2014 – Linha Batista.

Pontos	LB2 PZ 01			LB2 PZ 02			LB2 PZ 03			
	ANO	pH	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	pH	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	pH	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)
2012	6,89	27,52	1,42	5,02	130	5,37	*			
2013	6,33	307	9,95	3,35	132	9,9				
2014	7,52	6,49	0,14	3,10	53,53	3,3				

\*Ausência de dados de monitoramento.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda., 2014.

Comparando os piezômetros da área da Linha Batista observa-se que de 2012 a 2013 os dois piezômetros apresentam uma melhora na concentração de ferro e manganês. Quando comparado os piezômetros das áreas Linha Batista e Santa Augusta observa-se que a qualidade é parecida em termos de manganês, porém o ferro é bastante diferente, ou seja, na área onde tem rejeitos expostos embora tenha ocorrido à recuperação, em termos de recursos hídricos subterrâneos a melhora não é percebida.

#### 4.10 CLASSIFICAÇÃO DOS REJEITOS

A NBR 10004 classifica os resíduos sólidos quanto a seus riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos, Classe I (resíduos perigosos) e Classe II (resíduos não perigosos), sendo ainda este último subdividido em Classe II A (resíduos não inertes) e Classe II B (resíduos inertes) (ABNT, 2004).

Para a classificação do resíduo foi, primeiramente, realizado o teste de corrosividade, e o mesmo não apresentou valores inferior ou igual a 2 e nem superior a 12,5, e também não apresentou reatividade, conforme a Tabela 23.

Tabela 23: Resultados dos testes de corrosividade e reatividade.

Testes	Parâmetro	Rejeito Santa Augusta	Rejeito Linha Batista
Corrosividade	pH	2,48	2,49
Reatividade	Sulfeto(mg/Kg)	Não detectado	Não detectado

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

O teste de lixiviação é realizado para determinar se o resíduo é classificado como classe I (perigosos) ou classe II (não perigosos). Analisando a Tabela 24, pode-se constatar que nenhum parâmetro excedeu o estabelecido pela norma referida. Desta forma, de acordo com os resultados obtidos das análises de teste de lixiviação, corrosividade e reatividade, a amostra da área Santa Augusta e Linha Batista é caracterizada como não perigosa.

Tabela 24: Resultados dos testes de lixiviação.

Parâmetro (mg/L)	Rejeito Santa Augusta	Rejeito Linha Batista	Limite máximo no extrato (mg/L) de acordo com o anexo F da NBR 10004/04
pH lixiviado	4,84	4,88	*
Chumbo	0,05	0,04	1,00
Bário	0,02	0,04	70,00
Cádmio	0,01	0,01	0,50
Prata	N.D.	N.D.	5,00
Arsênio	<0,01	<0,01	1
Fluoreto	0,31	0,15	150
Mercúrio	<0,001	<0,001	0,1
Selênio	<0,01	<0,01	1

N.D.= Não Detectado.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

O teste de solubilização do resíduo foi realizado para diferenciar os resíduos classificados como classe II A e classe II B, sendo que os resultados obtidos encontram-se exposto na Tabela 25.

Tabela 25: Resultados dos testes de solubilização.

Parâmetro (mg/L)	Rejeito Santa Augusta	Rejeito Linha Batista	Limite máximo no extrato (mg/L) de acordo com o anexo G da NBR 10004/04
pH solubilizado	2,60	2,57	*
Sulfatos	<b>931,00</b>	<b>325,00</b>	250,00
Cloretos	135,00	14,98	250,00
Fenol	N.D.	N.D.	0,01
Ferro Total	<b>49,94</b>	<b>14,19</b>	0,30
Manganês	<b>1,43</b>	<b>0,38</b>	0,10
Cobre	0,25	0,25	2
Zinco	1,48	1,49	5
Alumínio	<b>91,10</b>	<b>24,70</b>	0,2
Chumbo	N.D.	0,01	0,01
Sódio	1,16	0,66	200
Cádmio	<b>0,23</b>	<b>0,01</b>	0,005
Prata	N.D.	N.D.	0,05
Bário	<0,01	0,01	0,7
Arsênio	<0,01	<0,01	0,01
Fluoreto	0,57	0,17	1,5
Mercúrio	<0,001	<0,001	0,001
Nitrogênio Nitrato	0,18	0,15	10
Selênio	<0,01	<0,01	0,01

N.D.= Não Detectado.

Fonte: Indústria Carbonífera Rio Deserto Ltda. – Divisão Laboratório, 2014.

Conforme os dados da Tabela 25, observa-se que a mesma apresentou parâmetros com resultados superiores ao limite máximo estabelecido pelo anexo G, da ABNT/NBR 10004/2004, sendo assim, esta amostra é classificada como resíduo Não perigoso – não inerte, ou seja, classe II A.

