

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
UNIDADE ACADÊMICA DE HUMANIDADE, CIÊNCIAS E  
EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**SAMIRA BECKER VOLPATO**

**RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS  
AQUÁTICOS EM REGIÕES ESTUARINAS: ESTUDOS  
APLICADOS PARA O TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE  
SEDIMENTOS CONTAMINADOS PELA DRENAGEM ÁCIDA  
DE MINA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
URUSSANGA/SC**

**CRICIÚMA  
2013**

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
UNIDADE ACADÊMICA DE HUMANIDADE, CIÊNCIAS E  
EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**SAMIRA BECKER VOLPATO**

**RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ECOSISTEMAS  
AQUÁTICOS EM REGIÕES ESTUARINAS: ESTUDOS  
APLICADOS PARA O TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE  
SEDIMENTOS CONTAMINADOS PELA DRENAGEM ÁCIDA  
DE MINA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
URUSSANGA/SC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes

**CRICIÚMA  
2013**

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

V931r Volpato, Samira Becker.

Recuperação ambiental de ecossistemas aquáticos em regiões estuarinas : estudos aplicados para o tratamento e disposição de sedimentos contaminados pela drenagem ácida de mina na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga/SC / Samira Becker Volpato ; orientador: Carlyle Torres Bezerra de Menezes. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2013.

107 p. : il.; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2013.

1. Áreas degradadas – Recuperação. 2. Ecossistema aquático – Urussanga, Rio, Bacia (SC). 3. Água - Qualidade. 4. Remediação ambiental. 5. Metais pesados. 6. Sedimentos fluviais. 7. Drenagem ácida de minas. I. Título.

CDD. 22. ed. 363.7394

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla – CRB 14/1101  
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC



Dedico aos meus pais, Vilmar e Mary, que souberam dar-me a direção para seguir os meus caminhos, e por serem referência em sabedoria e humildade.

## AGRADECIMENTOS

À força divina, que é maior, e possibilita atravessar obstáculos muitas vezes imagináveis. Deus, meu sinônimo de superação, conquista, felicidade, e acima de tudo, humildade.

Aos meus pais, Vilmar e Mary, que sempre lutaram e incentivaram o aprendizado contínuo, por muitas vezes terem aberto mão dos seus sonhos para dar-me a oportunidade de concluir mais esta etapa, a eles também que sempre me deram amor, apoio, incentivo, conselhos, carinho e força de vontade para seguir, minha eterna gratidão e amor.

A minha irmã, Thainá, pelo apoio, pela amizade, pela alegria e pelo amor.

Ao meu companheiro, José Victor, pelo amor, carinho, troca de ideias, dedicação, companheirismo e paciência em todos os meus momentos de estresse.

Aos meus avós, Raulino e Talita, que sempre me deram força e apoio nesta jornada.

Ao meu orientador e grande amigo, professor Carlyle, minha eterna gratidão pelas oportunidades oferecidas durante a minha graduação até o mestrado, pela amizade, conselhos, sabedoria e experiências compartilhadas, jamais vou esquecê-lo.

Aos docentes do PPGCA, pelos ensinamentos, convívio e experiências compartilhadas.

Aos meus colegas de turma, com os quais pude aprender, e com alguns ter amizades que levarei sempre comigo.

Aos funcionários da UNESC, especialmente os técnicos dos laboratórios que me deram todo suporte e atenção, em especial para a Jéssica e o Edson do Laboratório de Química e ao Rafael e Terezinha do Laboratório de Solos e Fertilizantes.

A Carbonífera Metropolitana por terem cedido os polímeros e pelas informações e suportes necessários.

A banca examinadora, por terem aceitado o convite e pela excelência profissional.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste trabalho, minha eterna gratidão.

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

Arthur Schopenhauer

## RESUMO

No desenvolvimento de estudos e projetos voltados para a recuperação ou restauração de ambientes aquáticos, é de fundamental importância a compreensão dos mecanismos de difusão de poluentes, tais como os metais tóxicos, proporcionando a identificação de fontes pontuais de poluição e o grau de extensão desses poluentes. Este trabalho teve como objetivo principal avaliar o papel dos sedimentos aquáticos na difusão de metais pesados oriundos da Drenagem Ácida de Mina de Carvão Mineral (DAM) e propor técnicas de tratamento e disposição do material extraído em processos de recuperação ambiental no estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, localizada no sudeste do Estado de Santa Catarina. A opção de estudar a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, se justifica pelo fato de ser, dentre as demais bacias da região carbonífera, a menos estudada e por estar inserida entre umas das regiões mais críticas do Brasil. Este ecossistema aquático recebe muitos efluentes gerados pela Drenagem Ácida de Mina (DAM) e isto faz com que se torne um ambiente com elevadas concentrações de metais pesados na água e no sedimento. O estudo dos mecanismos de difusão e os resultados relacionados à contaminação da bacia proporcionaram selecionar técnicas adequadas de gerenciamento do sedimento contaminado, técnicas essas que vão desde a dragagem, o tratamento até a disposição final deste material. Desta forma, a disposição segura e adequada de sedimentos após sua remoção e tratamento constitui-se um importante fator a ser melhor equacionado em projetos de dragagem de recursos hídricos, recuperação ou restauração ambiental de ecossistemas aquáticos.

**Palavras-chave:** Metais; Sedimento; Tratamento; Disposição final.

## ABSTRACT

The development of studies and projects for the recovery or restoration of aquatic environments is of fundamental importance to understanding the mechanisms of diffusion of pollutants such as toxic metals, providing the identification of sources of pollution and the degree of extension of these pollutants. This work aimed to evaluate the role of aquatic sediments in the diffusion of heavy metals originating from Acid Mine Drainage Coal (DAM) and propose techniques for treatment and disposal of the material extracted in the process of environmental recovery in the estuary of the River Basin Urussanga river, located in the southeast of the State of Santa Catarina. The option of studying Urussanga River Basin, is justified by the fact that , among other basins coalfield , the least studied and to be inserted between one of the most critical regions of Brazil. This aquatic ecosystem receives many effluents generated by Acid Mine Drainage (DAM) and this causes it to become an environment with high concentrations of heavy metals in water and sediment. The study of the mechanisms of diffusion and the results related to contamination of the basin provided select appropriate techniques for management of contaminated sediment, these techniques ranging from dredging, treatment to final disposal of this material. Thus, the provision of safe and adequate sediment after removal and treatment constitutes an important factor to be best solved dredging projects in water resources, environmental restoration or recovery of aquatic ecosystems .

**Keywords:** Metals; Sediment; Treatment; Final disposition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Draga Autotransportadora de arrasto .....	40
Figura 2 - Draga de sucção com desagregador .....	41
Figura 3 - Ilustração das etapas observadas com a adição de um polímero a uma suspensão .....	42
Figura 4 - Esquema operacional de um espessador de lamelas.....	45
Figura 5 - Tubo de Geotêxtil tecido (Geotube®).....	50
Figura 6 - Testes e ensaios realizados em campo no projeto do Canal do Fundão/RJ.....	51
Figura 7: Condicionamento dos sedimentos contaminados do Canal do Fundão/RJ.....	52
Figura 8 - Mapa com localização da área de estudo .....	54
Figura 9 - Representação das regiões hidrográficas de Santa Catarina. ....	55
Figura 10 – Localização geográfica da APA da Baleia Franca.....	56
Figura 11 - Ponto Amostral P02. ....	61
Figura 12 - Ponto Amostral P04. ....	61
Figura 13 - Rio Urussanga no Ponto 4 onde é cruzado pela ponte que liga o Balneário Rincão a Barra do Torneiro. ....	62
Figura 14 - Técnico do i-parque coletando sedimento com a Draga Birge-Ekman.....	63
Figura 15 - Técnico do i-parque coletando sedimento com o “Coletor de Inox”. ....	64
Figura 16 – Amostra dos ensaios .....	67
Figura 17 - Solução do Ensaio 1 .....	68
Figura 18 - Processo de Filtração da Solução .....	69
Figura 19 - Extrato do Ensaio 1 .....	70
Figura 20 - Material retido no filtro do Ensaio 1 .....	71
Figura 21 - Agitador rotativo para não voláteis .....	72
Figura 22 – Equipamento para filtração de voláteis.....	74
Figura 23 - Processo de Filtração utilizando compressor. ....	75
Figura 24 – Equipamento Jar-Test utilizado nos ensaios.....	77
Figura 25 – Soluções do Ensaio 01de floculação.....	79
Figura 26 – Neutralização das soluções com $\text{Ca(OH)}_2$ .....	80
Figura 27 – Soluções nas cubas do Jar-Test.....	81
Figura 28 – Agitação das soluções com o floculante.....	82
Figura 29 - Decantação dos Flocos no Jar-Test .....	83
Figura 30 - Decantação dos flocos nas cubas do Jar-Test.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros comparativos entre a flotação e a sedimentação lamelar.....	44
Quadro 1: Descrição dos pontos amostrais .....	60
Tabela 2 - Parâmetros analisados nos sedimentos e seus respectivos métodos analíticos.....	65
Tabela 3 – Resultados Ensaio 1.....	85
Tabela 4 – Resultados Ensaio 2.....	85
Tabela 5 – Resultados Ensaio 3.....	86
Tabela 6 – Resultados Ensaio 4.....	86
Tabela 7 - Correção do pH da Solução 1.....	87
Tabela 8 - Correção do pH da Solução 2.....	87
Tabela 9 - Correção do pH da Solução 3.....	88
Tabela 10 - Resultados, em $\text{mg.L}^{-1}$ , do tratamento com flocculantes para o Ensaio 01.....	88
Tabela 11 - Correção do pH da Solução 1.....	89
Tabela 12 - Correção do pH da Solução 2.....	89
Tabela 13 - Correção do pH da Solução 3.....	90
Tabela 14 - Resultados, em $\text{mg.L}^{-1}$ , do tratamento com Flocculantes para o Ensaio 2.....	90

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	Área de Proteção Ambiental
BH	Bacia Hidrográfica
BHRU	Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAM	Drenagem Ácida de Mina
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
i-Parque	Parque Científico e Tecnológico
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 Objetivo geral.....	25
2.2 Objetivos específicos.....	25
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Atividade Carbonífera na região sul do estado de Santa Catarina... 26	
3.1.1 Impactos ambientais da mineração de Carvão .....	26
3.2 O papel dos sedimentos na difusão de poluentes .....	29
3.2.1 Metais nos Sedimentos.....	30
3.3 Integração entre Bacias Hidrográficas e Ambientes Costeiros.....	32
3.3.1 Processos Hidrosedimentológicos.....	33
3.4 Dragagem, tratamento e disposição final de sedimentos contaminados.....	37
3.4.1 Dragagem dos sedimentos.....	37
3.4.2 Tratamento de DAM contida dos sedimentos .....	41
3.4.3 Alternativas de disposição final do material dragado e tratado....	45
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
4.1 Delimitação e Descrição da área de estudo .....	53
4.1.1 Características Climáticas .....	56
4.1.2 Geologia .....	57
4.1.3 Geomorfologia .....	57
4.1.4 Solos.....	58
4.2 Pontos Amostrais.....	59
4.3 Análises químicas e físico-químicas do sedimento .....	62
4.4 ensaios de bancada .....	66
4.4.1 Lixiviação.....	66
4.4.4.1 Ensaio1: Lixiviação Alcalina .....	67
4.4.4.2 Ensaio 2: Lixiviação Alcalina da torta de filtragem do Ensaio 1 .....	70
4.4.4.3 Ensaio 3: Lixiviação Ácida com pouco tempo de contato .....	72
4.4.4.4 Ensaio 4: Lixiviação Ácida com tempo de contato longo .....	75
4.4.2 Ensaios de Flocculação .....	76
4.4.2.1 Preparação dos Polímeros Flocculantes .....	77
4.4.2.2 Flocculação do extrato do Ensaio 4 .....	77
4.4.2.3 Flocculação do extrato do Ensaio 3 .....	84
<b>5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>85</b>
5.1Lixiviação.....	85
5.1.1 Ensaio 1: Lixiviação Alcalina .....	85
5.5.2 Ensaio 2: Lixiviação Alcalina da torta de filtragem.....	85

5.5.3 Ensaio 3: Lixiviação Ácida com pouco tempo de contato .....	86
5.5.4 Ensaio 4: Lixiviação Ácida com tempo de contato longo.....	86
5.2 Floculação .....	87
5.2.1 Correção do pH do extrato do Ensaio 4 .....	87
5.2.2 Floculação do extrato do Ensaio 4 .....	88
5.2.3 Correção do pH do extrato do Ensaio 3 .....	89
5.6.2 Floculação do extrato do Ensaio 3 .....	90
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>
ANEXO A – Laudos das campanhas de amostragem.....	102
ANEXO B – Resultados ensaios de lixiviação 1, 2, 3 e 4.....	106
ANEXO C – Resultados floculação ensaio 1 e 2.....	107

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Menezes (2003) e Pavei (2007), no Sul do Estado de Santa Catarina a atividade de mineração de carvão apesar de historicamente ter sido de extrema relevância para a economia da região, por outro lado, ela se destaca como uma das maiores responsáveis pelos danos ambientais causados na região, com severos impactos em todas as etapas dessa indústria desde a lavra, beneficiamento até a disposição dos resíduos sólidos e efluentes líquidos, comprometendo a qualidade dos ambientes aquáticos, terrestres e atmosféricos.

Dentre os processos associados à mineração de carvão, o efluente resultante de reações de oxidação denominado de Drenagem Ácida de Mina (DAM), constitui-se em uma fonte causadora de severos impactos ao meio ambiente. A DAM é proveniente de transformações ocorridas no rejeito da mineração de carvão, onde o sulfeto, oriundo de forma predominante da pirita, é inicialmente oxidado quimicamente e na sequência do processo é catalisado por bactérias, gerando efluentes com elevada acidez, baixo pH, altas concentrações em metais dissolvidos, tais como, ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), além de sulfatos (ALEXANDRE, 1999).

O estudo da contaminação por metais pesados em rios tem proporcionado predizer ou identificar as fontes pontuais de poluição e o grau de extensão desses poluentes, uma vez que potencialmente representam uma ameaça ao equilíbrio dos ecossistemas. As principais fontes antrópicas de metais pesados têm sido relacionadas aos efluentes urbanos, a queima de combustíveis fósseis, as indústrias de beneficiamento de minérios, fertilizantes e os depósitos de rejeitos (FÖRSTNER e WITTMANN, 1981).

De acordo com Vestena (2008), os sedimentos desempenham importante papel nos ambientes aquáticos já que são fontes de alimento e *habitat* para a fauna aquática. Menos de 1% das substâncias que atingem o sistema aquático são dissolvidas em água, conseqüentemente, mais de 99% são armazenadas no compartimento sedimentar. Por este fato, de acordo com Ribeiro et al. (2007) os sedimentos representam uma ferramenta importante na avaliação do grau de contaminação desses poluentes, tendo em vista que são representativos dos processos que ocorrem nos sistemas hídricos.

Leite (2002) afirma que o acúmulo de metais nos ecossistemas aquáticos tem despertado interesse sobre vários aspectos, principalmente em relação ao destino e os possíveis efeitos desses contaminantes e seu comportamento/distribuição na cadeia alimentar. Apesar de alguns deles

em baixas concentrações serem essenciais aos seres vivos, como ferro, zinco e manganês, em altas concentrações podem ser tóxicos. Outros metais, como mercúrio, chumbo, cádmio, cromo e níquel, de acordo com Esteves (1998), não têm função biológica conhecida e geralmente apresentam toxicidade aos organismos.

De acordo com dados Casemiro (2004), a Bacia do Rio Urussanga, juntamente com as bacias dos Rios Araranguá e Tubarão, recebem por dia 300 mil metros cúbicos de despejos ácidos das mineradoras, sendo equivalentes ao lançamento do esgoto de uma população de nove milhões de habitantes. São lançadas diariamente 3.370 toneladas de sólidos totais, 127 toneladas de acidez, 320 toneladas de sulfatos e 35,5 toneladas de ferro total. Como consequência, os níveis de qualidade da água são críticos, onde as concentrações de poluentes ultrapassam os níveis mínimos de segurança previstos na legislação ambiental vigente.

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o papel dos sedimentos aquáticos na difusão de metais tóxicos oriundos da Drenagem Ácida de Mina de Carvão Mineral (DAM) e propor técnicas de tratamento e disposição do material removido por meio dos processos de dragagem e recuperação ambiental do estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina.

A escolha desta bacia hidrográfica como objeto da pesquisa, localizada na região sudeste do Estado de Santa Catarina, se deu por ela estar inserida em uma das 14 regiões ambientalmente mais críticas do Brasil, bem como ser aquela que apresenta menos estudos comparativamente com as demais bacias hidrográficas da região carbonífera, as dos rios Tubarão e Araranguá. Este trabalho também se constitui em uma contribuição para o aperfeiçoamento das técnicas de recuperação de recursos hídricos, com ênfase no tratamento e disposição de sedimentos aquáticos contaminados e a recuperação ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o papel dos sedimentos aquáticos na difusão de metais pesados oriundos da Drenagem Ácida de Mina de Carvão Mineral (DAM) e propor técnicas de tratamento e disposição do material extraído em processos de recuperação ambiental no estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Estudar as formas de interação dos metais Fe, Zn e Mn adsorvidos em sedimentos aquáticos contaminados pela drenagem ácida de mina (DAM), com enfoque nos mecanismos físico-químicos de interfaces atuantes em regiões estuarinas;
- II. Desenvolver e selecionar técnicas em escala de bancada para a extração de metais contidos em sedimentos contaminados pela Drenagem Ácida de Mina;
- III. Avaliar a eficiência de processos de tratamento físico-químico e selecionar aqueles mais adequados para a extração de metais tóxicos contidos em sedimentos aquáticos, com vistas ao seu tratamento e disposição.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 ATIVIDADE CARBONÍFERA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE SANTA CATARINA**

Na região sul de Santa Catarina, a exploração de carvão teve início em 1876, mas obteve importância regional nas décadas de 50 e 60, quando as leis federais forçaram as siderúrgicas brasileiras a usar todo carvão nacional produzido (FEPAM, 2002). Com a crise do petróleo em 1973, as atenções se voltaram novamente para o uso do carvão nacional, mas de acordo com SIECESC (2009), no início da década de 90 toda a região sul catarinense passou por uma grande crise financeira.

O sistema de lavra na Região Carbonífera do sul de Santa Catarina é de “câmaras e pilares” onde é feita pela exploração de depósitos minerais tabulares, horizontais e sub-horizontais. O minério é escavado sendo deixados, a espaços regulares, pilares do próprio minério para a sustentação do maciço rochoso (HARTMAN, 1992 apud MARTINHAGO, 2005).

As alterações relacionadas entre a mineração e o meio ambiente podem variar desde a deposição de rejeitos, alteração dos solos, poluição atmosférica, geração de ruído até o uso abundante e poluição da água. Historicamente, a mineração é vista como uma atividade industrial não compatível com a proteção do meio ambiente. Mas, em anos recentes, os problemas ambientais nesta indústria têm sido abordados com maior frequência, ocupando uma posição significativa nos aspectos político, social e econômico (TORRES e GAMA, 2005).

##### **3.1.1 Impactos ambientais da mineração de Carvão**

O carvão é um recurso energético bastante importante e rentável. Em contrapartida, seus impactos ambientais ameaçam a qualidade dos ambientes aquáticos (LUCA, 1999).

Conforme o mesmo autor, a exploração do carvão gera uma quantidade expressiva de resíduos não aproveitáveis, que na maioria das vezes são descartados “in natura” no ambiente. Esta disposição inadequada expõe os rejeitos a determinadas condições climáticas, como umidade, precipitação pluviométrica, temperatura, evaporação, e a variações sazonais hidrológicas, geológicas e topográficas locais, ocasionando a degradação o solo e dos mananciais hídricos.

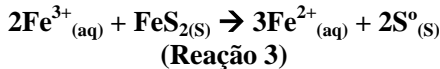
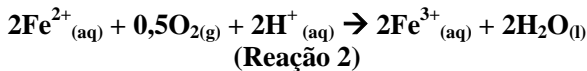
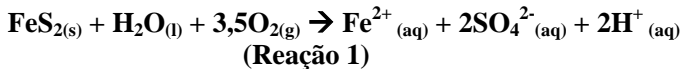
Apesar de a exploração de carvão ter trazido desenvolvimento socioeconômico para a região sul de Santa Catarina, como fonte de energia e empregos, em contrapartida, diversos foram os impactos ambientais que comprometeram a qualidade de vida na região, como a drenagem ácida de mina, os rejeitos de carvão que comprometem o solo e a qualidade dos recursos hídricos (AMARAL e KREBS, 2010).

As pilhas de rejeitos piritosos, por exemplo, em sua forma bruta, possuem elevados teores de minerais metálicos. Quando em contato direto com as águas da chuva, sofrem processos de lixiviação e erosão, além de promoverem a liberação de gases tóxicos, como o enxofre (CREPALDI, 1992). A ação do clima sobre estes depósitos estéreis também produz uma grande quantidade de efluente ácido decorrente da dissolução e oxidação da pirita ( $\text{FeS}_2$ ). Esta carga residuária, a Drenagem Ácida de Mina, caracterizada por uma alta concentração de metais pesados, como sulfatos de ferro e composta também por elementos orgânicos, é adicionada aos recursos hídricos produzindo alterações nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (RODRIGUES, 2006).

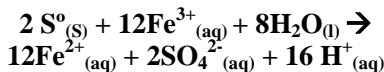
A Drenagem Ácida de Mina (DAM) é proveniente de cavas das minas, galerias subterrâneas, pilhas de estéreis ou de estoque, bacias de decantação e/ou rejeito e são também causados pelo fenômeno do intemperismo natural ao quais esses corpos ficam submetidos ao longo dos anos (GALATTO, 2003).

A DAM gerada na atividade carbonífera se caracteriza pela elevada acidez ( $\text{pH} < 3$ ) e pela expressiva concentração de metais como ferro, manganês, alumínio, níquel, cobre, magnésio, zinco, selênio, além de óxidos, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos entre outros (MENEZES, 2003; PAVEI, 2004).

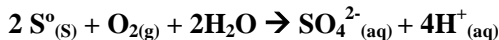
Segundo Singer e Stumm (1970 apud MELLO e ABRAHÃO, 1998), a drenagem ácida é resultante de um processo que envolve reações de oxidação de sulfetos produtoras de ácidos e reações de dissolução de certos minerais, principalmente carbonatos, capazes de produzir alcalinidade. O principal mineral sulfetado capaz de produzir drenagem ácida é a pirita ( $\text{FeS}_2$ ). A DAM é formada a partir de uma sequência de mecanismos de oxidação dos sulfetos, na presença do oxigênio e também como resultado da atividade bacteriana como segue as reações abaixo:



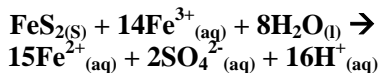
Nesta etapa do processo, se o pH for maior do que 3, a oxidação do  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  começa a ocorrer. O enxofre elementar ( $\text{S}^0$ ), resultante da oxidação da pirita é oxidado pelo íon férrico:



Ou então, o enxofre elementar é oxidado pelo oxigênio, caso em que o  $\text{S}^0$  produzido de acordo com a **Reação 3** é convertido a sulfato por *Thiobacillus thiooxidans*:



O  $\text{Fe}^{2+}$  (ferro ferroso) produzido é submetido a uma nova ação microbiana por *T. ferrooxidans*, de acordo com a **Reação 2**, configurando-se um ciclo onde o  $\text{Fe}^{3+}$  (ferro férrico) resultante da atuação microbiológica reage com a pirita na seguinte reação:



Este ciclo é mantido constante até que a pirita disponível aos agentes da reação seja toda consumida no processo. A oxidação do  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$  controla a produção de acidez na drenagem de minas. Quando a água está com pH maior de 4,5, a oxidação ocorre sem a mediação bacteriana. Com águas de pH menor que 4,5, a oxidação química do ferro é extremamente lenta. Nestas condições as bactérias ferro-oxidantes são responsáveis pela oxidação do ferro férrico a ferro ferroso (PAVEI, 2007).

Alternadamente, outros metais como zinco, cobre, manganês, alumínio, chumbo e arsênio, são capazes de serem solubilizados e lixiviados nas drenagens, em virtude dos baixos valores de pH do meio,

com consequente elevação da concentração destes elementos nas mesmas (SASOWSKY et al., 2000).

As drenagens ácidas são capazes atingir os mananciais hídricos e, uma vez no ambiente aquático, seus metais podem permanecer em solução como íons livres ou na forma de complexos, podendo ser absorvidos por organismos vivos. Têm-se proposto que em ambientes aquáticos de elevada acidez e concentração de metais em níveis intoleráveis pode haver dano à biota, tais como, processos mutagênicos, carcinogênicos, distúrbios respiratórios e osmorregulatórios e até a sua morte (GEREMIAS, 2009).

### 3.2 O PAPEL DOS SEDIMENTOS NA DIFUSÃO DE POLUENTES

De acordo com Esteves (1998), o sedimento pode ser considerado como o compartimento resultante da integração de todos os processos que ocorrem em um ecossistema aquático. Do ponto de vista de ciclagem de matéria e fluxo de energia, o sedimento é um dos compartimentos mais importantes dos ecossistemas aquáticos continentais. Nele ocorrem processos biológicos, físicos e químicos, que influenciam no metabolismo de todo o sistema. Além disso, o sedimento, devido à sua composição química e biológica é de fundamental importância no estudo da evolução histórica de ecossistemas aquáticos e terrestres.

Os sedimentos desempenham papel muito importante na avaliação da poluição de mananciais. Eles refletem a qualidade atual do sistema aquático e podem ser usados para detectar a presença de contaminantes, os quais não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais (ALLOWAY e AYRES, 1993).

Além disso, os sedimentos podem agir como possíveis fontes de poluição, como, por exemplo, elementos-traço, os quais não são permanentemente fixados por eles, podendo ser novamente disponibilizados para a coluna de água, através de variações nas condições ambientais tais como mudanças de pH e de potencial redox. Para se ter uma correta interpretação das quantidades de elementos-traço presentes nos sedimentos de fundo de um corpo d'água deve-se distinguir os processos de origem natural, como geológicos, biológicos ou hidrológicos, daqueles de ação antrópica (WETZEL et al., 1983 apud RESTREPO, 2007).

Mais do que isso, o sedimento age como um carreador e possível fonte de poluição, pois os metais pesados não são permanentemente

fixados por ele, e podem ser ressolubilizados para a água por mudanças nas condições ambientais e/ou antrópicas (BEVILACQUA, 1996).

O sedimento dos ambientes aquáticos pode ser utilizado no estudo de poluição, como indicador da presença e da concentração de metais pesados. Além disso, a análise de perfis de metais pesados permite o levantamento histórico da ação antrópica do local de estudo (FAVARO et al., 2001).

Os sedimentos representam uma grande fonte de estudo, pois são formados por material sólido carregado pelo vento, gelo e água da superfície da terra. Também se origina pela deposição de material orgânico, provenientes de animais e vegetais que vivem no local (CAMPAGNOLI et al., 1999).

Ele constitui uma fase mineralógica com partículas de tamanhos, formas e composição química distinta. Esses materiais, em sua maioria, são depositados nos rios, lagos e reservatórios, durante muitos anos. Processos biogeoquímicos controlam o acúmulo e a redistribuição das espécies químicas. Outro fator que influencia a adsorção e a retenção de contaminantes na superfície das partículas é o tamanho da partícula. A tendência observada é que quando o grão diminui, as concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam. Esta tendência é devido ao fato das pequenas partículas terem grandes áreas de superfície para a adsorção por contaminantes (BEVILACQUA, 1996).

Os sedimentos mais finos em suspensão têm a superfície altamente reativa, que é capaz de imobilizar e interagir com as superfícies de outras partículas e de substâncias dissolvidas. As superfícies de partículas maiores também apresentam potencial eletroquímico para interagir com outras partículas, porém a superfície disponível é insignificante quando comparada às partículas menores (BAPTISTA NETO, 2008).

### **3.2.1 Metais nos Sedimentos**

Os sedimentos têm sido considerados um compartimento de acumulação de espécies poluentes a partir da coluna d'água, devido às altas capacidades de adsorção, absorção e acumulação associadas (CARVALHO e LACERDA, 1992).

Os sedimentos são importantes carreadores de metais no ciclo hidrológico, podendo refletir a atual qualidade do sistema, bem como o desenvolvimento histórico de certos parâmetros hidrológicos e químicos (SALOMONS e FÖRSTNER, 1984).

Segundo Calmano (1996, apud Leite, 2002), a contaminação dos sedimentos por metais é originada por fontes difusas e pontuais. Fontes difusas típicas são originadas pela atmosfera e pelas deposições sólidas. As típicas fontes pontuais são as emissões de despejos industriais, esgotos domésticos, depósitos de lixo e despejos de mineração.

Para determinar a extensão da poluição em ambientes aquáticos por meio da carga de metais em sedimentos, é de fundamental importância estabelecer o nível natural destas substâncias, por exemplo, o nível “pré-civilização”, e então subtraí-los das concentrações de metais existentes, verificando-se, assim, o enriquecimento total causado por influências antropogênicas (SALOMONS e FÖRSTNER, 1984).

A maior parte dos metais dissolvidos transportados pelas águas naturais é, sobre certas condições físico-químicas normais, rapidamente adsorvidas na matéria particulada. Entretanto, a imobilização dos metais nos sedimentos de fundo não necessariamente permanece nesta condição, podendo ser liberados como resultado de alterações químicas no ambiente aquático. O meio de transporte de metais no sedimento é a água intersticial, sendo que os principais componentes que afetam a taxa de metais transportados são a matéria orgânica, ferro e o manganês (FÖRSTNER e WITTMANN, 1981).

As associações entre metais e matéria orgânica podem ser classificadas de maneira simplificada em dois tipos: As interações de superfície, que é importante em função de sua dinâmica, onde a matéria orgânica pode estar incorporando metais através de reações de superfície, em função da modificação das condições físico-químicas; e as interações de rede molecular não superficial, que não são muito estudadas, mas alguns autores demonstram que alguns metais, tais como o cobre, podem formar complexos com substâncias húmicas, imobilizando até 60% do metal presente no sedimento (BAPTISTA NETO et al., 2008).

Tanto águas, materiais particulados, sedimentos como organismos aquáticos têm sido utilizados para avaliar a presença destes elementos (TSUTIYA, 1999).

As concentrações de poluentes nos sedimentos tornam-se várias ordens de grandeza maiores do que nas águas correspondentes, o que possibilita o uso dos sedimentos como bons indicadores de poluição ambiental, tanto atual como remota. Este fato possibilita ainda o conhecimento das principais fontes de poluição dentro de um determinado sistema aquático (GODOY e MOREIRA, 1998 apud RESTREPO, 2007).

### 3.3 INTEGRAÇÃO ENTRE BACIAS HIDROGRÁFICAS E AMBIENTES COSTEIROS

Conforme disposto no art. 3º da Lei 9.433/97 (Política e Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos), deve haver integração entre a gestão das bacias hidrográficas e a gestão dos ecossistemas estuarinos e zonas costeiras.

Segundo MARRONI e ASMUS (2005), zona costeira é um sistema ambiental formado na área de interação direta entre componentes da geosfera (continente), componentes da hidrosfera (oceano) e atmosfera. De forma mais simplificada, pode ser entendida como a borda oceânica de continentes e ilhas. Dentre as áreas principais do ambiente costeiro, estão os espaços ocupados pelas águas costeiras, onde se situam os ecossistemas formados pelos estuários, lagoas e águas rasas.

Estuários são corpos d'água costeiras, semiconfinados, onde ocorre a mistura de água doce, vinda do continente, com água salgada do oceano (PRITCHARD, 1967 apud BAPTISTA NETO et al., 2004). Os estuários são sistemas extremamente dinâmicos, que se movem e mudam constantemente em resposta aos ventos, às marés e ao escoamento do rio (FERNANDES, 2001).

De acordo com Alfredini (2005), os estuários são muito importantes, pois apresentam, elevada densidade populacional; abundância de recursos pesqueiros; área portuária e de navegação; área de segurança naval; área de recreação e lazer; área de diluição de efluentes domésticos e industriais e área de deposição de sedimentos contaminados.

Estes ambientes atuam como depósitos efetivos de sedimentos fluviais, impedindo que grande parte chegue à região da plataforma continental. Além dos sedimentos trazidos pelos rios, os estuários também trazem sedimentos da plataforma interna e de áreas costeiras adjacentes (BAPTISTA NETO et al., 2004).

A compreensão do transporte e destino de poluentes nestes sistemas requer um conhecimento dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem além das propriedades dos próprios contaminantes (FERNANDES, 2001).

Conforme Restrepo (2007), em estuários, o movimento e a deposição de sedimentos dependem do tipo do processo de mistura. Para um estuário parcialmente misturado os sedimentos ficam circulando e são depositados no mesmo, e para estuários bem misturados, o sedimento é depositado perto da margem.

Conforme Fernandes (2001), com o estudo e integração das variáveis que controlam a distribuição, no espaço e no tempo, de poluentes num determinado sistema estuarino, é possível prever os caminhos que estes tomam.

O mesmo autor cita que numa perspectiva cíclica, um poluente, entrando num estuário por rota pontual ou difusa, é controlado pela hidrodinâmica resultante do encontro do rio com o oceano sob a influência das marés, distribuindo-se por duas fases, dissolvida e particulada, de acordo com as condições ambientais. A fase particulada está associada às partículas em suspensão, podendo por isso acabar por se depositar no fundo, tendo assim o seu destino final. Se os sedimentos forem ressolubilizados, podem voltar para a coluna de água. A fase dissolvida circula no estuário, dependendo do equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes das águas intersticiais contaminadas pela concentração de poluentes no leito de sedimentos, sendo por fim exportada para o oceano.

Os estuários são ambientes sedimentares costeiros cuja evolução depende da interação entre parâmetros hidrodinâmicos, sedimentares e morfológicos e onde a atividade biológica é uma condicionante fundamental. Constituindo meios receptores de sedimentos por excelência, onde os processos evolutivos são extremamente dinâmicos, os estuários são importantes zonas de investigação da morfodinâmica atual e fácies deposicionais da história geológica recente (FRAZÃO, 2003).

### **3.3.1 Processos Hidrosedimentológicos**

Na bacia hidrográfica, os obstáculos acabam determinando o caminho e a velocidade com que a água se desloca e dissipa parte de sua energia, ao propiciar que partículas sólidas sejam removidas e transportadas vertentes abaixo, pelo fluxo líquido. O deslocamento dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial e outros processos acabam provocando o remanejo e a redistribuição pela bacia de ponderáveis massas de partículas sólidas, a ponto de poderem eventualmente alterar o ciclo hidrológico e, certamente, afetar o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS e SEMMELMANN, 2000).

Os processos hidrosedimentológicos estão intimamente vinculados ao ciclo hidrológico e compreendem o deslocamento, o transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica. No entanto, nem todo o material destacado de seu

local é transportado para fora da bacia, dado o grau de seletividade de grãos que cada modalidade de erosão apresenta no processo de remoção e transporte e a dinâmica hidrológica dos canais de drenagem da bacia (SILVA et al., 2003).

Os estudos hidrossedimentológicos se processam com lentidão, muitas vezes decorrentes de coletas regulares de dados e amostras, trabalhos de laboratório, processamento de dados e estimativas de parâmetros que são onerosos do ponto de vista de tempo e recursos, além de exigirem muito esforço. Contudo, a importância dos mesmos na gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação do solo, dos leitos dos rios e dos ecossistemas fluviais e estuarinos ou de contaminação dos sedimentos por produtos químicos estão impulsionando estudos que venham considerar os problemas que podem decorrer das alterações nos processos hidrossedimentológicos (BORDAS e SEMMELMANN, 2000).

De acordo com Vestena (2008), os processos hidrossedimentológicos são complexos e compreendem a:

- desagregação,
- separação ou erosão,
- transporte,
- decantação ou sedimentação,
- deposição e consolidação ou compactação de sedimentos.

A *desagregação* é o desprendimento de partículas sólidas do meio do qual fazem parte, por meio de reações químicas, flutuações de temperatura, ações mecânicas ou outros fatores naturais (VESTENA, 2008).