Comparando os resultados das duas áreas, percebe-se que os valores obtidos na área Santa Augusta são maiores que a na área Linha Batista. Correlacionando esses valores com o potencial de geração de acidez, a área que mais apresenta o potencial, também é a mais que apresenta valores maiores no teste de solubilização, neste caso a área Santa Augusta.

## 5 CONCLUSÃO

Por meio do estudo realizado com a utilização do método estático, determinou-se que as amostras de rejeito do depósito da área Santa Augusta e do pátio operacional da Linha Batista são potencialmente geradores de acidez, aumentando o potencial de geração de DAM.

Na utilização dessa metodologia deve-se levar em conta, que houve uma representação máxima do potencial de acidez e o potencial de neutralização, isso porque os testes foram realizados com o teor de enxofre total. A metodologia adotada foi adequada para o atingimento dos objetivos. Conforme já mencionado no referencial teórico, existem três espécies químicas de enxofre associadas ao carvão: o pirítico, o sulfático e o orgânico. O enxofre pirítico é o responsável pela produção de acidez. A análise de enxofre total ultrapassa o teor do enxofre pirítico, porque usualmente estão presentes as três espécies.

Em síntese há uma série de variáveis que interferem diretamente no potencial poluidor de cada área, como o intemperismo, a composição dos rejeitos, granulometria do material depositado, tempo de deposição, grau de compactação, existência ou não de cobertura superficial, topografia do local de disposição, entre outros.

A preocupação das empresas do setor carbonífero, diante da cobrança dos órgãos ambientais está crescendo cada vez mais. Criou-se uma situação onde o setor carbonífero está empenhado em recuperar as áreas impactadas pelo carvão.

As empresas deste segmento são caracterizadas pela elevada geração de resíduos/rejeitos carbonosos, tendo como foco a disposição e o tratamento físico-químico da DAM. Entretanto na mineração de carvão, os rejeitos quando lixiviados solubilizam elementos como o sulfato férrico, sulfato ferroso e ácido sulfúrico, os quais poderiam ser recuperados, e constituir matéria prima para a fabricação de produtos, como por exemplo, coagulantes. Com a utilização dos rejeitos para fabricação de novos produtos, os teores de metais, enxofre e todos os lixiviados serão reduzidos, e conseqüentemente irá diminuir a geração de DAM, diminuindo custos na recuperação da área.

Acentua-se a necessidade de desenvolver tecnologias que visem o reaproveitamento desses rejeitos, tentando conciliar a conservação do meio ambiente e o desenvolvimento econômico.

O presente trabalho demonstra que se faz necessário a recuperação das áreas impactadas pela mineração de carvão, que as ações de isolamento dos rejeitos contaminantes em células compactadas, tornam-se eficientes, evitando a continuidade da oxidação da pirita, e ressalta-se a importância do monitoramento e manutenção das áreas.

Recomenda-se o uso desse teste como método de avaliação das áreas recuperadas, tendo o acompanhamento anual desse potencial de geração de acidez, para ter nitidamente a evolução das áreas ao longo do tempo. Seria importante também, nas áreas que ainda não foram recuperadas, se estabelecer a linha do tempo de forma a se ter dados para possíveis comparações, e o teste pode ser utilizado como critério de priorização para recuperação das áreas.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, Nadja Zim; KREBS, Antônio Silvio Jornada. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. Porto Alegre: CPRM, 1995. 73 p. (Recursos hídricos V. 6)

AMARAL, J. E.; *et al.* **Mitigação ambiental de áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina**. 2011. Disponível em: <<http://www.portalsatc.com/site/adm/arquivos/10739/030520121631482.PDF>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 3ª Ed, 2008. 159p. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par3\\_cap9.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap9.pdf)> Acesso em: 11 set.2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO MINERAL - ABCM. **História do Carvão no Brasil**, 2014. Disponível em: <[http://www.carvaomineral.com.br/interna\\_conteudo.php?i\\_subarea=8&i\\_area=4](http://www.carvaomineral.com.br/interna_conteudo.php?i_subarea=8&i_area=4)> Acesso em 25 ago 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13030: Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**.Rio de Janeiro: 1999.5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13029: Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha, em mineração - Procedimento**. Rio de Janeiro: 1993.8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8290: determinação do teor de matéria volátil**. Rio de Janeiro: 1983b. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8293: determinação de umidade**. Rio de Janeiro: 1983c. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181/1984. Análise Granulométrico – Solos**. Rio de Janeiro: 1984. 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8289/1983. Carvão mineral – determinação do teor de cinza**. Rio de Janeiro. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:2004. Resíduos sólidos- classificação**. Rio de Janeiro. 77p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8299:1983. Carbono**. Rio de Janeiro. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL – ASTM. **ASTM 4239:1997 Standard test method for sulfur in the analysis sample of coal and coke using high temperature tube furnace combustion methods**, 1997.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BELLOLI, Mário; QUADROS, Joice; GUIDI, Ayser. **História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma, SC: MEG, 2002. Vol.1.