A *erosão* pode ser entendida como o processo de desgaste e arrastamento da superfície da terra pela ação da água, vento, gelo, atividades humanas ou outros agentes naturais (SILVA et al., 2003). A erosão implica na relação de fragmentação mecânica e decomposição química das rochas, bem como na remoção superficial e subsuperficial dos produtos do intemperismo (BIGARELLA, 2003). Os principais fatores condicionantes do processo erosivo são os tipos de solo, a natureza das rochas formadoras do solo, o clima, a topografia e a cobertura do solo.

A erosão, de acordo com Bertoni e Tucci (2000) pode processar-se em quatro grandes tipos:

(1) erosão eólica – provocada pelo vento;

- (2) erosão hídrica superficial – ocasionada pela chuva, pelo escoamento difuso, difuso interno, laminar ou por escoamento concentrado;
- (3) erosão por remoção em massa – ocasionada pela influência mútua da gravidade e de saturação do solo, pode se processar de acordo com a forma do fluxo de material lento (rastejo e solifluxão) ou rápido (ruptura do talude, deslizamento e escorregamento profundo) e;
- (4) erosão fluvial – ocorre de modo contínuo e espontâneo pela ação das correntes dos rios.

O mesmo autor afirma que os sedimentos resultantes do processo de erosão acabam sendo transportados principalmente pela ação do escoamento das águas influenciado pelas condições locais e granulometria dos sedimentos (*transporte*).

O *transporte* de sedimento se processa nas vertentes e nos cursos d'água, sendo que a maior quantidade ocorre na época chuvosa. De acordo com Carvalho (1994), de 70 a 90% de todo sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem no período de chuvas, principalmente durante as fortes precipitações. A carga de sedimento em um curso d'água é proveniente da ação erosiva que o movimento da água exerce sobre as margens e o fundo do leito e dos sedimentos erodidos das vertentes da bacia hidrográfica, chamado de deplúvio (BERTONI e TUCCI, 2000)

O material proveniente do leito fluvial, de modo geral, consiste em partículas do tamanho de grãos de areia ( $>0,063$  mm), enquanto que as transportadas para o rio das vertentes da bacia são mais finas ( $< 0,063$  mm) (REID et al., 1997 apud VESTENA, 2008).

Conforme o mesmo autor, a *decantação* ou *sedimentação* refere-se ao processo pelo qual as partículas mais finas, transportadas em suspensão, tendem a restabelecer contato com o fundo do leito sob efeito da gravidade. A decantação é muitas vezes confundida com o depósito, porém difere por poder continuar movimentando-se após entrar em contato com o fundo, de acordo com as forças hidrodinâmicas existentes, rentes ao fundo.

A *deposição* designa a parada total da partícula em suspensão recém decantada sobre o fundo, ou daquela transportada por arraste (BORDAS e SEMMELMANN, 2000).

Segundo o mesmo autor, a *consolidação* ou *compactação* é o acúmulo de partículas sobre o fundo e a compactação do depósito resultante sob efeito do próprio peso dos sedimentos, da pressão hidrostática ou outro fenômeno que venha aumentar a densidade dos depósitos.

De modo geral, os processos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica se compõem em três sistemas naturais: (A) no alto curso do rio e da bacia ocorre forte degradação (erosão), área de maior fonte de sedimentos, elevadas quantidades de material grosseiro transportado pelo rio, com a predominância do transporte de arraste; (B) o médio curso é uma área de maior estabilidade, onde não há elevados acréscimos e perdas do volume transportado, que apresenta granulometria média; e (C) o baixo curso é uma região de forte gradação, onde predomina a deposição dos sedimentos e o rio acaba transportando somente partículas (BORDAS e SEMMELMANN, 2000).

O gradiente granulométrico dos sedimentos nos cursos d'água de bacias hidrográficas varia desde as suas cabeceiras, onde predominam materiais de tamanhos maiores, tais como pedras, pedregulhos e seixos, e à medida que são transportados, acabam se fracionando, transformando-se em materiais de granulometria menor, passando a areia grossa, média e fina gradativamente à jusante, destaca Carvalho (1994).

De acordo com Bordas e Semmelmann (2000), as atividades antrópicas podem alterar os processos hidrossedimentológico, por meio de atividades que acabam acelerando a erosão natural dos interflúvios, os depósitos e a instabilidade dos leitos fluviais. Entre as atividades que mais afetam os processos hidrossedimentológicos destacam-se o desmatamento, a agricultura, a urbanização, a construção de estradas, a retificação e o barramento dos cursos fluviais.

De acordo com Silva et al. (2003), os fatores tais como o estado de conservação das matas ciliares dos cursos d'água são de extrema importância à questão hidrossedimentológica, por atuarem como barreira ao aporte de sedimento aos cursos d'água.

Diante da importância de estudar os processos hidrossedimentológicos e com base principalmente no trabalho de Carvalho (1994), pode-se citar alguns problemas/impactos ocasionados pelos sedimentos:

- Na erosão: destruição das nascentes; aumento do risco de desertificação; remoção da camada fértil do solo; desprendimento e escorregamentos de terra e taludes, entre outros.
- No transporte: o aumento da turbidez e o sedimento em suspensão impede a penetração da luz e calor, reduzindo a atividade da fotossíntese necessária à salubridade dos corpos d'água; o sedimento atua como portador de poluentes, tais

como nutrientes químicos, inseticidas, herbicidas, metais pesados, bactérias e vírus, entre outros.

- Na deposição: assoreamento de reservatórios, reduzindo o volume d'água; quando o sedimento se deposita em áreas produtivas, diminui ou paralisa o crescimento das plantas; o sedimento fino depositado com lama e sem nutrientes afasta peixes e microrganismo, entre outros.

### 3.4 DRAGAGEM, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE SEDIMENTOS CONTAMINADOS

#### 3.4.1 Dragagem dos sedimentos

Dragagem é um processo de relocação de sedimentos e solos para fins de construção e manutenção de vias aquáticas, de infraestrutura de transporte, de aterros e de recuperação de solos ou de mineração. Durante séculos, os resíduos de dragagem foram dispostos de maneira inadequada, prejudicando seriamente o meio ambiente. A preocupação com a gestão adequada do material dragado só passou a ser discutida a partir de 1972, na Conferência em Estocolmo, que deu origem às regulamentações internacionais de depósito de materiais dragados em áreas marítimas (GOES FILHO, 2004).

Técnicas novas de disposição e tratamento foram criadas, permitindo desenvolvimento no processo com alteração na forma de aproveitamento do material dragado, que deixou de ser considerado simples resíduo e passou a ser visto como recurso natural importante e passível de aproveitamentos múltiplos. A utilização e tratamento do sedimento encontram-se em estágios diferenciados em diversos países, alguns se utilizando de processos altamente desenvolvidos, enquanto outros em fase ainda incipiente (LIMA, 2008).

Seguindo as concepções sobre técnicas de dragagem descritas por vários autores (USEPA, 1994; GOES FILHO, 2004; LIMA, 2008) pode-se destacar os principais tipos de operação de dragagem:

- i. Dragagem de Aprofundamento ou Inicial
- ii. Dragagem de Manutenção
- iii. Dragagem de Mineração
- iv. Dragagem Ambiental ou Ecológica
- v. Dragagens Especiais
- vi. Dragagens Naturais ou Erosão
- vii. Dragagens para Aterros Hidráulicos

No caso do presente trabalho, buscou-se ter como referência de padrão mais adequado para a remoção dos sedimentos contaminados pela DAM, a técnica denominada de dragagem ambiental, que se caracteriza pela utilização de dragas ecológicas para remoção, tão somente, da camada de materiais contaminados depositados no fundo do corpo hídrico, como também na linha da água quando ocorrem vazamentos acidentais de óleos ou derivados de petróleo no meio aquático, por exemplo. Na dragagem ambiental os equipamentos desenhados para trabalharem são induzidos para ter pouco efeito de turbidez na coluna de água, normalmente causados pelos processos de dragagem convencionais. Procedimentos rigorosos são exigidos para a dragagem e deposição final do material (GOES FILHO, 2004).

Conforme o mesmo autor, a eficiência da dragagem ecológica está restrita a observação dos seguintes fatores:

- Minimização da dispersão de sedimentos contaminados para as áreas adjacentes ao sítio de dragagem;
- O manejo, tratamento e despejo do rejeito de dragagem devem ser efetuados de modo seguro do ponto de vista ambiental;
- A operação deve ser completada no menor tempo possível, resultando na máxima remoção de sedimentos contaminados e na mínima remoção de sedimentos limpos.

Goes Filho (2004), afirma que na dragagem ambiental a remoção do material contaminado se procede cuidadosamente, sendo constantemente associada a um programa de tratamento, reutilização ou relocação do mesmo. Possui como características mais usuais:

- Volumes reduzidos de dragagem.
- Presença de materiais contaminados.
- Remoção de solos não compactados.
- Atividade com tendência não repetitiva.

Segundo Lima (2008) e Goes Filho (2004), a escolha dos equipamentos de dragagem é bastante complexa, devendo-se examinar vários elementos:

- características físicas do material a ser dragado;
- volume do material a ser dragado;
- profundidade de dragagem;
- distância da área de disposição do material;
- condições ambientais da área a ser dragada e do local de disposição;
- nível de contaminação dos sedimentos dragados;
- métodos de disposição do material dragado;
- produção estimada dos equipamentos empregados;
- tipos de draga disponíveis.

Segundo ainda alguns autores e periódicos (USEPA, 1994; GOES FILHO, 2004; LIMA, 2008), pode-se distinguir, como principais e mais utilizadas técnicas, os seguintes processos de dragagem:

- a) Processos Mecânicos de Dragagem
- b) Processos Hidráulicos de Dragagem
- c) Processos Pneumáticos de Dragagem
- d) Processos Hidrodinâmicos de Dragagem

Neste trabalho, conforme sugerido e afirmado pelos autores acima, as dragas mais indicadas são as Dragas Hidráulicas.

Os equipamentos hidráulicos utilizam bombas de dragagem como ferramenta principal, tanto para remover o material escavado (pela mistura de água e material sólido), como para bombeá-lo por meio de tubulações flutuantes a distâncias compatíveis com a potência da bomba. Normalmente, a proporção de operação é em relação ao volume, 80% água e 20% sedimentos. As dragas hidráulicas desenvolvidas recentemente têm obtido em operação rendimento mais elevados que as mecânicas, pois, quando bem aplicadas, processam o material de forma contínua a longas distâncias, tornando-se econômicas (LIMA, 2008).

Segundo USEPA, 1994; GOES FILHO, 2004 e LIMA, 2008, os processos hidráulicos são realizados com dragas de sucção, autopropelidas ou não, as quais podem contar com diversos acessórios os quais aumentam o rendimento e a eficiência. Os modelos mais comuns são:

- **Draga de sucção autotransportadora de arrasto** – AT (*trailing suction hopper Dredge*), constituída por um casco de navio dotado de cisternas (*hoppers*) que recebem o material aspirado do fundo por bombas hidráulicas conectadas aos tubos de sucção, cujas pontas ou bocas de sucção (*dredge head*) possuem diversos formatos, empregados em função do tipo de material a ser aspirado. Como pode-se observar na Figura 1:

Figura 1 - Draga Autotransportadora de arrasto



Fonte: IHC Holland apud Lima (2008).

- **Draga de sucção e recalque com desagregador mecânico** (*cutterhead dredge*)– draga com equipamento para sucção do material dragado, utilizado principalmente em meio fluvial para sedimentos de baixa densidade e diâmetros menores. Quando acoplado a um desagregador, conforme Figura 2, pode ser indicado para material aluvionar coesivo ou rocha em decomposição. Possui capacidade de transporte a grande distância, com proporção de peso sólido/líquido de 0,25.

Figura 2 - Drega de sucção com desagregador



Fonte: IHC Holland apud Lima (2008).

### 3.4.2 Tratamento de DAM contida dos sedimentos

A DAM causa impacto ambiental devido, principalmente, à sua acidez e à composição de íons metálicos como, por exemplo,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Pb}^{2+}$ . Estes íons são resultantes da oxidação natural de sulfetos minerais quando expostos à ação combinada de água e oxigênio (RUBIO e TESSELE, 2004). Neste contexto, a agregação é utilizada na etapa inicial do tratamento da DAM, no processo de floculação dos precipitados gerados na neutralização destes resíduos.

Os processos de agregação têm sido empregados em diversas etapas de separação sólido/líquido. Em aplicações industriais, os mecanismos mais comumente utilizados são a adição de sais que induzem a coagulação e/ou a adição de polímeros floculantes que ocasionam a floculação (GREGORY, 1988 apud RUBIO e TESSELE, 2004).

Segundo Baltar (2010), o processo de floculação caracteriza-se pela ação de um polímero, solúvel em água, chamado de floculante, que agrega as partículas finas em forma de flocos. Os floculantes podem ser: naturais, modificados ou sintéticos; neutros, aniônicos ou catiônicos e de baixo, médio ou elevado peso molecular.

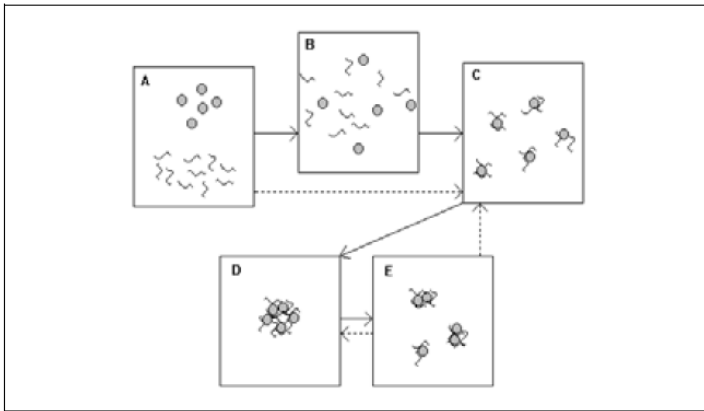
De acordo com o mesmo autor, o processo de floculação é complexo, e sua eficiência depende de alguns fatores como: a escolha apropriada do floculante; forma de aplicação; ambiente químico; sistema hidrodinâmico; estado da molécula e tamanho das partículas.

No que diz respeito a escolha do floculante, esta deve levar em consideração a finalidade da floculação. Na operação de espessamento,

por exemplo, o mais importante é o tamanho do floco. Outras características importantes na escolha do floculante são o peso molecular, a natureza da carga elétrica, a densidade de carga e as características químicas dos grupos ativos da molécula (Baltar, 2010).

A forma de aplicação do floculante é outra característica importante, pois, na desestabilização de uma suspensão por ação de um floculante polimérico, vários processos podem ocorrer de forma simultânea (Hogg, 1988; Gregory, 1992 apud Baltar, 2010), como: homogeneização do polímero na suspensão; adsorção da molécula na superfície do sólido, acomodação das moléculas adsorvidas; formação e crescimento dos flocos e quebra dos flocos, como pode ser observado na Figura 3, onde ilustra as etapas observadas na adição de um polímero: (A) adição, (B) homogeneização, (C) adsorção, (D) floculação e (E) quebra do floco.

Figura 3 - Ilustração das etapas observadas com a adição de um polímero a uma suspensão



Fonte: Gregory, 1988 apud Baltar, 2010.

A homogeneização total de um polímero em uma suspensão ocorre após certo tempo de sua adição, sendo que a adsorção pode acontecer antes da homogeneização. Na adição imediata da adição do polímero forma-se uma região com uma grande concentração de floculante (Hogg, 1988; Gregory, 1988 apud Baltar, 2010).

A solução do floculante deve ser adicionada na forma mais diluída possível e sob forte agitação. A agitação durante a adição do polímero deve ser tal que contribua para a redução do tempo necessário à completa homogeneização (Baltar, 2010).

Os processos existentes no tratamento de DAM visam ao tratamento de águas subterrâneas e superficiais de minas contaminadas. O processo convencional de tratamento da DAM é o de neutralização e precipitação dos íons poluentes na forma de hidróxidos metálicos que são agregados pela adição de reagentes floculantes. Posteriormente, os flocos são separados por operações de flotação, de sedimentação lamelar, de filtração ou por sedimentação em bacias de rejeito (RUBIO e TESSELE, 2004).

O tratamento ativo de DAM de carvão, em unidades industriais ETE, iniciou no estado de Santa Catarina em 2003. Os principais processos, já em fase de operação, são:

- Neutralização-Floculação-Sedimentação em Bacias;
- Neutralização-Floculação-Flotação por ar dissolvido;
- Neutralização-Floculação-Sedimentação Lamelar.

O tratamento convencional da DAM consiste basicamente na neutralização-precipitação dos metais pesados e separação sólido-líquido, dos sólidos formados. A remoção de íons sulfato, em baixas concentrações, é muito difícil e todos os processos tornam-se muito onerosos (RUBIO e TESSELE, 2004).

Um das alternativas de tratamento mais utilizadas hoje é a NFSL- Neutralização-Floculação e Sedimentação Lamelar, que vem como alternativa e substituição da Neutralização-Floculação e Flotação por Ar Dissolvido (FAD) (SILVEIRA et al., 2008).

O tratamento ativo, substituindo a flotação pela sedimentação lamelar (SL), foi iniciado em 2005 na empresa COOPERMINAS-SC em uma unidade com capacidade de tratamento de  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Outros estudos desenvolvidos em uma planta piloto em uma mina desativada no município de Criciúma-SC mostraram que os valores de tratamento de DAM com sedimentação lamelar são 50% menores ( $\text{R\$ } 0,5 \cdot \text{m}^{-3}$ ) do que aqueles envolvidos na flotação por ar dissolvido (SILVEIRA et al., 2008).

O mesmo autor fez uma avaliação comparativa entre estes processos pode ser estabelecida, conforme mostra a Tabela 1, com valores de parâmetros de flotação por ar dissolvido (FAD) e sedimentação lamelar (SL) de duas unidades de tratamento de DAM com capacidade de  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  cada. A unidade de FAD, instalada na carbonífera Metropolitana-SC (Menezes et al., 2004), apresentou

vantagens em relação à planta de sedimentação lamelar, instalada na carbonífera Cooperminas-SC, em termos de parâmetros como taxa de aplicação superficial e tempo de residência. Entretanto, a aplicação da sedimentação lamelar possibilitou custos reduzidos de instalação, operação e manutenção, além da simplicidade do processo.

Tabela 1 - Parâmetros comparativos entre a flotação e a sedimentação lamelar.

<b>Parâmetros</b>	<b>Flotação</b>	<b>Sedimentação lamelar</b>
<b>Taxa de aplicação</b> ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	9,0	5,0
<b>Tempo de residência (min)</b>	40	90
<b>Custo de operação</b> ( $\text{R}\$. \text{m}^{-3}$ )	1,0	0,5
<b>Custo de investimento,</b> ( $\text{R}\$. \text{m}^{-3}$ )	3.000	1.900
<b>Consumo de energia,</b> ( $\text{kWh} \cdot \text{m}^{-3}$ )	0,7	0,3
<b>Área total da planta (<math>\text{m}^2</math>)</b>	600	450

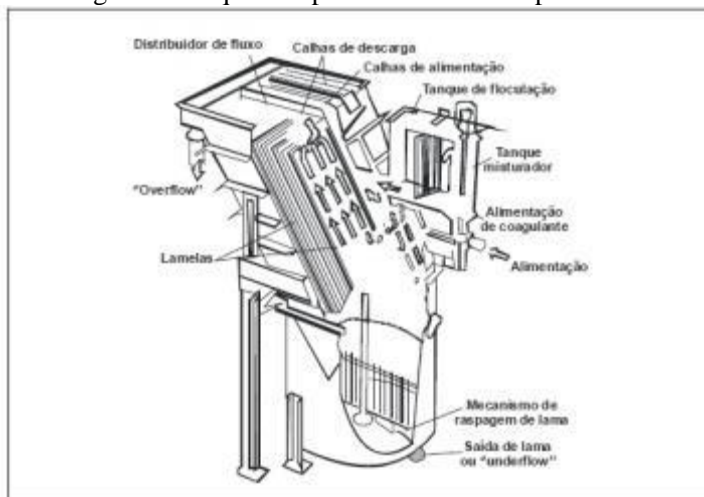
Fonte: (SILVEIRA et al., 2008).

A NFSL consiste na aplicação de um neutralizante (para atingir o pH entre 6-9), geralmente hidróxido de cálcio, seguido da aplicação de um polímero floculante (natural ou sintético) e a sedimentação dos flocos formados.

O processo geralmente ocorre em espessadores. Sendo que espessadores são tanques de sedimentação empregados em um tipo particular de separação sólido-líquido, separação esta que é denominada de espessamento, a fim de se obter uma fase mais densa e uma fase líquida clarificada (FRANÇA e MASSARINI, 2010).

Conforme os mesmos autores, os espessadores mais utilizados neste caso são os espessadores de lamelas. Este equipamento consiste numa série de placas inclinadas (lâminas), dispostas lado a lado, formando canais, como representado na figura 4. A vantagem dessa configuração é a economia de espaço, uma vez que a capacidade de sedimentação nesses equipamentos é bem maior que no espessador convencional. Outra vantagem da configuração lamelar está na rápida sedimentação das partículas sólidas: como o tempo de sedimentação é proporcional à altura de queda vertical, este tempo pode ser reduzido, diminuindo-se o espaçamento entre as lamelas.

Figura 4 - Esquema operacional de um espessador de lamelas



Fonte: FRANÇA; MASSARINI, 2010

Após a floculação, a operação de sedimentação se baseia no fenômeno de transporte da partícula (foco) para o fundo do equipamento, onde a partícula sólida em suspensão sofre ação das forças: gravidade, empuxo e resistência ao movimento.

Considerando as alternativas revisadas neste estudo, optou-se pela aplicação dos processos de floculação para o tratamento do extrato obtido do sedimento contaminado pela DAM. Nos capítulos seguintes serão descritos os procedimentos dos ensaios de caracterização e tratamento por neutralização e floculação, bem como os resultados e discussão obtidos.

### 3.4.3 Alternativas de disposição final do material dragado e tratado

Krause & MacDonnell (2000 apud Lima, 2008) apresentam uma série de tecnologias de descontaminação e/ou estabilização empregadas para reduzir, separar, imobilizar ou destoxificar contaminantes. Estas tecnologias podem ser classificadas em quatro categorias funcionais: 1) processos que separam os contaminantes dos sólidos nos sedimentos; 2) processos que destroem os contaminantes ou os transforma em formas menos tóxicas; 3) separação física de sedimentos grosseiros de finos

para reduzir o volume de contaminantes; e 4) processos de estabilização física e química que imobilizam os contaminantes tornando-os resistentes a perdas por infiltração, volatilização e erosão.

Para estipular o método de disposição final de sedimento dragado, deve-se primeiramente definir em qual classe o material se enquadra dentro da NBR 10004/87. A escolha do local deve considerar técnicas e tecnologias que propiciem as melhores condições sanitárias, estéticas, sociais e econômicas, de acordo com os padrões de cada comunidade, para tratamento e disposição de resíduos sólidos.

A disposição final pode se dar em aterro industrial e aterro sanitário ou por meio de compostagem, incineração e reciclagem. No Brasil, os sedimentos dragados vinham sendo classificados e analisados conforme prescrito na norma NBR 10.004/87 “Classificação de resíduos sólidos”, versão vigente até 29/11/2004, quando foi substituída pela NBR 10.004:2004. Hoje a todo material dragado deve ser gerenciado conforme a Resolução CONAMA 454/2012, que revoga as Resoluções nº 344 de 2004 e nº 421 de 2010 e *Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional*.

Conforme Lima (2008), a gestão do material dragado pode ser agrupado em três categorias principais:

- a) Não-ação: consiste em deixar que processos naturais se encarreguem de gradualmente ir melhorando as condições do depósito, sem nenhuma outra providência;
- b) Não-remoção: corresponde ao uso restrito da área contaminada, quer através do tratamento dos resíduos in situ, quer pelo isolamento dos sedimentos no local de deposição;
- c) Remoção: envolve a dragagem dos sedimentos, seguida pelo tratamento ou disposição dos sedimentos em outro local.

Quanto à disposição dos sedimentos, Lima (2008) cita cinco métodos que podem ser utilizados, são eles:

### **1. Disposição em corpos hídricos abertos:**

Consistem na disposição do sedimento dragado em oceanos, estuários, rios e lagos de forma que o mesmo não esteja isolado das águas adjacentes durante o processo. Geralmente, aplica-se à disposição de sedimento limpo ou moderadamente contaminado. Pode-se considerar, também, a disposição de sedimento altamente contaminado desde que se utilizem medidas de controle apropriadas.

### **2. Disposição em solo:**

Forma de disposição final em que os resíduos sólidos são simplesmente descarregados sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Forma de disposição que pode possibilitar a proliferação de vetores biológicos, geração de mau odor, poluição de águas superficiais e subterrâneas pelo lixiviado – a mistura do chorume líquido gerado pela degradação da matéria orgânica com água da chuva e elementos tóxicos presentes nos resíduos. Sob todos os aspectos, é a forma de disposição final de resíduos que interfere mais negativamente no meio ambiente. Já no caso do sedimento classificado como inerte, a degradação ambiental se restringe a aspectos estéticos, odor e ocupação de terreno, que são fatores relevantes principalmente quando a área de disposição encontra-se próxima à habitações.

### **3. Disposição em locais confinados:**

Consiste na disposição do material dragado em um recinto especialmente projetado para confinamento, circundando-se a área e isolando o material contaminado das águas ao redor e do solo, durante e depois de efetuada a disposição. O aterro sanitário torna-se um local de confinamento seguro.

O aterro sanitário opera dentro de critérios de engenharia e normas operacionais específicas, proporcionando o confinamento seguro de resíduos sólidos (normalmente, por meio de recobrimento com argila selecionada e compactada em níveis satisfatórios).

Estão entre as vantagens do aterro sanitário: evitar a proliferação de vetores biológicos (ratos, insetos e aves); a fixação de famílias de catadores; a poluição das águas; a utilização de gases derivados do chorume como fonte de energia.

Entre as desvantagens da localização, o aterro sanitário pode: determinar altos custos com transporte; causar poluição sonora e do ar

pela frota de veículos; demandar importação de materiais (pedra, argila) em função das características geológicas.

#### **4. Tratamento:**

Pode ser definido como meio de processar material dragado contaminado com o intuito de reduzir a concentração do contaminante, enquadrando-o em procedimentos e normas de aceitação. São bastante variadas as formas de tratamento, que utilizam desde técnicas de separação a incineração. O tratamento de sedimentos contaminados tornou-se uma opção séria apenas recentemente. Antes, era considerado extremamente dispendioso e inviável. Porém, mudanças na legislação de controle da disposição de sedimentos em mar e terra conduziram a nova concepção.

Goes Filho (2004, p. 52) cita um exemplo da mudança:

“A Autoridade Portuária de Nova York/New Jersey, diante da possibilidade de fechamento do porto (ou à severa limitação das dimensões dos navios que ali trafegam), investiu US\$ 130 milhões para encontrar soluções para o tratamento e disposição dos sedimentos dragados do porto”.

Outro exemplo é a Holanda, que atingiu a meta de processamento e reciclagem de material contaminado dragado de 20% no ano de 2000.

Aspecto importante é que o tratamento do material dragado também não está livre de causar impactos prejudiciais ao ecossistema. Alguns processos de tratamento produzem resíduos concentrados extremamente perigosos, que necessitam de técnicas sofisticadas de isolamento para a disposição ambiental segura. O tratamento pode gerar, também, emissão de gases e resíduos líquidos poluentes.

#### **5. Uso benéfico:**

O material dragado é considerado modernamente como recurso natural valioso, contrariando a visão ultrapassada que o considerava material inútil, a ser descartado.

A estrutura de avaliação adotada pela Convenção de Londres em 1995 endossa essa teoria, sugerindo a análise do possível uso benéfico do material dragado antes da concessão de licença para disposição no mar.

Deve-se frisar que a definição de “uso benéfico” pode gerar contradições no que concerne ao receptor do benefício, uma vez que, no contexto para o qual tal expressão foi inicialmente criada, considerava-se o “uso benéfico para o meio ambiente” muito mais importante que o “uso benéfico para o homem”. Por isso, algumas aplicações atuais levam a questionar tal contexto, como, por exemplo: a construção de dique *offshore*, usando material dragado, com o intuito de reduzir a erosão da costa, mas que, também, pode reduzir a concentração de peixes na região. Por essa razão, atualmente se entende como “uso benéfico” qualquer utilização que não considere o material dragado como lixo.

Burguenõ (2009), afirma ainda que as principais categorias na qual o sedimento dragado pode ser utilizado para uso benéfico são:

- Recuperação e melhoramento de habitats aquáticos (mangues, marismas, ilhas artificiais);
- Uso em aquicultura;
- Uso em parques e recreação (comercial e não comercial);
- Agricultura e silvicultura;
- Uso em aterros e cobertura para lixões;
- Estabilização e proteção da costa e controle de erosão (através de arrecifes artificiais, quebra-mares e bancos de areia);
- Uso industrial e na construção civil (incluindo desenvolvimento portuário, de aeroportos, urbano e residencial);
- Produção de cerâmicas (pouco explorado por ser um processo de custo elevado).

Outra tecnologia muito utilizada recentemente, e que tem mostrado resultados muito positivos na disposição de sedimentos contaminados, é a utilização de *Geotube*<sup>®</sup>. Esta tecnologia está sendo utilizada para Dragagem e revitalização do Canal do Fundão no Rio de Janeiro e tem mostrado aspectos muito positivos.

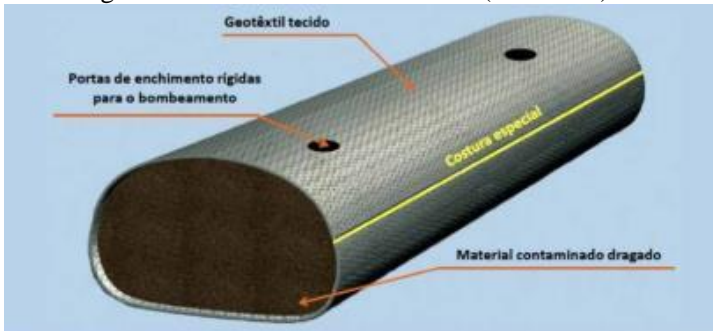
Conforme a empresa Allonda (2012), a tecnologia proposta para a disposição e confinamento dos sedimentos contaminados dragados do canal do Fundão foi a contenção, desidratação e o encapsulamento em tubos de geotêxtil tecido (*Geotube*<sup>®</sup>).

Segundo dados da empresa, as unidades *Geotube*<sup>®</sup> são fabricadas em geotêxtil tecido de polipropileno de alta resistência que exercem

simultaneamente as funções de contenção (retenção) das partículas sólidas e de drenagem dos líquidos presentes.

O excesso de água decorrente do processo é drenado através dos poros do geotêxtil tecido, resultando numa desidratação efetiva e uma redução do volume de água. Esta redução de volume permite que cada tubo de geotêxtil tecido (Geotube<sup>®</sup>) possa ser cheio por bombeamentos sucessivos, até que o volume disponível seja quase inteiramente ocupado pela fração sólida, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 - Tubo de Geotêxtil tecido (Geotube<sup>®</sup>)



Fonte: [www.allonda.com](http://www.allonda.com) (2012)

Allonda (2012), afirma que o projeto do Canal do Fundão foi concebido para remover por dragagem o volume de 1.800.000 m<sup>3</sup> dos quais 500.000 m<sup>3</sup> foram identificados como sedimentos contaminados. Para permitir a coagulação e a floculação dos sólidos contidos no lodo foi necessária a adição de polímero químico sintético cuja tipologia e dosagens foram estabelecidas a partir de testes e ensaios de campo (Figura 6).

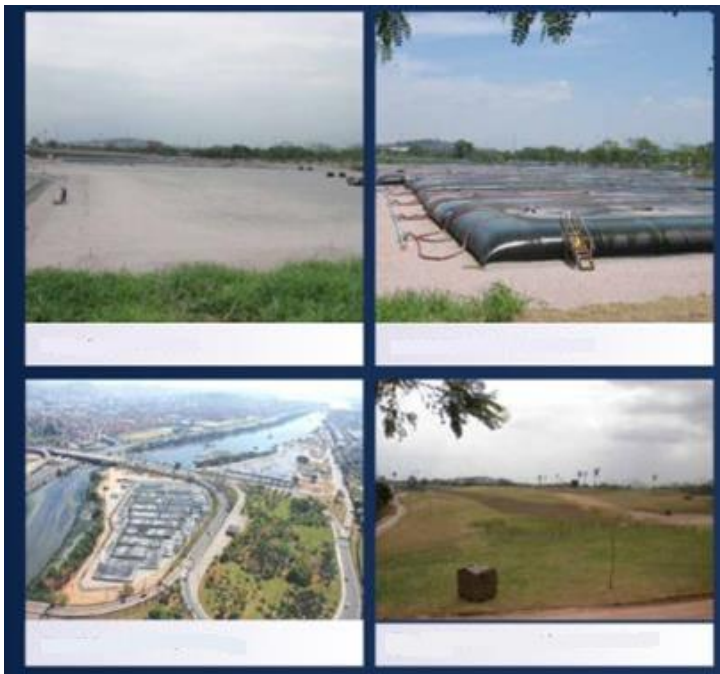
Figura 6 - Testes e ensaios realizados em campo no projeto do Canal do Fundão/RJ.



Fonte: [www.allonda.com](http://www.allonda.com) (2012)

Segundo informações da empresa Allonda (2012), os sedimentos contaminados foram retirados por ação de uma draga de sucção e recalque e bombeando do lodo diretamente para os tubos de geotêxtil tecido (Geotube<sup>®</sup>). A solução técnica adotada possibilitou a desidratação e o condicionamento dos sedimentos contaminados dragados com a separação da fração sólida da fase líquida (Figura 7).

Figura 7: Condicionamento dos sedimentos contaminados do Canal do Fundão/RJ



Fonte: [www.allonda.com](http://www.allonda.com) (2012).

Todo o processo ocorre em condições sanitárias controladas, com total ausência de odores e de derramamentos que possam provocar agressões ambientais e proliferar quaisquer tipos de vetores e insetos. A massa sólida retida nas unidades Geotube<sup>®</sup>, seca, com volumes reduzidos, representando economia pela disposição no local e sem impacto ambiental negativo. O processo de secagem tem como característica diferenciada ser, efetivo e controlado, em comparação com as outras soluções convencionais (Allonda, 2012).

A tecnologia apresentada tem sido largamente utilizada, com sucesso em outros países e no Brasil. Vários estudos de casos comprovam a eficiência do processo de contenção e desidratação, com baixos custos de implantação e operação. Observou-se em todo o processo que os resultados obtidos atendem as legislações ambientais. Outro projeto citado pela empresa Allonda (2012), é a Dragagem e Contenção de Sedimentos Contaminados do Porto do Rio no Rio de Janeiro – RJ, que foram utilizadas as mesmas tecnologias.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 DELIMITAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Urussanga possui uma área geográfica de aproximadamente 240 Km<sup>2</sup>, está situado na região sul catarinense e integra a associação dos municípios da Região Carbonífera (AMREC), que é composta por dez (10) municípios (TREIN, 2008). Sua população de acordo com IBGE (2010) perfaz um total de 19.936 habitantes.

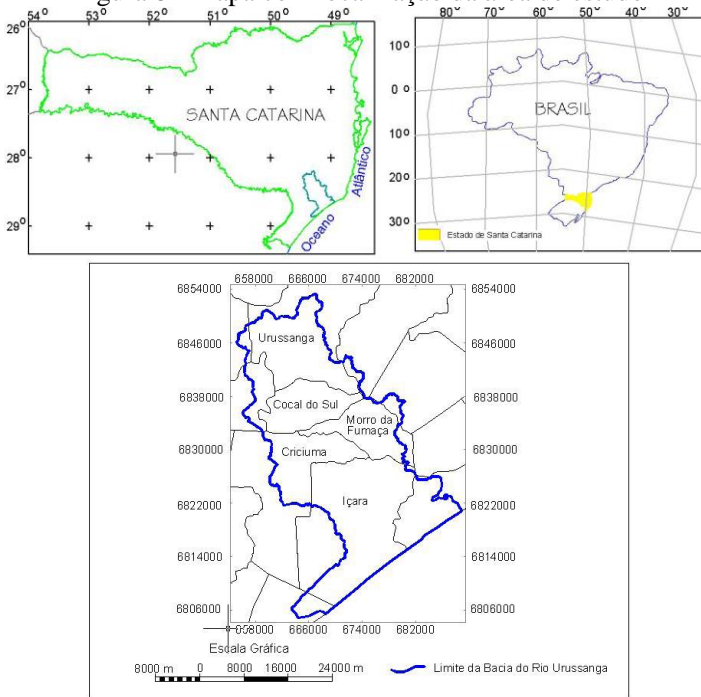
O município limita-se ao sul com Cocal do Sul, ao norte com Orleans e Lauro Muller, a leste com Pedras Grandes e a oeste com Siderópolis, Lauro Muller e Treviso.