BIFANO, Márcia Alves. **Predição do potencial de Drenagem Ácida de Minas, utilizando o método estático**. CETEM, 2007. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_l\\_jpci\\_2007/Marcia\\_Bifano.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_l_jpci_2007/Marcia_Bifano.pdf)> Acesso em 06 ago. 2014.

BORMA, L.S; SOARES, P.S.M; Drenagem ácida e gestão de resíduos sólidos de mineração. In: TRINDADE, B.E.; BARBOSA FILHO, O (Eds.). **Extração de Ouro: Princípio, tecnologia e meio ambiente**. CETEM, 2002. p 243-266.

BORTOLUZZI et.al. Pesquisa geológica na bacia carbonífera da Santa Catarina. **Pesquisas**, v.11, p33-192, 1978.

BRANCO, Pércio de Moraes. **O carvão Mineral**. CPRM. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2558&sid=129>> Acesso em: 27 ago. 2014.

BRASIL, Constituição (1988), **Constituição da República Federativa do Brasil**, Casa Civil, Brasília, DF, 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2014.

BRASIL, **Decreto Nº 97.632**. Casa Civil, Brasília, DF, 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D97632.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2014.

BRASIL, **Lei Nº 6938**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Casa Civil, Brasília, DF, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938compilada.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938compilada.htm)>. Acesso em: 25 ago. 2014.

BRASIL. **Lei nº 12.305**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12/02/1998; e dá outras providências. **D.O.U.**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 06 ago. 2014.

BRASIL. **Lei Nº 9.985/2000**. Casa Civil. Brasília. DF, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm)> Acesso em: 20 ago 2014.

CETEM/MCT. **Projeto Conceitual para a Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense**, RT 46/2000 – Relatório Técnico Elaborado para SIECESC, Vol. 3, março 2001.

CITADINI ZANETTE, V. **Diagnóstico da região carbonífera no sul de Santa Catarina - Recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão**. Revista de Tecnologia e Ambiente, Criciúma, v. 5, n.2. 1999. p 51- 61.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 001**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. D. O. U. Brasília, DF, 17/2/86. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 357**. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2014.

DUARTE, Anderson Pires. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte: UFMG, 2008.117p.

FARFAN, J. R. J. Zumarán; BARBOSA FILHO, O.; SOUZA, V. P. de. **Avaliação do potencial de drenagem ácida de rejeitos da indústria mineral**. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. 36 p. FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002.p 15-75.

GOMES, A. J. P. CRUZ, P. R. BORGES, L. P. Recursos Minerais Energéticos: Carvão e urânio. In: BIZZI et al (Eds.). **Geologia, tectônica e Recursos minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, 2003. p 577- 601. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI\\_a.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/capXI_a.pdf)>Acesso em: 21 de ago. 2014.

GUEVARA, L. R. Z. **Predição do Potencial de Drenagem Ácida de Minas utilizando o Método Cinético das Colunas de Lixiviação**. PUC-RIO, 2007, 131p. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro. Disponível em:<[http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca\\_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=10536@1](http://www.maxwell.vrac.pucrio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=10536@1)> Acesso em 04 ago. 2014.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). **Manual de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração: Técnicas de Revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

IBRAM. **Mineração e Meio Ambiente**. Brasília: Instituto Brasileiro de Mineração, 1992. 126p.

IBRAM. NRM 21: **Reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas**. Normas reguladoras de mineração – NRM. 2001.

JFSC - JUSTIÇA FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Portal da Ação Civil Pública do Carvão**. 2010. Disponível em: <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo\\_portal/conteudo.php?cat=36](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=36)>. Acesso em: 07 ago. 2014.

JFSC - JUSTIÇA FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Portal da Ação Civil Pública do Carvão**. 2012. Disponível em: <<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/>> Acesso em: 27 jun. 2014

KOPEZINSKI, Isaac. **Mineração x meio ambiente**: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 103 p.

KOPPE, J.C.COSTA, J.F.C.L. Mineração. In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002. p 15-27.

KREBS, A.S.J; POSSA, M.V. O papel da hidrogeologia como instrumento de gestão ambiental na mineração de carvão. In: SOARES, Paulo Sérgio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. (Ed.). **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p 109-127

KREBS, Antônio Silvio Jornada; NOSSE, Eduardo de Oliveira. **Potencial hidrogeológico do município de Criciúma - SC**. Porto Alegre: CPRM, 1998. 45 p

LOPES, R, P; SANTO, E.L; GALATTO. Mineração de carvão em Santa Catarina: Geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde (Coord.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. p 51-70.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de. **Tratamento de minérios**. 4ªed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 858 p.