A Região Sul de Santa Catarina é conhecida como Bacia Carbonífera, estando situada dentro das bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Urussanga e Tubarão, ocupando uma área de 1050 km<sup>2</sup>, com atividade de mineração e beneficiamento de carvão mineral nos municípios de Criciúma, Içara, Urussanga, Siderópolis, Lauro Müller, Orleans e Alfredo Wagner. Segundo o relatório do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), toda essa região foi categorizada como a 14<sup>a</sup> área crítica nacional para o efeito de controle de poluição da qualidade ambiental (CASSEMIRO, 2004).

A bacia hidrográfica do rio Urussanga possui uma área de 580 km<sup>2</sup> e está localizada no sudeste do estado de Santa Catarina, entre os paralelos 28°26'S e 28°49'S e meridianos 49°25'W e 49°06'W e entre as bacias dos rios Araranguá e Tubarão. Ao todo, nove municípios são integrados pela bacia: Criciúma, Cocal do Sul, Içara, Jaguaruna, Morro da Fumaça, Pedras Grandes, Sangão, Treze de Maio e Urussanga (SANTA CATARINA, 1997).

Na Figura 8 observa-se o mapa de localização desta área:

Figura 8 - Mapa com localização da área de estudo



Fonte: TREIN (2008).

De acordo com a Lei Estadual 10.949/1998, que dispõe sobre a caracterização do estado em dez Regiões Hidrográficas, a bacia hidrográfica do rio Urussanga (BHRU) está inserida na Região Hidrográfica do Extremo Sul Catarinense (RH 10), conforme a Figura 9.

Figura 9 - Representação das regiões hidrográficas de Santa Catarina.



Fonte: SDM (1997).

Na BHRU, o rio Urussanga é formado pelo encontro do rio Carvão com o rio Maior, na cidade de Urussanga. Os principais afluentes da margem direita do rio Urussanga são: rio América; rio Caeté; rio Cocal e rios Ronco d'água e Linha Anta. Os principais afluentes da margem esquerda são: rio Barro Vermelho, rio da Areia e rio Varjedo.

O estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga localiza-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) da Baleia Franca (Figura 10) que foi criada com a finalidade de proteger a baleia franca austral (*Eubalaena australis*), através do Decreto Federal de 14 de setembro de 2000. Perfazendo uma área total aproximada de 156.100ha, a Área de Proteção Ambiental da Baleia Franca possui uma extensão que vai desde Balneário Rincão em Içara/SC, seu limite sul, até Pântano do Sul em Florianópolis/SC, seu limite norte.



coincidindo com as altas temperaturas e altos índices pluviométricos com médias mensais de entorno de 200 mm nesta estação, sendo a média anual de 1623 mm (SANTANA, 2006 apud CANARIN, 2007).

A classificação climática, de acordo com Santana (2006 apud Canarin, 2007) é definida pela atuação da Massa Tropical Atlântica (mTa) e Massa Polar Atlântica (mPa). A umidade relativa margeia 80% e a insolação média anual varia entre 2000 e 2200 horas anuais.

De acordo com dados da Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina (1989), a bacia do rio Urussanga insere-se em uma região que, segundo o sistema de classificação climático de Köeppen, se enquadra no clima do grupo C - mesotérmico, uma vez que as temperaturas médias do mês mais frio estão abaixo dos 18°C e acima de 3°C, e neste grupo, ao tipo (f) sem estação seca distinta (Cf), pois não há índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm. Quanto à altitude da região, o clima se distingue por subtipo de verão (a), com temperaturas médias nos meses mais quentes de 28°C (Cfa).

#### **4.1.2 Geologia**

Na área estudada afloram rochas sedimentares e ígneas que fazem parte da sequência gonduânica da borda leste da Bacia Sedimentar do Paraná e extensos depósitos de leques aluviais. Sedimentos quaternários são abundantes junto aos cursos de água. Na porção costeira, ocorrem depósitos arenosos de origem transicional (praial) e retrabalhamento eólico (KREBS, 2004).

O rio Urussanga e seus afluentes apresentam-se como uma expansão das planícies costeiras, por estarem situadas em áreas planas, que favorecem a deposição fluvial (SANTA CATARINA, 1989).

#### **4.1.3 Geomorfologia**

De acordo com dados da Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina (1989), as formas de relevo regional podem ser caracterizadas por três unidades geomorfológicas: Planície Meridional, as Serras Costeiras e as Planícies Costeiras.

- Planície Meridional: encontra-se entre a Serra Geral e as Serras Cristalinas Costeiras, sendo composta por rochas gonduânicas. O relevo desta unidade mostra feições bem marcantes, com vales encaixados e vertentes íngremes;

- Serras Costeiras: são representadas por rochas cristalinas, cujo relevo vai se degradando à medida que se aproxima do litoral;
- Planície Costeira é orientada da direção SW-NE, ocorrendo complexas formas de modelado continental-marinho, derivadas, essencialmente, de processos de acumulação ocorridos a partir do Terciário, abrangendo planícies litorâneas e aluvionares-deltaicas.

#### 4.1.4 Solos

A bacia do rio Urussanga apresenta uma grande variação litológica, cujo intemperismo físico e químico gerou diversos tipos de solos. A revisão e descrição dos aspectos detalhados e gerais do solo na área em estudo, apesar de não ser objeto central da pesquisa, foram descritos de forma mais extensa, sem, contudo esgotar esse tema, porém, é de grande importância para os estudos do comportamento sedimentológicos na bacia hidrográfica.

A porção mais a norte-noroeste da bacia caracteriza-se por superfícies planas, levemente sulcadas pela instalação da atual rede de drenagem. Este planalto compõe-se de intrusivas básicas à intermediárias de idade juro-cretácica (Formação Serra Geral), constituindo rochas de composição básica, tais como basaltos e fenobasaltos, com desenvolvimento de geodos e rochas de composição intermediária, tais como andesitos e dacitos (HORBACH et al., 1986 apud TREIN, 2008).

A partir desse substrato rochoso desenvolveram-se, na área da bacia, Cambissolos Brunos Húmicos e, subordinadamente, Terra Roxa Estruturada Húmica e Solos Litólicos, todos de composição álica. Esses terrenos de alta declividade desenvolvem, predominantemente, solos Litólicos eutróficos ou distróficos, pedregosos e com horizonte A bem desenvolvido. (KER et al., 1986 apud TREIN, 2008).

As cristas endentadas com os sedimentos da escarpa do Montanhão caracterizam-se como interflúvios serranos entre as principais sub-bacias da bacia de drenagem do rio Urussanga, apresentando expressivos desnivelamentos. Esses terrenos com alta declividade desenvolvem solos Podzólicos Vermelho- Amarelos álicos, de textura média, argilosa. Também ocorrem Solos Litólicos eutróficos, pedregosos, nas porções mais elevadas e íngremes dos patamares (GIANINI e SUGUIO, 1994).

A Unidade Geomorfológica Depressão da Zona Carbonífera Catarinense abrange o norte e a área central/oeste da bacia do rio Urussanga e caracteriza-se por um relevo de colinas e morros, com média a alta densidade de drenagem, situados no sopé da escarpa da Serra Geral. Este conjunto diversificado de rochas sedimentares desenvolveu solos profundos, de baixa fertilidade natural e horizonte B textural, onde se destacam os Podzólicos Vermelho-Amarelos álicos e os Podzólicos Latossólicos Vermelho-Amarelos álicos, de textura média a argilosa. Subordinadamente também ocorrem solos Podzólicos Bruno-Acinzentados álicos e Latossolos Vermelho-Amarelos álicos (TREIN, 2008).

Conforme o mesmo autor, as planícies aluviais nas proximidades dos contrafortes da Serra Geral apresentam uma granulometria mais fina em direção à foz do rio Urussanga, e desenvolve, a montante, Solos Aluviais, gradativamente substituídos por Solos Gley Pouco Húmicos e por Gley Húmicos, em direção à jusante.

Gianini e Suguio (1994), afirmam que nos terraços marinhos e dunas fixas de areias cimentadas e escurecidas, encontra-se a presença de limonita. Já os terraços marinhos holocênicos e, as dunas ativas ou semi-estabilizadas, apresentam areias claras e inconsolidadas, pouco pedogeneizadas.

Conforme o mesmo autor, a Planície Lagunar está inserida na baixada litorânea, entre as gerações de terraços marinhos. Estes terrenos consistem de sedimentos argilo-arenosos a argilosos, ricos em matéria orgânica, resultantes de processos de progressiva colmatagem de extensas paleo-lagunas. Essas planícies alagadas tendem a desenvolver solos orgânicos distróficos em ambiente palustre, em condições de lenta decomposição de matéria orgânica (TREIN, 2008).

## 4.2 PONTOS AMOSTRAIS

Para a execução deste trabalho foram utilizados como referência da qualidade da água e sedimentos, análises e dados de trabalhos anteriores realizados sobre o estudo da contaminação por metais em águas e sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (VOLPATO, 2010).

Nos trabalhos citados acima, foram coletadas amostras de água e sedimentos de quatro pontos amostrais ao longo da BHRU, sendo que foram realizadas campanhas de amostragens, entre elas análises químicas, físico-químicas e toxicológicas.

Para a realização deste trabalho, foram analisados, a fim de obter uma melhor compreensão, os resultados obtidos no trabalho referenciado acima, mas o estudo em questão baseou-se em duas campanhas de amostragem realizadas em 02/05/2012 e 27/06/2012. Nestas duas campanhas foram coletas amostras de sedimentos em apenas dois pontos, na nascente do rio Urussanga e seu estuário, na comunidade da Barra do Torneiro.

Os pontos amostrados nos trabalhos referenciados e base deste trabalho, serão descritos brevemente no Quadro 1, sendo que para este trabalho apenas utilizou-se amostras dos pontos P02 e P04.

Quadro 1: Descrição dos pontos amostrais

<b>PONTO AMOSTRAL</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>	<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM)</b>	<b>COLETA</b>
<b>Ponto 2 (P02)</b>	Rio Urussanga - Município de Urussanga	6845230 N e 0664951 E	Cem metros a jusante da confluência do rio Carvão com o rio Maior
<b>Ponto 4 (P04) ESTUÁRIO</b>	Rio Urussanga – Município de Jaguaruna (Barra do Torneiro)	6813512 N e 0676284 E	500 m a montante do mar

Fonte: Autor

Na Figura 11 é ilustrada uma foto do P02:

Figura 11 - Ponto Amostral P02.



Fonte: Autor, 2010.

Nas Figuras 12 e 13 são ilustradas fotos do P04.

Figura 12 - Ponto Amostral P04.



Fonte: Autor, 2010.

Figura 13 - Rio Urussanga no Ponto 4 onde é cruzado pela ponte que liga o Balneário Rincão a Barra do Torneiro.



Fonte: Schnack (2012)

#### 4.3 ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO SEDIMENTO

Os parâmetros físico-químicos de cada amostra de sedimento foram mensurados pelo Laboratório de Análises de Solo e Fertilizantes do i-parque UNESC (Parque Científico e Tecnológico da Universidade do Extremo Sul Catarinense).

Os dados relacionados aos sedimentos foram obtidos em campanhas de amostragem (02/05/2012 e 27/06/2012), onde se coletou amostras de sedimento em dois pontos, e as mesmas foram encaminhadas ao laboratório no mesmo dia das coletas para garantir a integridade da amostra e fidelidade dos resultados.

A coleta deste material foi realizada por técnico do IPAT, e para cada ponto amostral foi utilizado o equipamento de coleta mais apropriado para o ambiente, de acordo com a infraestrutura disponibilizada pelo laboratório.

No ponto 04, o material foi coletado com a Draga Birge-Ekman, conforme Figura 14. Em cada ponto amostral, a coleta de sedimentos foi composta, por porções obtidas do meio do rio até suas margens.

Figura 14 - Técnico do i-parque coletando sedimento com a Draga Birge-Ekman.



Fonte: Autor, 2010.

Este tipo de draga é recomendada por Mudrock e Macknight (1994, apud Mozeto, 2006) para ambientes com pequena correnteza. Trata-se de um coletor em aço-inox, com peso de aproximadamente 3,2 kg e uma área de amostragem de 15 x 15 cm (área da base) e 20 cm de altura.

No ponto 02, o material foi coletado com o coletor utilizado para a água em baixas profundidades, “Coletor de Inox”. Neste ponto a amostra de sedimento também foi composta. A coleta no P02 pode ser visualizada na Figura 15.

Figura 15 - Técnico do i-parque coletando sedimento com o “Coletor de Inox”.



Fonte: Autor, 2010.

No laboratório foram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: Alumínio, Arsênio, Chumbo, Ferro, Manganês, Zinco, Fósforo Total, Carbono Orgânico, Matéria Orgânica, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, pH, Potencial Redox e Umidade a 65°C e 105°C.

Na Tabela 2, pode-se observar os parâmetros analisados bem como o método analítico utilizado pelo laboratório.

Tabela 2 - Parâmetros analisados nos sedimentos e seus respectivos métodos analíticos.

<b>Parâmetro</b>	<b>Método Analítico</b>
<b>Arsênio (mg/kg)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica em Forno de Grafite
<b>Chumbo (mg/kg)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica com Chama
<b>Manganês (mg/kg)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica com Chama
<b>Zinco (mg/kg)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica com Chama
<b>Alumínio (%)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica com Chama
<b>Ferro (%)</b>	Espectrofotometria por Absorção Atômica com Chama
<b>Nitrogênio Total (%)</b>	Titulométrica Kjeldahl
<b>Nitrogênio Amoniacal (%)</b>	Titulométrica H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
<b>Matéria Orgânica (%)</b>	Oxidação com K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
<b>Fósforo Total (%)</b>	Relação estequiométrica P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
<b>Carbono Orgânico (%)</b>	Oxidação com K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
<b>Umidade (%)</b>	Gravimétrico
<b>pH</b>	Potenciométrico
<b>Potencial Redox (mV)</b>	Potenciométrico

Fonte: Autor

Vale ressaltar ainda que a digestão da amostra para determinação dos metais foi baseado no Método SW 846 -3050. Os resultados dos laudos foram expressos na base seca, com exceção do pH e potencial redox, onde os ensaios dos mesmos foram realizados na amostra “in natura”.

Os dados obtidos com os laudos emitidos pelo Laboratório de Solos e Fertilizantes foram expressos em (%) e mg.kg<sup>-1</sup>, porém, para este estudo todos os valores foram transformados em mg.kg<sup>-1</sup>.

#### 4.4 ENSAIOS DE BANCADA

Devido à complexidade das interações superficiais, bem como das interações de rede molecular não superficial, considerando que os metais presentes também podem ficar retidos na água intersticial, alguns autores demonstram que elementos como o cobre, por exemplo, podem formar complexos com substâncias húmicas, imobilizando até 60% do metal presente no sedimento (BAPTISTA NETO et al, 2008).

Diante desses aspectos, e por não existirem ainda procedimentos normatizados no que se refere à extração de metais contidos em sedimentos contaminados por Drenagem Ácida de Mina, o presente trabalho buscou desenvolver procedimentos adaptados para a realização dos ensaios de lixiviação, a partir do uso de soluções alcalinas e ácidas. Dessa forma, o objetivo dos ensaios de bancada foi a extração dos metais adsorvidos no sedimento e em sua água intersticial, em diferentes tempos de contato e pressão.

##### 4.4.1 Lixiviação

Os ensaios de lixiviação foram realizados no Laboratório de Solos e Fertilizantes do i-parque UNESC.

Para efeito de reprodução das condições ambientais e a reprodutibilidade dos testes de lixiviação e tratamento, foi selecionado uma amostra característica do tipo de sedimento existente na região estuarina (Ponto 04) da bacia hidrográfica em estudo, neste caso, a amostra coletada em 02 de maio de 2012.

A amostra possuía cor escura, consistência pastosa (lodo muito fino característico de sedimentos de fundo) e odor forte provavelmente devido a presença de matéria orgânica, sulfetos e sulfatos (Figura 16).

Figura 16 – Amostra dos ensaios



Fonte: Autor, 2012.

#### 4.4.4.1 Ensaio1: Lixiviação Alcalina

O objetivo deste ensaio foi quantificar os metais (Fe, Zn e Mn) extraídos da água intersticial do sedimento e aqueles adsorvidos no grãos, quando expostos a solução nº1 (5,7 mL de ácido acético glacial e 64,3 mL de NaOH 1,0 N) da Norma Brasileira 10005.

Para execução dos ensaios, foram realizados os seguintes procedimentos:

1. Retirou-se a amostra do refrigerador horas antes para que atingisse o equilíbrio térmico, conforme NBR 10005.
2. Avaliou-se o teor em sólidos no sedimento, também conforme NBR 10005 (Ensaio de lixiviação). Obtido o resultado, executou-se a compensação de massa/volume a fim de cumprir a resolução descrita acima, obtendo assim uma nova massa a ser pesada
3. Seguindo a NBR 10005, pesou-se a nova massa (32,9 g) e posteriormente alocou-a num Becker de 2L (Figura 17), volume

necessário para acondicionar num segundo momento a solução nº1, completando o volume a 1L de água deionizada.

Figura 17 - Solução do Ensaio 1



Fonte: Autor, 2012.

4. Adicionou-se a solução nº1 ao Becker contendo o sedimento e com um bastão, ambos foram agitados manual e vagorosamente por cinco minutos.
5. Iniciou-se o processo de filtração, utilizando uma bomba à vácuo modelo TE-058, com pressão de 750 mmHg , e fibra de vidro 85/70, onde todo o conteúdo do Becker foi filtrado, como pode-se observar na Figura 18.

Figura 18 - Processo de Filtração da Solução

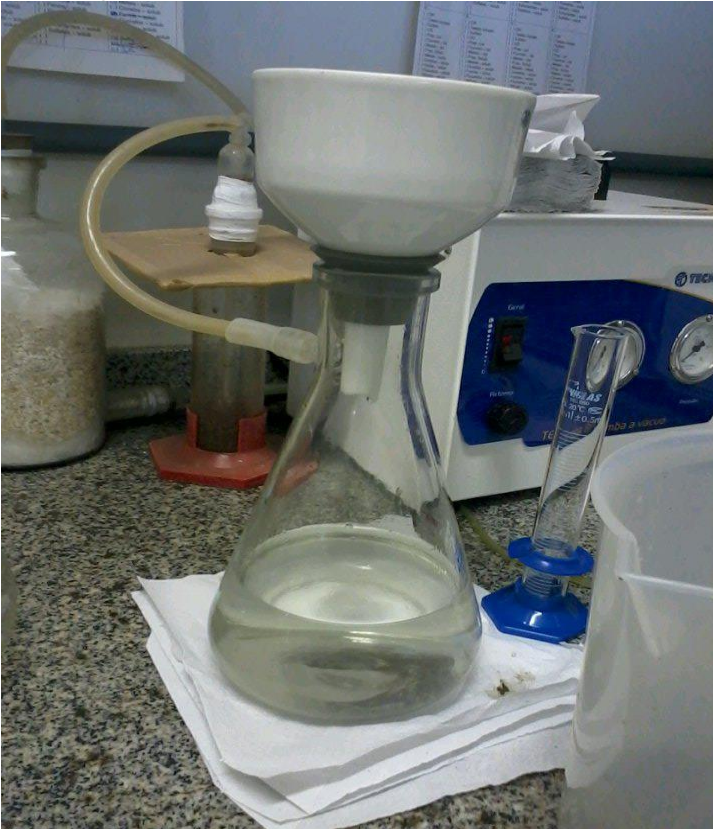


Fonte: Autor, 2012

6. Após a filtração foi obtido o extrato deste ensaio (Figura 19), de onde posteriormente foi separada uma alíquota de 100 mL para procedimento de digestão ácida (com 2 mL de  $\text{HNO}_3$  para Mn e Zn) e outra alíquota de 100mL filtrado em membrana de nitro celulose 0,45 $\mu\text{m}$  (Fe solúvel –conservada com 2mL de  $\text{HNO}_3$ ).

Os resultados referentes à concentração dos metais foram obtidos por espectrofotometria por absorção atômica – AAS. Na Espectrofotometria analisaram-se as concentrações em Ferro Dissolvido, Manganês e Zinco total.

Figura 19 - Extrato do Ensaio 1



Fonte: Autor, 2012.

#### 4.4.4.2 Ensaio 2: Lixiviação Alcalina da torta de filtragem do Ensaio 1

O Ensaio 2 teve como objetivo extrair a maior quantidade em metais (Fe, Mn e Zn) contidos na torta de filtragem produzida no Ensaio 1, considerando a possibilidade de submissão da torta a um maior tempo de contato com a solução alcalina.

Este ensaio foi executado conforme NBR 10005, onde foi adicionado 1L da solução nº1 ao material retido no filtro (Figura 20), e posteriormente transferido para um frasco de politetrafluoretileno (PTFE). Em seguida este material foi submetido a uma agitação por 18

horas em um equipamento denominado Agitador Rotativo para não voláteis modelo TE-743 conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 20 - Material retido no filtro do Ensaio 1



Fonte: Autor, 2012.

Figura 21 - Agitador rotativo para não voláteis



Fonte: <http://www.tecnallab.com.br> (2012).

Na sequência dos procedimentos o líquido sobrenadante foi filtrado, obtendo-se o extrato do ensaio 2.

O extrato do ensaio 2 foi posteriormente separado em uma alíquota de 100 mL para procedimento de digestão ácida (com 2mL de  $\text{HNO}_3$  para Mn e Zn) e outra alíquota de 100mL filtrado em membrana de nitro celulose  $0,45\mu\text{m}$  (Fe solúvel –conservada com 2mL de  $\text{HNO}_3$ ).

Os resultados referentes à concentração dos metais foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica – AAS. Na Espectrofotometria analisaram-se apenas as concentrações de Ferro Dissolvido, Manganês e Zinco.

#### 4.4.4.3 Ensaio 3: Lixiviação Ácida com pouco tempo de contato

O Ensaio 3 teve como objetivo quantificar os metais (Fe, Zn e Mn) extraídos da água intersticial do sedimento e adsorvidos nos grãos, quando expostos por cinco minutos a uma solução preparada de Ácido acético 1M e sob agitação constante.

1. De acordo com a NBR 10005, avaliou-se o teor em sólidos do sedimento. Obtido o resultado foi executada a compensação de massa/volume a fim de cumprir a resolução descrita acima, obtendo assim uma nova massa a ser pesada.

2. Pesou-se a nova massa (32,9 g) e posteriormente dispondendo-a em um Becker de 2L.
3. Dando prosseguimento ao ensaio, a solução preparada de ácido acético 1M foi adicionada ao Becker contendo o sedimento e com um bastão, ambos foram agitados manual e vagarosamente por cinco minutos.
4. Após a agitação manual, iniciou-se a filtração da solução, onde foi utilizado um equipamento para filtração de voláteis modelo ZHE/TE-744/2, ilustrado na Figura 22. Este equipamento possui funções similares a um filtro prensa. O filtro utilizado no ensaio foi de fibra de vidro 85/70. No processo de filtração (Figura 23), foi utilizado um compressor, à pressão de 660 mmHg.

Figura 22 – Equipamento para filtração de voláteis



Fonte: Autor, 2012.

Figura 23 - Processo de Filtração utilizando compressor.



Fonte: Autor, 2012.

5. Após a filtração, foi obtido o extrato do Ensaio 3, onde posteriormente separou-se uma alíquota de 100 mL para procedimento de digestão ácida ( $\text{HNO}_3$ -2mL para Mn e Zn) e outra alíquota de 100mL filtrado em membrana de nitro celulose 0,45 $\mu\text{m}$  (Fe solúvel –conservada com 2mL de  $\text{HNO}_3$ ).

Os resultados referentes à concentração dos metais foram obtidos por espectrofotometria de absorção atômica – AAS. Na Espectrofotometria analisaram-se apenas as concentrações de Ferro Dissolvido, Manganês e Zinco.

#### 4.4.4.4 Ensaio 4: Lixiviação Ácida com tempo de contato longo

O Ensaio 4 teve como objetivo quantificar os metais (Fe, Zn e Mn) extraídos da água intersticial do sedimento e adsorvidos nos grãos, quando expostos por 72 horas a uma solução de 1L de Ácido acético 1M. A exposição do material a esta solução e o tempo maior de contato com a mesma teve como objetivo a extração de maiores concentrações dos metais.

O procedimento do Ensaio 4 foi similar ao do Ensaio 3, a diferença entre os ensaios está no tempo de contato com a solução ácida.

Após as 72 horas de contato com a solução, o material foi filtrado sob pressão de 660 mmHg.

As análises para determinação das concentrações em metais foram realizadas em equipamento de espectrofotometria por absorção atômica – AAS.

#### **4.4.2 Ensaios de Flocculação**

O objetivo dos ensaios de flocculação foi a remoção dos metais Ferro, Manganês e Zinco obtidos nos extratos dos ensaios 3 e 4. Foram selecionados estes dois extratos por terem sido aqueles que apresentaram as maiores concentrações nos metais Fe, Zn e Mn extraídos dos sedimentos e de sua água intersticial.

Considerando as concentrações em metais, acidez elevada e baixo pH, essas características correspondem a materiais típicos de condições de contaminação devido a drenagem ácida de mina. Desta forma o tratamento proposto correspondeu a um dos procedimentos atualmente utilizados na região para este tipo de efluente, ou seja, correção do pH seguida de Flocculação.

Os ensaios de tratamento dos extratos, por meio de neutralização-flocculação, foram realizados no Laboratório de Química da UNESC, com o auxílio de técnicos do laboratório.

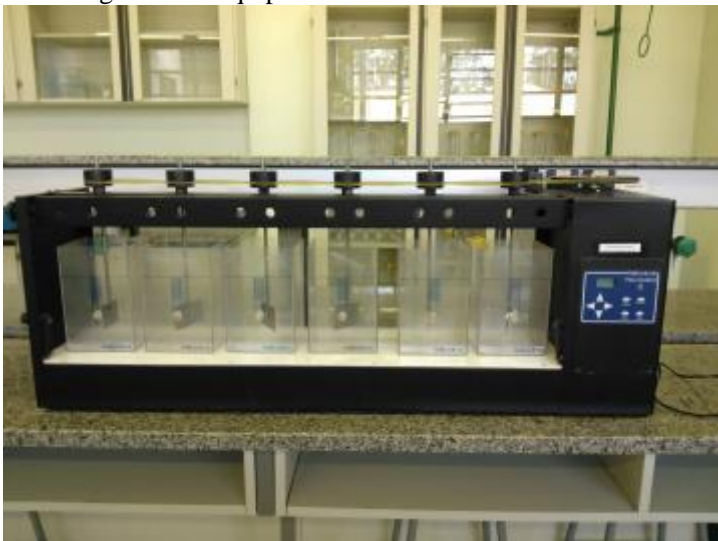
Considerando a necessidade de um maior controle das variáveis nos processos de tratamento, nos ensaios de flocculação foram utilizadas amostras sintéticas, sendo que estas têm a vantagem de serem preparadas em grandes quantidades e de serem selecionadas apenas os metais de maior concentração e relevância para o estudo. As amostras foram preparadas conforme resultados obtidos na Espectrofotometria dos Ensaios 3 e 4.

Para a neutralização das soluções foi utilizado Hidróxido de Cálcio 10%. Para realizar um estudo comparativo e avaliar a eficiência do tratamento por flocculação, foram utilizados dois tipos de floculantes aniônicos.

Os resultados obtidos nos Ensaios de flocculação foram comparados com a Legislação Vigente, a Resolução do CONAMA nº 430/2011, que *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.*

O equipamento para a realização dos ensaios de floculação foi do modelo Jar-Test (PoliControl – Floc Control II), conforme Figura 24.

Figura 24 – Equipamento Jar-Test utilizado nos ensaios



Fonte: Autor, 2012.

#### 4.4.2.1 Preparação dos Polímeros Floculantes

Os polímeros floculantes cujas concentrações especificadas no rótulo é 0,1% foram preparados em 1L de água deionizada, onde ficaram em constantes agitações para solubilização do material. Após todo material ser solubilizado, os mesmos foram transferidos para frascos identificados e armazenados.

Os polímeros utilizados foram: Polímero Aniônico W500 – solúvel em água com  $d = 0,25 \text{ g.cm}^{-3}$  (marca Waltrick) e o Polímero Aniônico 0823 – solúvel em água com  $d = 0,80 \text{ g.cm}^{-3}$  (marca Tanac).

#### 4.4.2.2 Floculação do extrato do Ensaio 4

O Ensaio 01 de floculação consistiu no tratamento do extrato obtido no Ensaio de lixiviação 4. O objetivo deste ensaio foi tratar o extrato quando o sedimento da região estuarina ficou exposto por 72 horas com a solução de ácido acético 1M.

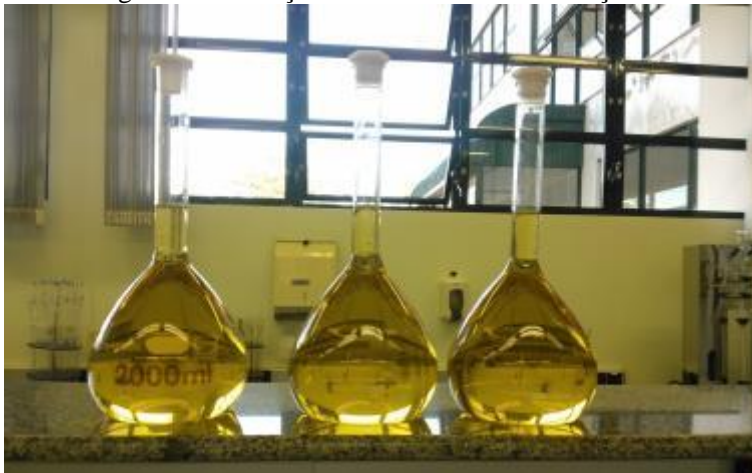
O tratamento consistiu na correção do pH e o posterior uso de polímeros (floculantes). Os ensaios foram realizados em triplicata e usados os dois polímeros aniônicos para verificar a eficiência do tratamento.

Para realização do Ensaio 01 de floculação foram tomados como referência os resultados das concentrações em metais (Fe, Mn e Zn) obtidas na espectrofotometria por absorção atômica do extrato obtido do Ensaio 4.

As concentrações dos metais foram preparadas em soluções de 2L. Os procedimentos foram os seguintes:

1. Em uma balança analítica pesou-se em taras separadas, 675,04 mg de sal de Fe(III), 5,34 mg de sal Mn(II) e 2,70 mg de sal de Zinco.
2. Em um Becker contendo aproximadamente 2L de água de deionizada, os sais foram acrescentados e diluídos.
3. Após a diluição, a amostra foi transferida para o balão volumétrico de 2L para ter-se precisão do volume (Figura 25).

Figura 25 – Soluções do Ensaio 01 de floculação



Fonte: Autor, 2010.

4. Colocou-se no agitador para a amostra ser homogeneizada.
5. Após a homogeneização, mediu-se o pH da amostra e em seguida fez-se a correção do mesmo utilizando hidróxido de cálcio 10%, como ilustrado na Figura 26.

Figura 26 – Neutralização das soluções com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 

Fonte: Autor, 2012.

6. Após a correção do pH, dividiu-se a solução neutralizada em duas provetas de 1L cada e transferiu-se para as cubas do Jar-Test (Figura 27).

Foi realizado o mesmo procedimento descrito para três soluções de 2L, e desta forma obtiveram-se seis soluções de 1L cada, considerando que foram utilizados dois tipos de flocculantes.

Figura 27 – Soluções nas cubas do Jar-Test



Fonte: Autor, 2012.

Considerando as concentrações de flocculantes utilizadas em regime contínuo e em escala industrial, buscou-se em escala de bancada o uso dos polímeros nas mesmas concentrações de  $2 \text{ mL.L}^{-1}$  de solução neutralizada de DAM.

Desta forma, acrescentou 2 mL do polímero *Waltrick* nas cubas 1, 3 e 5, e 2 mL do polímero *Tanac* nas cubas 2, 4 e 6.

Depois de adicionados os flocculantes, agitou-se as amostras no Jar-Test com velocidade de 40 rpm durante 2 min (Figura 28).

Figura 28 – Agitação das soluções com o floculante

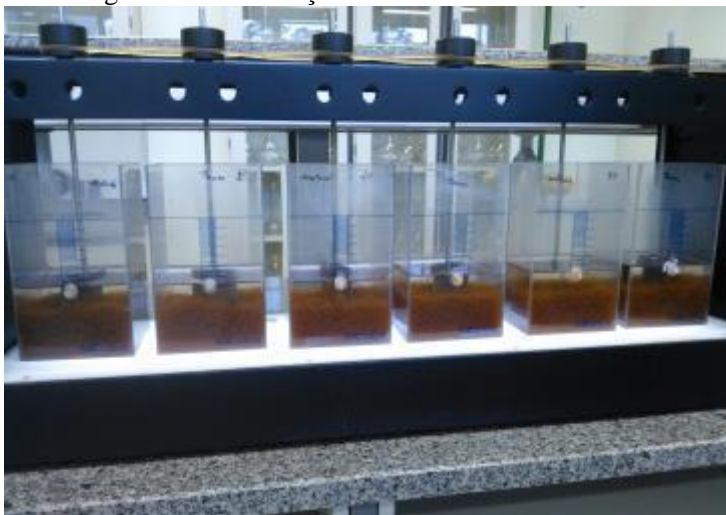


Fonte: Autor, 2012.

Após a agitação, esperou-se a decantação e sedimentação dos flocos (Figura 29 e 30).

Pipetou-se 100 mL de amostra de cada uma das soluções e transferiu-se para os frascos identificados (1 a 6), onde os mesmos foram encaminhados para a Espectrofotometria de Absorção Atômica - AAS.

Figura 29 - Decantação dos Flocos no Jar-Test



Fonte: Autor, 2012.

Figura 30 - Decantação dos flocos nas cubas do Jar-Test



Fonte: Autor, 2012.

#### 4.4.2.3 Floculação do extrato do Ensaio 3

O Ensaio de floculação 02 seguiu os mesmos procedimentos do ensaio anterior 01, apenas diferenciando-se quanto às concentrações em Ferro, Manganês e Zinco, quando foram tomadas como referência os valores obtidos no extrato do Ensaio 3. Os valores foram os seguintes: 507,56 mg de sal de Fe(III), 4,08 mg de sal Mn(II) e 1,10 mg de sal de Zinco.

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 5.1 LIXIVIAÇÃO

#### 5.1.1 Ensaio 1: Lixiviação Alcalina

Os resultados obtidos na Lixiviação Alcalina do Ensaio 1, bem como a concentração em metais da amostra bruta (Anexo A), estão apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 – Resultados Ensaio 1

ENSAIO 1		AMOSTRA BRUTA
Fe (III)	136,3 mg/L	76100,0 mg/L
Mn (II)	1,45 mg/L	115,0 mg/L
Zn (II)	0,13 mg/L	-

Fonte: Autor

Conforme pode-se deduzir a partir dos resultados dispostos na tabela acima, as concentrações dos metais analisados se mantiveram elevadas, quando o sedimento ficou exposto a solução alcalina, o que aponta que para este tipo de procedimento os resultados não foram tão promissores quanto o esperado, considerando que na amostra bruta a concentração em ferro obtida foi de 76.100,00 mg.L<sup>-1</sup>.

#### 5.5.2 Ensaio 2: Lixiviação Alcalina da torta de filtração

Os resultados obtidos no Ensaio 2, que consistiu a lixiviação alcalina da torta de filtração resultante do Ensaio 1 estão apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Resultados Ensaio 2

ENSAIO 2	
Fe (III)	0,51 mg/L
Mn (II)	0,09 mg/L
Zn (II)	0,34 mg/L

Fonte: Autor

O Ensaio 2 também não apresentou valores significativos para a remoção dos metais contidos nos sedimentos.