MACHADO, L. A. **Ensaio estáticos e cinéticos para a prevenção da geração de drenagem ácida de minas na mineração de carvão com cinzas de termoelétricas e escória de aciaria**. Porto Alegre: UFRGS, 2007. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/10974>> Acesso em: 01 ago. 2014.

MILIOLI, G. A indústria de mineração de carvão no Brasil – Ideias para o futuro: o caso de Santa Catarina. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI ZANETTE, Vanilde (Coord.). **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. p 275-302.

ORTIZ, L; TEIXEIRA, E.C. Influencia das atividades de processamento do carvão sobre a qualidade dos recursos hídricos superficiais. In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/

UFSC/FEPAM-2002. p 301 – 340.

PEREIRA, S,Y. Indicadores de qualidade ambiental em áreas degradadas. p 161-179. In: ALBA, J.M.F. **Recuperação de Áreas Mineradas**. 2ª ed.rev. Brasília, DF: Embrapa informação Tecnológica, 2010. 326 p.

PINTO, L.F.S; KAMPF, N. Contaminação de solos construídos. In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002.p 70-82.

PRAD - **Plano de Recuperação de área Degradada: Setor Linha Batista**. Empresas Rio Deserto, 2006. Disponível em:<  
<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/riodeserto/prads/Linha%20Batista.pdf>>  
 Acesso em: 18 ago. 2014

PRAD - **Plano de Recuperação de área Degradada: Setor Santa Augusta**. Empresas Rio Deserto, 2006. Disponível em:<  
<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/conteudo/riodeserto/prads/Santa%20Augusta.pdf>>  
 >Acesso em: 18 ago. 2014

RAMOS, N, P. JUNIOR, A, L. **Monitoramento Ambiental**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica – AGEITEC, 2014. Disponível em:<  
[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_73\\_711200516719.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html) > Acesso em: 24 set 2014.

REDIVO, R. V.; CONSONI, K. P.; SILVA, L. H. **6º Relatório do andamento das obras de recuperação**. Empresas Rio Deserto, 2013. Disponível em:  
 <[https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/2013/rel\\_empresas/riodeserto/6\\_%20Rel\\_Passivos\\_Ambientais\\_na\\_Recup\\_Amb\\_Rio\\_Deserto\\_2013.htm](https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/2013/rel_empresas/riodeserto/6_%20Rel_Passivos_Ambientais_na_Recup_Amb_Rio_Deserto_2013.htm)> Acesso em 18 ago. de 2014.

RIGOTTI, Nilo. Recuperação de áreas degradadas: estudo de caso. In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002.p 99-113.

SAMPAIO, Carlos Hoffmann. Beneficiamento. In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002.p 29-43.

SÁNCHEZ, L, E. Planejamento e gestão d processo de recuperação de áreas degradas.p 104-122.In: ALBA, J.M.F.**Recuperação de Áreas Mineradas**. 2ª ed.rev. Brasília, DF: Embrapa informação Tecnológica, 2010. 326 p.

SCHEIBE, L.F. O carvão em Santa Catarina: mineração e consequências ambientais.In: TEIXEIRA, Elba Calesso; PIRES, Marçal Jose Rodrigues. (Coord.). **Meio Ambiente e carvão: Impactos da exploração e utilização**. Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM-2002.p 45-66.

SIECESC - **Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina**. Disponível em:<[http://www.siecesc.com.br/meio\\_ambiente](http://www.siecesc.com.br/meio_ambiente)>Acesso em:15 ago. 2014.

SIECESC – Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. **Proposta de indicadores ambientais e plano de monitoramento para áreas degradadas pela mineração de carvão no Estado de Santa Catarina**. Criciúma, SC, 2006.62p.

SKOUSEN, J., ROSE, A., GEIDEL, G., FOREMAN, J., EVANS, R., HELLIER, W. **A handbook of technologies for avoidance and remediation of acid mine drainage**. West Virginia University and the National Mine Land Reclamation Center, 1998. 132p.

SOBEK, A. A.; SCHULLER, W. A.; FREEMAN, J. R.; SMITH, R. M. **Field and laboratory methods applicable to overburden and minesoils**. Washington, D.C., Environmental Protection Agency – EPA, 1978. (EPA 600/2-78-054).

SÜFFERT, T. CAYE, B.R.;DAEMON, R.F. **Projeto Carvão Bonito Gaseificável:Relatório Final**.Porto Alegre,DNPM/CPRM, 84p.v.1,1977.

UBALDO, M.O; SOUZA, V.P; Controle e mitigação dos impactos da drenagem ácida em operações de mineração. In: SOARES, P.S.M; SANTOS, M.D.C. dos; POSSA, M. V.(Ed). **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p 129-151.

U.S.EPA ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY U.S. (1994). **Technical Document: Acid Mine Drainage Prediction**, EPA530-R-94-036.