### 5.5.3 Ensaio 3: Lixiviação Ácida com pouco tempo de contato

Os resultados obtidos na Lixiviação Ácida com pouco tempo de contato (5 minutos) estão apresentados na Tabela 5:

Tabela 5 – Resultados Ensaio 3

ENSAIO 3	
Fe (III)	253,78 mg/L
Mn (II)	2,04 mg/L
Zn (II)	0,55 mg/L

Fonte: Autor

Apesar dos resultados obtidos no Ensaio 3 terem sido um pouco superiores aqueles obtidos no Ensaio 1, tais diferenças não são tão significativas a ponto de se vislumbrar perspectivas para a adoção deste procedimento para remoção dos metais contidos no sedimento em regime contínuo e em maior escala de tratamento.

### 5.5.4 Ensaio 4: Lixiviação Ácida com tempo de contato longo

Os resultados obtidos na Lixiviação Ácida com tempo longo de contato (72 horas) estão apresentados na Tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Resultados Ensaio 4

ENSAIO 4	
Fe (III)	337,52 mg/L
Mn (II)	2,67 mg/L
Zn (II)	1,35 mg/L

Fonte: Autor

No Ensaio 4 obteve-se resultados melhores no que diz respeito a extração de metais, o que sugere que um tempo maior de contato, seguido da agitação mecânica com o uso de uma solução de ácido acético, pode ter sido o principal fator que contribuiu para uma maior remoção dos metais analisados contidos nos sedimentos aquáticos coletados no estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga.

## 5.2 FLOCULAÇÃO

Em todos os procedimentos antes da etapa de floculação foram elevados o pH até valores em torno de 8,5. Este valor teve como objetivo a máxima precipitação de hidróxidos metálicos incluindo o manganês.

Para cada um dos ensaios de lixiviação (Ensaio 3 e 4) a substância alcalina utilizada foi  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  em uma concentração em volume 10%. Todos os ensaios de tratamento foram realizados em triplicatas, em volumes de 2L e identificadas como Soluções 1, 2 e 3.

### 5.2.1 Correção do pH do extrato do Ensaio 4

Nas Tabelas 7, 8 e 9 estão apresentados os resultados obtidos ao longo do processo de elevação do pH, tanto em termo de volume utilizado quanto em termo de variação do pH.

Tabela 7 - Correção do pH da Solução 1

Hidróxido de Cálcio 10% (mL)	pH
pH inicial	2,02
5	2,57
10	2,84
15	2,87
20	3,01
25	3,21
26,7	6,55
26,8	<b>8,73</b>

Fonte: Autor

Tabela 8 - Correção do pH da Solução 2

Hidróxido de Cálcio 10% (mL)	pH
pH inicial	2,03
10	2,64
15	2,78
20	3,00
24	<b>8,88</b>

Fonte: Autor

Tabela 9 - Correção do pH da Solução 3

Hidróxido de Cálcio 10% (mL)	pH
pH inicial	2,10
5	2,33
10	2,50
20	2,80
25	3,15
26	4,22
27,25	<b>8,28</b>

Fonte: Autor

Os resultados obtidos na correção do pH ilustrados nas Figuras 35, 36 e 37 demonstram que para volumes de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  entre 24 e 27 mL o pH final das soluções variou entre 8,28 e 8,88.

### 5.2.2 Floculação do extrato do Ensaio 4

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados obtidos para as concentrações em metais após o Ensaio 01 de floculação, sendo as amostras enumeradas de 1 a 6.

Conforme mencionado na metodologia, as amostras 1, 3 e 5 foram tratadas com polímero Waltrick, identificadas como W1, W3 e W5, e as amostras 2, 4 e 6 foram tratadas com polímero Tanac, identificadas como T2, T4 e T6.

Tabela 10 - Resultados, em  $\text{mg.L}^{-1}$ , do tratamento com floculantes para o Ensaio 01

Metais	Solução 1		Solução 2		Solução 3	
	W1	T2	W3	T4	W5	T6
<b>Ferro</b>	<0,02	<0,02	<0,02	0,26	<0,02	0,12
<b>Zinco</b>	<0,01	0,10	<0,01	0,04	0,10	0,10
<b>Manganês</b>	<0,01	0,42	<0,01	<0,01	0,70	0,72

Fonte: Autor

Quando comparados os resultados obtidos com a legislação vigente para os limites de lançamento de efluentes, a Resolução CONAMA 430/2012, os resultados do Ensaio 01 demonstraram uma boa eficiência dos floculantes utilizados para a remoção dos metais

ferro, zinco e manganês, ficando os mesmos abaixo dos limites estabelecidos pela legislação ambiental.

No que diz respeito as concentrações finais em manganês, verificou-se que o pH final(8,28) mais baixo da Solução 3, acarretou também uma maior concentração neste elemento, isto para os dois tipos de flocculantes utilizados. Esta constatação corrobora com as curvas de variação de solubilidade do manganês em função do pH.

### 5.2.3 Correção do pH do extrato do Ensaio 3

Nas Tabelas 11, 12 e 13 estão apresentados os resultados obtidos ao longo do processo de elevação do pH, tanto em termo de volume utilizado quanto em termo de variação do pH.

Tabela 11 - Correção do pH da Solução 1

<b>Hidróxido de Cálcio 10% (mL)</b>	<b>pH</b>
pH inicial	2,09
5	2,52
10	2,76
15	2,90
20	3,30
22,25	<b>8,11</b>

Fonte: Autor

Tabela 12 - Correção do pH da Solução 2

<b>Hidróxido de Cálcio 10% (mL)</b>	<b>pH</b>
pH inicial	2,17
5	2,60
10	2,71
15	2,83
20	3,02
22,9	<b>8,15</b>

Fonte: Autor

Tabela 13 - Correção do pH da Solução 3

<b>Hidróxido de Cálcio 10% (mL)</b>	<b>pH</b>
pH inicial	2,14
5	2,36
10	2,77
15	3,06
20	2,30
24	<b>8,54</b>

Fonte: Autor

### 5.6.2 Floculação do extrato do Ensaio 3

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados obtidos para as concentrações em metais após o Ensaio 01 de floculação, sendo as amostras enumeradas de 7 a 12.

Conforme mencionado na metodologia, as amostras 7, 9 e 11 foram tratadas com polímero Waltrick, identificadas como W7, W9 e W11, e as amostras 8, 10 e 12 foram tratadas com polímero Tanac, identificadas como T8, T10 e T12.

Tabela 14 - Resultados, em  $\text{mg.L}^{-1}$ , do tratamento com Floculantes para o Ensaio 2

<b>Metais</b>	<b>Solução 1</b>		<b>Solução 2</b>		<b>Solução 3</b>	
	<b>W7</b>	<b>T8</b>	<b>W9</b>	<b>T10</b>	<b>W11</b>	<b>T12</b>
<b>Ferro</b>	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
<b>Zinco</b>	0,03	1,09	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Manganês</b>	1,08	1,09	1,50	1,52	0,22	0,22

Fonte: Autor

Os resultados obtidos no tratamento do Ensaio 02 demonstraram a eficiência no uso dos floculantes para a remoção dos metais ferro e zinco em todas as soluções, onde esses ficaram dentro dos limites de lançamento conforme estabelecido na Resolução CONAMA 430/2012.

No entanto, para o manganês contidos nas soluções 1 e 2, os resultados obtidos não proporcionaram uma adequação deste elemento aos limites de lançamento. Tal constatação sugere que este fato esteja relacionado ao pH das soluções terem ficado abaixo de 8,5. Conforme ilustrado na tabela, a concentração final do manganês permaneceu acima de  $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ , o que configura uma desconformidade no que diz respeito os limites de lançamento de efluente.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho permitiu concluir que o estudo dos mecanismos de difusão de poluentes e o papel dos sedimentos aquáticos presentes no meio aquático são de grande importância para a avaliação do nível de degradação dos recursos hídricos, sendo eles considerados carreadores de metais ao longo de uma bacia hidrográfica, desde as suas nascentes até o seu estuário, como se pode observar nos resultados obtidos por meio da caracterização química e físico-química.

Ao longo das campanhas de amostragem realizadas, as análises da concentração de alguns metais tóxicos, tais como Ferro, Zinco e Manganês em sedimentos, demonstraram níveis mais elevados na região estuarina da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga do que na região da própria nascente do rio Urussanga, sendo este considerado o ponto que recebe toda carga de DAM do rio Carvão, um dos mais contaminados da região carbonífera de Santa Catarina.

As análises demonstraram que o sedimento apresenta concentrações variáveis em metais, seja devido aos mesmos estarem adsorvidos nos grãos, seja por estarem solubilizados na coluna d'água, devido entre outros fatores, as variações de pH e Eh no ambiente aquático. Tais aspectos reforçam a necessidade do estudo dos sedimentos como um importante indicador da qualidade ambiental dos recursos hídricos.

No que diz respeito a legislação ambiental específica, observa-se uma lacuna no Brasil com relação aos estabelecimentos de padrões de qualidade do sedimento correlacionados com alguns metais, tais como o ferro. Este elemento predomina em elevadas concentrações quando oriundo da drenagem ácida de mina de carvão, no entanto este elemento não é contemplado de forma adequada pela legislação vigente, mesmo considerando o seu elevado nível de toxicidade.

Com relação aos ensaios de tratamento por floculação aplicada nos sedimentos contaminados pela DAM, eles demonstraram ser eficientes na remoção dos metais ferro e zinco, quando comparados os resultados com os limites de lançamento de efluentes de acordo a legislação específica, a Resolução CONAMA nº 430/2011.

No entanto, para o manganês, os procedimentos não conseguiram removê-lo em um maior percentual. Este fato sugere que seja resultado da faixa de pH onde foram realizados os ensaios, inferior a 8,5. Nesta faixa de pH um percentual de manganês encontra-se solúvel conforme as curvas de solubilidade para esse metal.

Considerando de forma integrada todos os resultados alcançados nessa pesquisa, verificou-se a grande importância da inclusão dos estudos de tratamento aplicados à remoção dos contaminantes presentes em sedimentos aquáticos, e não somente ao tratamento dos efluentes oriundos diretamente das atividades industriais, tais como do setor mineral. As técnicas utilizadas neste trabalho em escala de bancada demonstraram resultados significativos, e promissores, mas em nível industrial ainda carece de maiores aprofundamentos, considerando a complexidade e possíveis custos inerentes aos processos de extração do líquido intersticial contido nos sedimentos contaminados pela drenagem ácida de mina.

Considerando que a área objeto desta pesquisa, a região estuarina da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga possui interface com uma importante unidade de conservação federal, a Área de Proteção Ambiental (APA) da Baleia Franca, e segundo o disposto no art. 3º da Lei 9.433/97 (Política e Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos), deve haver a gestão integrada entre bacias hidrográficas e unidade de conservação em ambientes marinhos-costeiros. Desta forma, o conjunto de dados obtidos nesta pesquisa constitui-se importantes elementos para um maior conhecimento dos mecanismos de difusão de poluentes ao longo de bacias hidrográficas, bem como acerca de alternativas de tratamento para sedimentos contaminados e presentes em regiões estuarinas.

Finalmente, recomenda-se que em continuação aos estudos realizados sejam aprofundadas pesquisas com relação aos mecanismos e comportamento de sedimentos aquáticos quando submetidos a diferentes tratamentos químicos e físico-químicos, considerando a complexidade e a dinâmica das reações existentes em ambientes estuarinos e marinhos-costeiros. Neste contexto a disposição segura e adequada de sedimentos após sua remoção e tratamento constitui-se um importante fator a ser melhor equacionado em projetos de dragagem, desassoreamento de recursos hídricos, recuperação ou restauração ambiental de ecossistemas aquáticos.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004. Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

ALEXANDRE, N. Z. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: Degradação dos Recursos Naturais. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v.5, n.2, 1999.

ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 688 p.

ALLONDA. **Geossintéticos Ambientais**. Estudo de Caso: Disposição de Sedimentos Contaminados do Canal do Fundão/RJ. Disponível em: <<http://allonda.com/wp-content/uploads/2013/03/ESTUDO-DE-CASO-CANAL-DO-FUNDAO-27-2-13.pdf?5c02e7>> Acesso em: Mai. 2012.

ALLOWAY, B.j; AYRES, DC. **Chemical principles of environmental pollution**. London: Blackie Academic & Professional, 1993. 291p.

AMARAL, J. E.; KREBS, A.S.J. Drenagem ácida da mineração de carvão e sua inter-relação com metais pesados e recarga de aquíferos na Bacia Carbonífera do Estado de Santa Catarina. **XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. São Luís – MA. 2010.

BACK, A. J. Análise dos dados de vento. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, UNESC, v.5, n. 2, p.7-17, 1999.

BAPTISTA NETO, J.A.; PONZI, V.R.A.; SICHEL, S.E. **Introdução à Geologia Marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 279 p.

BAPTISTA NETO, J.A. ; WALLNER-KERSANACH; PATCHINEELAM (ORGs). **POLUIÇÃO MARINHA**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

BALTAR, C. A. M. **Processos de agregação**. In: Tratamento de Minérios. DA LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. 5ª edição. CETEM: 2010. p. 557-594

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2000. p. 177-241

BEVILACQUA, J. E. – **Estudos Sobre a Caracterização e a Estabilidade de amostras de Sedimento do Rio Tietê, S.P.** 1996– Tese de Doutorado – Instituto de Química – São Paulo.

BIGARELLA, J. J. **Estruturas e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: EdUFSC, 2003. p. 877-1436.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), 2000. p. 915-943.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 344, de 25 de março de 2004**.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 454, de 01 de novembro de 2012**.

BURGUENÕ, L.E.T. **Estimativas da contaminação dos sedimentos dragados no Porto de Rio Grande para disposição em solo**. Universidade Federal do Rio Grande. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). 2009. 165p.

CAMPAGNOLI, F; MAZZILLI, B. P.; MOREIRA, S. R. D. **Datação de sedimentos aplicada ao monitoramento ambiental de bacias hidrográficas: exemplo da bacia do Rio Grande** - Billings, SP. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Livro de resumos - ABRH, 1999, 155p.

CANARIN, E. **Proposta de Monitoramento Hidrológico para a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga (SC)**. 2007. 114p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

CARVALHO, E. V.; LACERDA, L. D.; **Ciência e Cultura**. 1992, 44, 184.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CASSEMIRO, E; ROSA, L; CASTRO NETO, L. J. O Passivo Ambiental da Região Carbonífera do Sul de Santa Catarina. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 24, 2004, Florianópolis. **Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção Florianópolis**: Núcleo Editorial da Associação Brasileira de Engenharia de Produção ABEPRO (NEA), 2004. 7p.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL (CETEM/MCT). **Projeto conceitual para recuperação ambiental da Bacia carbonífera sul catarinense**. v.1. Criciúma, 2001.

CREPALDI, M. **Degradação ambiental pela extração do carvão em Siderópolis, SC que pensam os alunos**. Criciúma, SC: FUCRI, 1992. 42 p.Criciúma.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 2.ed Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 602 p.

FAVARO, D.I.T; BOSTELMANN, E.; DAMATTO, S.R.; CAMPAGNOLLI, F.;MAZZILLI,B.P. Avaliação da qualidade de sedimentos do reservatório Billings, braço Rio Grande, em relação aos contaminantes inorgânicos. **Projeto de Pesquisa**. FAPESP, Química Analítica, 2001.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, **Meio Ambiente e Carvão, Impactos da exploração e utilização.** Porto Alegre, 2002. 497 p.

FERNANDES, L.D.F. **Transporte de sedimentos em estuários.** 54p. Trabalho Final de Curso (Licenciatura em Engenharia do Ambiente) - Universidade Técnica de Lisboa. 2001.

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. (1981). **Metal Pollution in the Aquatic Environment.** 2° ed. Berlin: Springer-Verlag.

FRANÇA, S. C.A.; MASSARANI, G. **Separação sólido-líquido.** In: Tratamento de Minérios. DA LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. 5ª edição. CETEM: 2010. p. 635-680.

FRAZÃO, E. P. **Caracterização hidrodinâmica e morfo-sedimentar do estuário Potengi e áreas adjacentes: Subsídios para controle e recuperação ambiental no caso de derrames de hidrocarboneto.** Dissertação de mestrado (Mestre em Geodinâmica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal: 2003. 195p.

GALATTO, S. L. **Flotação por ar dissolvido no tratamento da drenagem ácida de mina.** 2003. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma

GEREMIAS, R. **Utilização de rejeito de mineração de carvão como adsorvente para redução da acidez e remoção de íons de metais em drenagem ácida de mina de carvão.** 2009, 121 p. Tese (Doutorado em Química), Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GIANNINI, P. C. F.; SUGUIO, K. Diferenciação entre gerações de depósitos eólicos quaternários na costa centro-sul de Santa Catarina. **ANAIS**, Congresso Brasileiro de Geologia. Camboriú: SBG, 1994. V. 1. P. 402-403.

GOES FILHO, H.A. **Dragagem e Gestão dos Sedimentos,** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 126p., 2004

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso setembro de 2012.

KREBS, A. S. J.. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Araranguá, SC.** Florianópolis, SC. 2004. 375p. Tese (Doutorado) – UFSC.

LEITE, M.A. **Análise do aporte, da taxa de sedimentação e da concentração de metais na água, plâncton e sedimento do Reservatório de Salto Grande, Americana, SP.** São Carlos, SP. 2002. 199p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo (USP). Ciências da Engenharia Ambiental.

LIMA, L.R. S. **Dragagem, transporte e disposição final de sedimentos de leito de rio estudo de caso: Calha do Rio Tietê – Fase II.** São Paulo, SP: USP, 2008. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, 2008.

LUCA, C. P. de. **A contaminação pelos rejeitos do carvão mineral e as condições climáticas.** Criciúma, SC: UNESC, 1999. 40 p. Monografia (Especialização em Gestão ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 1999.

MARRONI, E. V; ASMUS, M. L. 2005. **Gerenciamento Costeiro: uma proposta para o fortalecimento comunitário na gestão ambiental.** Pelotas: Editora da União Sul-Americana de Estudos da Biodiversidade – USEB, 2005. 149 p.

MARTINHAGO, S. **Acidentes na mineração de carvão causados na atividade de escoramento de teto por deficiência de equipamentos.** 2005. 62 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

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

MENEZES, C.T.B. **Tratamento de efluentes ácidos de mina por neutralização e remoção de metais**. 2003. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral), Escola Politécnica de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e Petróleo, São Paulo.

MOZETO, A. A. Coleta de Sedimentos de Ambientes Aquáticos Continentais, Extração de Águas Intersticiais e Determinação Granulométrica. In: MOZETO, A.A.; UMBUZEIRO, G.A.; JARDIM, W.F. **Métodos de Coleta, Análises Físico-Químicas e Ensaios Biológicos e Ecotoxicológicos de Sedimentos de Água Doce**. São Carlos: Editora Cubo, 2006. 25-35p.

PAVEI, P.T. **Estudo de toxicidade proveniente de HPAs em processo de tratamento de efluentes ácidos**. 2004. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

PAVEI, P. T. **Caracterização e estudo do comportamento de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em ecossistemas aquáticos contaminados pelas atividades mineração de carvão**. 2007. 110f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2007

RESTREPO, J. J. B. **Avaliação de elementos-traço em amostras de sedimento marinho ao longo do litoral catarinense**. Florianópolis, SC, 2007. 109f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

RIBEIRO, T.S.; ALMEIDA, M.G.; OLIVEIRA, K.C.; SOUZA, C.M.M.; AZEVEDO, R.A.; REZENDE, C.; VITÓRIA, A.P. 2007. Metais pesados em sedimentos dos rios Imbé (MG) e alto, médio e baixo Paraíba do Sul (RJ/SP). **Anais do XI Congresso Brasileiro de Geoquímica**. Atibaia, Sociedade Brasileira de Geoquímica, 4p.

RODRIGUES, R. C. **Insetos bentônicos e sua relação com a qualidade da água no Rio Mãe Luzia, Treviso, SC**. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2006.

RODRIGUES-FILHO, S. 1995. **Metais Pesados nas Sub-bacias Hidrográficas de Poconé e Alta Floresta**. Série Tecnologia Ambiental, Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCT, Rio de Janeiro, RJ.

RUBIO, J.; TESSELE, F. **Tratamento de efluentes líquidos no setor minero-metalúrgico** in Tratamento de Minérios. Araújo, A.; Valadão, G., Editora da Universidade Federal de Minas Gerais. 17. Minas Gerais, 2004.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U.; **Metals in hydrocycle**, Springer-Verlag: Berlin, 1984.

SANTA CATARINA (SC). Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural. **Inventário Hidro-Agrícola da Bacia do Rio Urussanga**. Florianópolis, 1989. 87p.

\_\_\_\_\_. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina: diagnóstico geral**. Florianópolis, 1997. 163 p.

SCHNACK, C. E. **Análise integrada da qualidade do ecossistema aquático do estuário da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina**. 2012. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2012 Disponível em: <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000055/00005520.pdf>>. Acesso: Fev. 2012.

SASOWSKY, I.D.; FOOS, A.; MILLER, C.M. **Lithic controls on the removal of iron and remediation of acidic mine drainage**. Water Res. v. 34, p. 2742-2746, 2000.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. de. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003. 320 p.

SIECESC - SINDICATO DA INDÚSTRIA DA 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, 2009. 62 p.

SILVEIRA, A. N.; SILVA, R. D.; RUBIO, J. **Técnicas para tratamento e alternativas de reúso de águas ácidas de minas de carvão**. VI Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - ABES-RS e PUCRS/FENG. Porto Alegre, 2008.

**TECNAL**. Equipamentos para laboratórios. Disponível em [http://www.tecnallab.com.br/padrao.aspx?agitadores\\_rotativos\\_content\\_lst\\_2106\\_\\_.aspx](http://www.tecnallab.com.br/padrao.aspx?agitadores_rotativos_content_lst_2106__.aspx). Acesso dia 20 de setembro de 2012.

TORRES, V. F.N.; GAMA, C.D. **Engenharia ambiental subterrânea e aplicações**. Rio de Janeiro: 2005.

TREIN, H. A. **A implicação antrópica na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Urussanga – SC**. 2008. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista.

TSUTIYA, M. T. **Elementos-Traço: O principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos**. 20º congresso de engenharia sanitária e ambiental 1999.

U.S. EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1994, **Assessment and Remediation of Contaminated Sediments (ARCS)** – Remediation Guidance Document, EPA 905 - B94-003, Great Lakes National Program Office, Chicago, 245p.

VESTENA, L. R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. Florianópolis, SC, 2008. 268 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós- Graduação em Engenharia Ambiental


VOLPATO, S. B. **Estudo da contaminação por metais em ecossistemas aquáticos: Caracterização físico-química e ecotoxicológica de água e sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Santa Catarina**. 2010. 152p. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

**ANEXOS**

## ANEXO A – LAUDOS DAS CAMPANHAS DE AMOSTRAGEM




Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC  
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT  
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 12/2012			
DADOS DO CLIENTE			
Cliente: GRUPO PESQUISA 25 – GESTÃO REC HIDRICOS REST AMB A			
Endereço: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC			
Interessado: Prof. Dr. Calyle T. Bezerra de Menezes		Fone: (48) 3437-2729	
DADOS DA AMOSTRA			
Data da coleta: 02/05/2012		Data de entrada no laboratório: 02/05/2012	
Descrição da Amostra: Sedimento - Rio Urussanga			
Ponto de Coleta: Confluência do Rio Maior com o Rio Carvão - Nascente do Rio Urussanga – SC			
Ficha de Coleta: 20/2012		Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC	
Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC		Nº Amostra Lab.: 64983	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS			
Parâmetros	Unidades	Resultados	Métodos Analíticos
Alumínio (Al)	(%)	0,53	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Ferro (Fe)		3,79	
Manganês (Mn)		50	
Arsênio (As)	(mg/kg)	6,6	Espectrof. Abs. Atômica – F.G <sup>(1)</sup>
Chumbo (Pb)		11,9	
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(%)	0,18	Gravimétrico - Quimocic
Fósforo Total (P)		0,08	
Nitrogênio Total (NT)		0,05	
Nitrogênio Amiacal (NH <sub>3</sub> )	(%)	ND	Titulométrico – Liga de Haney
Carbono Orgânico (CO)		6,16	
Matéria Orgânica (MO)		10,63	
pH <sup>(1)</sup>	----	2,92	Potenciométrico
Potencial Redox (Eh)	(mV) <sup>(1)</sup>	398,2	
Umidade 65°C	(%)	19,72	Gravimétrico
Umidade 105°C		19,92	
<b>Observações:</b>			
- A digestão da amostra para determinação dos metais foi baseado no Método SW 846 -3050.			
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH e potencial redox.			
- <sup>(1)</sup> Ensaio realizados na amostra "in natura".			
- <sup>(2)</sup> Espectrofotometria de Absorção Atômica – Forno de Grafite.			
*****			
Criciúma, 28 de junho de 2012.			
 Responsável Técnico Quimica Teresinha Lúcio - CRQ 13200109			
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.			




Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC  
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT  
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 11/2012			
DADOS DO CLIENTE			
Cliente: GRUPO PESQUISA 25			
Projeto: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES ALTERADOS			
Endereço: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC			
Interessado: Prof. Dr. Cayle T. Bezerra de Menezes		Fone: (48) 3437-2729	
DADOS DA AMOSTRA			
Data da coleta: 02/05/2012		Data de entrada no laboratório: 02/05/2012	
Descrição da Amostra: Sedimento – Rio Urussanga			
Ponto de Coleta: Estuário 2 - Ponte Barra do Torneiro – Balneário Esplanada – Içara – SC			
Ficha de Coleta: 22/2012		Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC	
Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC		Nº Amostra Lab.: 64981	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS			
Parâmetros	Unidades	Resultados	Métodos Analíticos
Alumínio (Al)	(%)	1,17	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Ferro (Fe)		7,61	
Manganês (Mn)	(mg/kg)	115	
Arsênio (As)		10,2	Espectrof. Abs. Atômica – F.G. <sup>(1)</sup>
Chumbo (Pb)		14	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		0,23	Gravimétrico - Quimocíac
Fósforo Total (P)	(%)	0,10	Relação estequiométrica P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Nitrogênio Total (NT)		0,26	Titulométrico – Liga de Raney
Nitrogênio Amorniacal (NH <sub>4</sub> )		0,03	Titulométrico – Kjeldahl - NaOH
Carbono Orgânico (CO)		9,71	Oxidação c/ K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Matéria Orgânica (MO)		16,70	
pH <sup>(1)</sup>		---	
Potencial Redox (Eh)		(mV) <sup>(1)</sup>	-148,0
Umidade 65°C	(%)	78,20	Gravimétrico
Umidade 105°C		78,41	
<b>Observações:</b>			
- A digestão da amostra para determinação dos metais foi baseado no Método SW 846 -3050.			
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH e potencial redox.			
- <sup>(1)</sup> Ensaios realizados na amostra "in natura".			
- <sup>(2)</sup> Espectrofotometria de Absorção Atômica – Forno de Grafite.			
*****			
Criciúma, 28 de junho de 2012.			
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109			
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.			

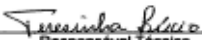


Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC  
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT  
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 238/2012			
DADOS DO CLIENTE			
Cliente: GRUPO PESQUISA 25			
Projeto: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES ALTERADOS			
Endereço: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC			
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes		Fone: (48) 3437-2729	
DADOS DA AMOSTRA			
Data da coleta: 27/06/2012		Data de entrada no laboratório: 27/06/2012	
Descrição da Amostra: Sedimento - Rio Urussanga			
Ponto de Coleta: Confluência do Rio Maior com o Rio Carvão - Nascente do Rio Urussanga – SC			
Ficha de Coleta: 33/2012			
Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC		Nº Amostra Lab.: 66740	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS			
Parâmetros	Unidades	Resultados	Métodos Analíticos
Alumínio (Al)	(%)	0,76	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Ferro (Fe)		4,04	
Manganês (Mn)	(mg/kg)	56,0	
Arsênio (As)	6,7	Espectrof. Abs. Atômica – F.G. <sup>(1)</sup>	
Chumbo (Pb)		9,1	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	(%)	0,34	Gravimétrico - Quimocloc
Fósforo Total (P)		0,15	Relação estequiométrica P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Nitrogênio Total (NT)		0,04	Titulométrico – Liga de Raney
Nitrogênio Amomiacal (NH <sub>3</sub> )		ND	Titulométrico – Kjeldahl - NaOH
Carbono Orgânico (CO)		3,1	Oxidação c/ K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Matéria Orgânica (MO)		5,3	
pH <sup>(1)</sup>	----	3,14	Potenciométrico
Umidade 65°C	(%)	15,51	Gravimétrico
Umidade 105°C		15,67	
<b>Observações:</b>			
- A digestão da amostra para determinação dos metais foi baseada no Método SW 846 -3050.			
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH.			
- ND – Não Detectado.			
- <sup>(1)</sup> Ensaio realizado em laboratório na amostra "in natura".			
- <sup>(2)</sup> Espectrofotometria de Absorção Atômica – Forno de Grafite.			
*****			
Criciúma, 10 de agosto de 2012.			
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109			
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.			



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC  
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - IPAT  
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes


RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 237/2012			
DADOS DO CLIENTE			
Cliente: GRUPO PESQUISA 25			
Projeto: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES ALTERADOS			
Endereço: Av. Universitária, 1105 - Bairro Universitário – Criciúma – SC			
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes		Fone: (48) 3437-2729	
DADOS DA AMOSTRA			
Data da coleta: 27/06/2012		Data de entrada no laboratório: 27/06/2012	
Descrição da Amostra: Sedimento – Rio Urussanga			
Ponto de Coleta: Estuário 2 - Ponte Barra do Torneiro – Balneário Esplanada – Içara – SC			
Ficha de Coleta: 39/2012			
Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT/UNESC		Nº Amostra Lab.: 66739	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS			
Parâmetros	Unidades	Resultados	Métodos Analíticos
Alumínio (Al)	(%)	1,6	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Ferro (Fe)		4,46	
Manganês (Mn)		136,0	
Arsênio (As)	(mg/kg)	7,1	Espectrof. Abs. Atômica – F.G. <sup>(2)</sup>
Chumbo (Pb)		10,1	Espectrof. Abs. Atômica – Chama
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		0,41	Gravimétrico - Quimociac
Fósforo Total (P)		0,18	Relação estequiométrica P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Nitrogênio Total (NT)	(%)	0,13	Titulométrico – Liga de Raney
Nitrogênio Amoniacal (NH <sub>3</sub> )		0,02	Titulométrico – Kjeldahl - NaOH
Carbono Orgânico (CO)		6,5	Oxidação c/ K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Matéria Orgânica (MO)		11,2	
pH <sup>(1)</sup>	----	5,99	Potenciométrico
Umidade 65°C	(%)	61,68	Gravimétrico
Umidade 105°C		61,84	
<b>Observações:</b>			
- A digestão da amostra para determinação dos metais foi baseado no Método SW 846-3050.			
- Resultados expressos na base seca a 65°C, com exceção do pH.			
- <sup>(1)</sup> Ensaio realizado em laboratório na amostra "in natura".			
- <sup>(2)</sup> Espectrofotometria de Absorção Atômica – Forno de Grafite.			
.....			
Criciúma, 10 de agosto de 2012.			
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109			
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.			

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC  
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: (048) 3444-3731/ 3444-3709

## ANEXO B – RESULTADOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO 1, 2, 3 e 4



Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC  
 Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – IPAT  
 Laboratório de Análises de Solos, Corretivos e Fertilizantes.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 287/2013				
DADOS DO CLIENTE				
Cliente: GRUPO DE PESQUISA 25				
Projeto: GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES ALTERADOS				
Endereço: Av. Universitária, 1105 – Bairro Universitário – Criciúma – SC				
Interessado: Prof. Dr. Carlyle T. Bezerra de Menezes			Telefone: (48) 3437-2729	
DADOS DA AMOSTRA				
Data da Coleta: 02/05/2012		Data de Entrada no Laboratório: 02/05/2012		
Descrição da Amostra: Sedimento – Rio Urussanga				
Ponto de Coleta: Estuário 2 – Ponte Barra do Torneiro – Balneário Esplanada – Içara – SC				
Ficha de Coleta: 39/2012				
Coletor: Rodrigo Bonfante – IPAT / UNESC			Nº Amostra Lab.: 64981	
ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS				
Metais solúveis	Resultados (mg/L)			
	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Ferro (Fe)	136,30	0,51	253,78	337,52
Manganês (Mn)	1,45	0,34	2,04	2,67
Zinco (Zn)	0,13	0,09	0,55	1,35
<b>Observações:</b> - Testes realizados na amostra "in natura": <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Teste 1:</b> O cálculo para determinação da massa e da solução extratora a ser usado no teste foi de acordo com a norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação. Solução extratora nº1. Agitação durante 5 minutos e filtrado de acordo com a norma NBR 10005.</li> <li>• <b>Teste 2:</b> Realizado de acordo com a norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação. Solução extratora nº 1.</li> <li>• <b>Teste 3:</b> Foi utilizada solução de ácido acético 1 M. o Cálculo da massa foi de acordo com a norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação. Agitação manual durante 5 minutos e filtrado no ZHE.</li> <li>• <b>Teste 4:</b> Foi utilizada solução de ácido acético 1M. O cálculo da massa foi de acordo com a norma NBR 10005 da ABNT – Ensaio de Lixiviação. Agitação manual durante 5 minutos, deixado em repouso 72 horas e filtrado no ZHE.</li> </ul> - Para análise do parâmetro ferro foi realizado mais uma filtração em membrana 0,45µm. - Os metais foram analisados por Espectrofotometria de Absorção Atômica – Chama. - Digestão com HNO <sub>3</sub> concentrado.				
Criciúma, 03 de maio de 2013.				
 Responsável Técnico Química Teresinha Lúcio - CRQ 13200109				
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.				

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5 - Bairro Sangão - Criciúma - SC.  
 Caixa Postal 3167 - CEP 88806-000 - Fone/Fax: (048) 3444-3731/3444-3709

## ANEXO C – RESULTADOS FLOCULAÇÃO ENSAIO 1 e 2



Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC  
Laboratório de Águas e Efluentes Industriais – LAEI



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 1571/2013			
Dados da Amostra			
Data da Coleta: 09/07/2013	Data de Entrada: 09/07/2013	Período de Execução dos Ensaio: 09/07 a 15/07/2013	
Empresa: Grupo de Pesquisa 25 – Gestão Recursos Hídricos Rest. Ambiental.			
Endereço: Avenida Universitária, 1105 – Criciúma – SC			
Interessado: Carlyle T. Bezerra de Menezes		Fone: (48) 3431 – 4548	
Coletor: Interessado		Hora da Coleta: **	
Código da Amostra IPAT/UNESC: Nº 78352 a 78363			
Leitura de metais			
Código da Amostra	Ferro (mg.L <sup>-1</sup> )	Manganês (mg.L <sup>-1</sup> )	Zinco (mg.L <sup>-1</sup> )
1º Waltrick – Teste 3	<0,02	1,08	0,05
2º Waltrick – Teste 3	<0,02	1,50	< 0,01
3º Waltrick – Teste 3	<0,02	0,22	< 0,01
1º Tanac – Teste 3	<0,02	1,09	0,05
2º Tanac – Teste 3	<0,02	1,52	< 0,01
3º Tanac – Teste 3	<0,02	0,22	< 0,01
1º Waltrick – Teste 4	<0,02	< 0,01	< 0,01
2º Waltrick – Teste 4	<0,02	< 0,01	< 0,01
3º Waltrick – Teste 4	<0,02	0,70	0,10
1º Tanac – Teste 4	<0,02	0,42	0,10
2º Tanac – Teste 4	0,26	< 0,01	0,04
3º Tanac – Teste 4	0,12	0,72	0,10
Obs: Mínimo Detectável = Ferro Total: 0,02 mg.L <sup>-1</sup> ; Manganês e Zinco : 0,01 mg.L <sup>-1</sup>			
Método Analítico – Espec. Absorção Atômica/ Chama			
.....			
Criciúma, 16 de julho de 2013.			
<div style="text-align: right;"> M<sup>o</sup> Glória S. Santos – MSc  CRQ XIII - 13300056  Responsável Técnico </div>			
Os resultados apresentados no presente relatório se aplicam somente à amostra ensaiada.			

Página 1 de 1

Endereço: Rod. Jorge Lacerda, km 4,5, Bairro Sangão, Criciúma, SC  
CEP 88805-350 - Fone/Fax: (48) 3444 – 3722 / 3709